



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA
MOA – HOLGUÍN

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de

Ingeniero Eléctrico

Título: Análisis del suministro eléctrico en la subestación 1TP de la planta Termoenergética en la Empresa Comandante Ernesto Ché Guevara.

Autor: Leipzig Gresequi Marzo.

Tutor: Ing. Roger Fonseca Bless.

Consultante: MSc. Diego Rodríguez Álvarez

Moa - 2015

“Año 57 de la Revolución”

Declaración de Autoridad

Yo: Leipsig Gresequi Marzo.

Autor de este Trabajo de Diploma junto con el Ing. Roger Fonseca Bless y el MSc. Diego Rodríguez Álvarez certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" y la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

Leipsig Gresequi Marzo.
(Diplomante)

Ing. Roger Fonseca Bless
(Tutor)

MSc. Diego Rodríguez Álvarez
(Consultante)



Pensamiento

“Ser culto es el único modo de ser libre”.

José Martí.

“Lo que la naturaleza le dice hoy a un grupo de hombres, se lo dirá con el tiempo a otro grupo lo suficientemente pacientes como para formular las preguntas necesarias”.

Albert Einstein

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, a la Revolución cubana y especialmente a mi familia, que han hecho más fácil este largo camino de estudios y sacrificios.

A mis tutores, profesores, amigos y compañero de trabajo de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” y compañeros de aula, que me orientaron, ayudaron, acompañaron e inspiraron en cada paso de la realización del presente proyecto y a todos los que creyeron en mí.

Dedicatoria.

Dedico este trabajo a toda persona que de una forma u otra me brindó su apoyo incondicional para el desarrollo del mismo; a mi familia en general y en especial a mis padres y hermanos.

Resumen.

En el presente trabajo se analiza el suministro eléctrico de la planta Termoenergética en la subestación 1TP de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, con el objetivo de mejorar el rendimiento y disminuir las pérdidas en la planta, aplicando la vía más factible.

Debido a la gama de motores asíncronos que se alimentan de la subestación objeto de estudio y una inadecuada distribución de las cargas, existe un bajo factor de potencia en los nodos principales de la subestación y un incorrecto balance de cargas que conlleva a una baja operatividad, flexibilidad y confiabilidad del sistema.

Como objetivo general se propuso alternativas técnico – organizativas para mejorar la calidad de servicio a partir de un estudio de calidad de suministro de la subestación.

La metodología que definió el comportamiento del sistema con una gran precisión para la propuesta de mejora fue a través de la simulación y comparación de los resultados.

Los principales resultados del trabajo se dirigen a proponer formas de mitigar los problemas relacionados con la calidad y eficiencia del sistema de suministro y en cuantificar las pérdidas asociadas al factor de potencia y desbalance de carga.

Como conclusión fundamental del estudio, se consigue mejorar la calidad de suministro de la subestación logrando un sistema más operativo, flexible y confiable.

Summary.

Termoenergética at the substation examines the electric supply of the plant herself in the present work the company's 1TP Comandante Ernesto Che Guevara, for the sake of improving the performance and decreasing the losses in the plant, applying the most feasible road.

Due to the range of asynchronous motors that are fed of the substation object of study and an inadequate distribution of the loads, exists a low power factor in the substation's principal nodes that you bear a low operativeness, flexibility and reliability of the system and an incorrect balance of loads.

As general objective proposed technical alternatives itself – organizational for the better the quality of service as from a study of quality of supply of the substation.

The methodology that defined the behavior of the system with a great precision for the proposal of improvement was through the simulation and comparison of the results.

The principal results of work go to propose forms to mitigate the problems related with quality and efficiency of the system of supply and in quantifying correlated losses themselves the power factor and unbalance of load.

Like fundamental conclusion of the study, it is managed to upgrade supply of the substation achieving a most operating, flexible and reliable system.

Índice	
INTRODUCCIÓN GENERAL:	3
CAPÍTULO I. Marco Teórico – Conceptual de la Investigación de análisis energético.	7
1.1 Introducción.	7
1.2 Revisión de los trabajos precedentes	7
1.3 Fundamentos teórico – conceptual.	11
1.3.1. Base Teórica de la Investigación.	11
1.3.2. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico.	12
1.3.3. Acomodo de carga	14
1.4 Calidad de la energía y normas.	14
1.5 Compensación de potencia reactiva.	18
1.5.1 Dispositivos que influyen en el balance de potencia reactiva	18
1.5.2 Equipos Compensadores de Potencia Reactiva	18
1.5.3 Tipos de compensaciones de reactivos mediante bancos de condensadores.	19
1.5.4 Clasificación de los bancos de condensadores a utilizar para la compensación de potencia reactiva.	20
1.5.5 Vías para la compensación de potencia reactiva.	21
1.5.6 Beneficios que brinda la compensación de reactivo	22
1.5.7 Cálculo para la compensación de potencia reactiva.	22
1.6 Régimen de trabajo económico de los transformadores.	24
1.7 Análisis de confiabilidad	26
1.7.1 Esquemas y opciones que mejoran la confiabilidad de un sistema.	28
1.8 Conclusiones del capítulo.	28
CAPÍTULO II. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico.	29
2.1 Introducción	29
2.2 Descripción de la subestación.	29
2.3 Descripción del flujo tecnológico de la planta.	30
2.3.1 Esquemas monolineales de la subestación 1TP.	34
2.3.2 Levantamiento de la carga instalada por cada interruptor individual	35
2.4 Software e instrumento utilizado	36
2.4.1 Instrumento utilizado para las mediciones.	36
2.5 Montaje del esquema de suministro de la subestación en Easy Power.	44



2.6 Simulación del flujo de potencia en la subestación en las condiciones actuales en Easy Power.	45
2.7 Conclusiones del capítulo.	48
CAPÍTULO III. Análisis de los resultados y evaluación técnico económica.	49
3.1 Introducción.	49
3.2 Mejoras en la Distribución del Sistema Eléctrico de la Planta	49
3.3 Simulación del flujo de potencia después del acomodo de carga y compensación.	52
3.4 Beneficio obtenido mediante el acomodo de carga y banco de condensadores.	56
3.5 Evaluación de la compensación mediante acomodo de carga y bancos de condensadores.	56
3.6 Valoración económica.	57
3.7 Conclusiones del capítulo.	61
Conclusiones Generales.	62
Recomendaciones.	63
Bibliografía.	64
Anexos.	66

INTRODUCCIÓN GENERAL:

Sobre la base de la política de ahorro trazada por la dirección del Partido Comunista de Cuba 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 redundaría en una mejora de la vida económica de la empresa. Al crecer los costos de la energía y a medida que el suministro y el uso de la misma requieren un esfuerzo de planificación a medio plazo, se comprende la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética. Es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas, no sólo a nivel de valores globales, sino de modo particularizado aplicado a los distintos procesos y consumos internos. De aquí

que es posible predecir los incrementos de energía eléctrica usada que se producirán al aumentar la actividad, o fijar las medidas de contención del costo a través de la organización de las mejoras. Si se conoce el conjunto de causas que influyen en las pérdidas de energía eléctrica, así como la interrelación funcional y de consumo, se podrá entonces obtener el ahorro del portador electricidad. Por lo antes expuesto, el presente trabajo se centra en resolver los problemas que influyen negativamente en la eficiencia energética del uso de la energía eléctrica, teniendo como objetivo:

➤ Proponer alternativas técnicas y organizativas para el uso eficiente de la energía eléctrica, a partir de un diagnóstico energético en la subestación 1TP de la planta Termoenergética perteneciente a la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. 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 del suministro eléctrico. 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 en lugar de dudas estimulará el desarrollo sostenible del sector energético a disposición de la industria minero - metalúrgica del níquel.

Fundamentación de la Investigación:

Situación Problemática: Debido a la gama de motores asíncronos que se alimentan de la subestación objeto de estudio y una inadecuada distribución de las carga, existe un bajo factor de potencia en los nodos principales de la subestación, por lo que conlleva a una baja operatividad, flexibilidad y confiabilidad del sistema.

Problema: Desconocimiento de los parámetros eléctricos que provocan la baja eficiencia del sistema de suministro eléctrico de la subestación.

Objeto de investigación: Subestación 1TP. De la planta Termoenergética en la Empresa Ernesto Che Guevara de Moa.

Campo de acción: Suministro Eléctrico y calidad de la energía.

Objetivo General: Proponer alternativas técnicas y organizativas para el uso eficiente de la energía eléctrica, a partir de un diagnóstico energético en la subestación 1TP. de la planta Termoenergética perteneciente a la **Empresa Comandante Ernesto Che Guevara**.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar el sistema eléctrico de la subestación.
- Proponer un acomodo de las cargas que se adecuen a las exigencias actuales de explotación.
- Proponer medidas para mejorar el sistema de suministro eléctrico de la subestación.
- Evaluación técnico económica.

Hipótesis: Si se realiza un estudio de factibilidad, se toman medidas para mejorar el factor de potencia en la subestación y se realiza un acomodo de las cargas, se logrará disminuir en gran medida las pérdidas de la energía eléctrica y en caso de fallas o mantenimiento planificado en una de las secciones de barras, la otra sección pueda asumir la prestación de servicio de la planta sin interrupción.

TAREAS:

- Evaluación de la subestación objeto de estudio.
- Evaluación de la eficiencia del sistema eléctrico de la subestación a través de las mediciones
- Proponer medidas para mejorar la eficiencia energética y realizar una valoración económica del proyecto

Resultados esperados:

1. Ofrecer la modelación del sistema para la nueva variante de suministro en la subestación asistida por EASYPOWER.
2. Comparar el sistema de suministro actual de la subestación respecto a la propuesta mostrando sus ventajas y desventajas.
3. Mejorar la eficiencia energética en la subestación de la **Empresa Comandante Ernesto Che Guevara**.

CAPÍTULO I. Marco Teórico – Conceptual de la Investigación de análisis energético.

1.1 Introducción.

La fundamentación científica y su organización de la investigación es de extraordinaria importancia para el desarrollo de la misma, la cual tiene como objetivo fundamental proporcionar una metodología que permita crear un diseño teórico, capaz de responder a las exigencias del proceso de investigación. En este capítulo se da a conocer una panorámica del estado actual del arte de las redes industriales de suministro donde se abordó las principales características y problemas del suministro de energía de empresas mecánicas y metalúrgicas así como las principales normas y parámetros de calidad por las cuales nos regirá el desarrollo de esta investigación.

1.2 Revisión de los trabajos precedentes

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

Mazorra [12], 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 [14], 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).

De Quesada [4], 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.

González [4], 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 [9], 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 1TP.

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 [3], 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 [13], 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.

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 [8], 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.

González P. I; [7] En este trabajo se establece un procedimiento para la compensación de la potencia reactiva, a través de un acomodo de carga en una red industrial, con un análisis de las principales medidas organizativas que pueden ser implementadas por etapas y solo después de ser valorado el efecto de las mismas, se procede a la introducción de medidas que conllevan a la realización de inversiones en el sistema.

Estrada, G. H; Tovar, J. H;[5] propone una metodología para la localización óptima de condensadores en sistemas eléctricos de distribución. La metodología propuesta para la obtención del esquema de compensación considera tanto el aspecto técnico como el económico.

1.3 Fundamentos teórico – conceptual.

1.3.1. 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, implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos mínimos necesarios, con el menor gasto energético posible y la menor contaminación ambiental por este concepto. Todo equipamiento técnico creado por el hombre trabaja sobre la base de la utilización de energía, debido a esto, es natural que en muchos casos exista una gran influencia del costo energético sobre la inversión total, en el primero se incluyen los componentes relativos a la producción, distribución y uso de las diferentes formas de energía.

Problemas que afectan la Eficiencia Energética en una Industria

La eficiencia energética en una industria está afectada mayormente por la presencia de; bajo factor de potencia, máquinas y transformadores subcargados, mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria, sobrecalentamiento en el sistema de suministro, empleo de un gran número de cargas no lineales, etc. Para poder minimizar las afectaciones causadas por estos, es preciso conocer, cómo se generan, de qué dependen y los métodos para corregirlos. La gestión energética en el sector industrial es la principal vía para asegurar un uso eficiente y eficaz de la energía a través del mejoramiento continuo como se muestra en la figura 1.1.

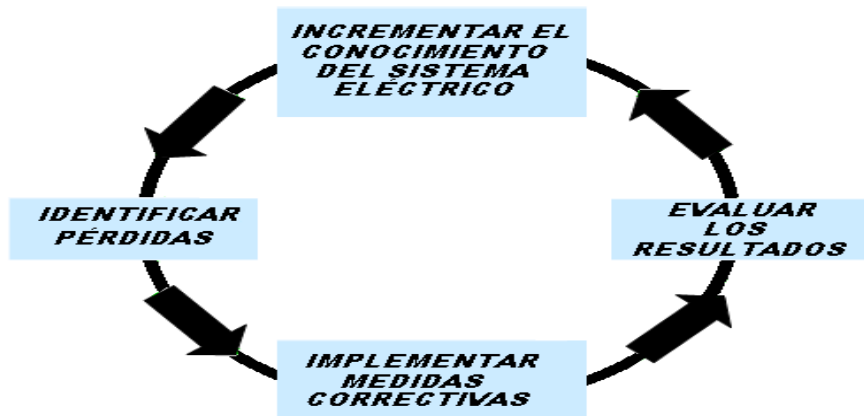


Figura 1.1: Eficiencia en el consumo de energía.

1.3.2. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico

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

análisis del consumo energético se requieren los perfiles energéticos, lo cual permite establecer las áreas potenciales de ahorro de energía.

Tipos de diagnósticos energéticos empleados.

Diagnóstico de primer grado:

- Inspección visual del estado de conservación de las instalaciones.
- Análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación.
- Detectar medidas de ahorro o de incremento de eficiencia energética cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales.
- Sistema de capacitación básica al personal de operación que les permita mantener y aplicar las medidas detectadas.

Diagnóstico de segundo grado:

- Estudio de las fuentes de energía de la subestación.
- Realización de balances de carga.
- Identificación de oportunidades de ahorro de energía.
- Evaluación económica de las medidas que se recomienden.
- Fijar objetivos y metas en función de los potenciales de ahorro.

Diagnóstico de tercer grado:

- Consiste en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación.
- Debe realizarse con la participación del personal especializado de cada área con el apoyo del personal de ingeniería.
- Normalmente es común el uso de técnicas de simulación de procesos para el estudio de diferentes esquemas de operación de equipos y procesos, además de la evaluación de los efectos de los cambios de operación en los consumos específicos de energía. Las recomendaciones derivadas del diagnóstico generalmente son de aplicación a mediano y largo plazo ya que implican modificaciones, equipos, procesos e incluso de las tecnologías utilizadas.

1.3.3. Acomodo de carga

El acomodo de carga se realiza con el objetivo de lograr un mejor uso de la energía eléctrica, con la consiguiente disminución de la máxima demanda del sistema sobre todo en los horarios picos diurnos y nocturnos, para esto se realizarán mediciones eléctricas con las cuales se determinarán los planes de acomodo a partir de los resultados obtenidos para el manejo y selección de los bloques de consumidores en correspondencia con la función específica de cada uno de ellos, y así ser más eficiente a la hora de la explotación de éstos.

1.4 Calidad de la energía y normas

La electricidad como forma de energía

- En el Complejo Energía-Combustible la forma de energía más versátil es, indudablemente, la energía eléctrica, lo que está dado por la facilidad de su uso en cualquier proporción, su accesibilidad y posibilidad de conversión, de manera relativamente sencilla, a otros tipos de energía. A ello es preciso agregar la facilidad de su transportación económica a grandes distancias y engrandes bloques, todo lo que le ha dado, desde la época de su primera implementación práctica, una preferencia indiscutible y un lugar sin competencia en la vida que llamamos moderna.

¿Qué parámetros se incluyen en el concepto de Calidad?:

- Confiabilidad del servicio
- Desviaciones de la frecuencia
- Desviaciones y fluctuaciones tensión
 - Desviaciones de la tensión nominal o de trabajo
 - Fluctuaciones rápidas de la tensión (flicker)
 - Modulaciones en la onda de tensión
 - Sobre tensiones
- Distorsión de la onda de tensión y corriente
 - Contenido de armónicos superiores en las ondas de Tensión y corriente
- Asimetría de las tensiones trifásicas

Normas para valorar la Calidad del Suministro de Energía Eléctrica

En Cuba:

Desviaciones de la frecuencia

Normal + 0.2; - 0.3 Hz

Máximo +0.4; - 0.4 Hz

Las desviaciones de tensión: +10%; - 10%

Las normas establecidas por el IEC al respecto son:

IEC 60050-161, IEC 61000-2-1, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-6, IEC 61000-3-7, IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-13, IEC 61287-2-TS, IEC 61642, IEC 61786

En ellas se han considerado los siguientes fenómenos perturbadores:

- Armónicos
- Interarmónicos
- Fluctuaciones de tensión
- Caídas de voltajes e interrupciones cortas del suministro
- Desbalances de tensión
- Señales principales
- Variaciones de frecuencia
- Componentes de CD en los sistemas de AC VI

Nivel de calidad del suministro eléctrico.

La IEC 60050-161 establece como compatibilidad electromagnética, a la habilidad de un equipo o sistema de funcionar satisfactoriamente en su entorno electromagnético sin introducir perturbaciones electromagnéticas intolerables a nadie en ese entorno.

Una vía de asegurar los niveles de compatibilidad es especificar los límites de emisiones del usuario con suficiente margen por debajo de los niveles de compatibilidad, lo que es posible en las instalaciones grandes según IEC 61000-3-6 e IEC 61000-3-7. En baja tensión se establecen límites de emisión para familias de equipos (IEC 61000-3-2).

A partir de los niveles de inmunidad del equipamiento se pueden esperar niveles apropiados de comportamiento del sistema a perturbaciones en

diferentes clases de entornos electromagnéticos, como por ejemplo podría ser, sólo con propósitos indicativos (no como norma):

Perturbación	Clase1	Clase2	Clase3
Variación de tensión .U/Un	+/- 8%	+/-10%	+10% -15%
Caída de tensión			
$\Delta U/U_n$	10%-100%	10%-100%	10%-100%
Δt (cantidad de semiciclos)	1	1-300	1-300
Interrupciones cortas	ninguna	-	≤ 60
Desbalances (U2/U1)	2%	2%	3%
Variaciones de frecuencia. F/fn +/-1%		+/- 1%	+/-2%

Norma IEEE 519-1992

En 1981, el Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE) elaboró el estándar IEEE519-1992 titulado “*Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia*” [10]. El documento establece los niveles de distorsión de tensión aceptables en sistemas de distribución al mismo tiempo que establece límites en la distorsión armónica de corriente que los usuarios pueden “inyectar” al sistema. En este artículo se presenta una explicación simplificada sobre la aplicación de este estándar desde el punto de vista del usuario industrial.

- Distorsión armónica total (THD–*Total Harmonic Distortion*): es el índice más utilizado para cuantificar la distorsión armónica.

$$THD(\%) = \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} (V_h)^2} \quad (1.1)$$

Donde:

V_h : Armónicos de tensión, (V).

V_1 : Tensión real, (V).

Este índice presenta la ventaja de que es fácil y rápido de calcular, pero no permite la obtención del espectro total de la señal. Un valor comúnmente utilizado como frontera entre alta y baja distorsión es el correspondiente a un

THD igual a 5%. Sin embargo, este valor es demasiado alto para ser permitido en sistemas de transmisión, pero para algunos sistemas de distribución es válido. El estándar IEEE519-1992 establece límites para los niveles de distorsión de tensión para las compañías suministradoras de energía. Estos límites están en función del nivel de la tensión del sistema de suministro, tal como lo muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1: Límites de los niveles de distorsión de tensión.

Voltaje	Armónicos Individuales (%)	THD (%)
$V < 69\text{kV}$	3	5
$69 < V < 161\text{ kV}$	1.5	2.5
$V < 161\text{ kV}$	1	1.5

La distorsión total por armónicos se denomina distorsión total de demanda y debería calcularse asimismo hasta infinito. Muchos autores limitan el cálculo de los componentes individuales y la TDD a 50.

Tasa de distorsión en la demanda (TDD–Total Demanda Distorsión): Es la suma de la raíz cuadrada total de las distorsiones de corrientes armónicas expresada en por ciento de la máxima corriente de carga demandada, ver ecuación 1.2.

$$TDD(\%) = \frac{100}{I_L} \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} (I_h)^2} \quad (1.2)$$

Dónde:

I_h : Corrientes armónicas, (A).

I_L : Corriente máxima demandada, (A).

1.5 Compensación de potencia reactiva

La compensación de potencia reactiva mediante la instalación de condensadores en sistemas de distribución es una técnica utilizada por las empresas eléctricas desde casi el inicio de la industria. Existen numerosas y diferentes metodologías para el diseño de un esquema de compensación de potencia reactiva, pero en todos ellos la finalidad es la selección y ubicación en la red de los condensadores.

Tres son los objetivos básicos que se pretenden con la compensación de reactiva en la carga: corrección del factor de potencia y mejora de la regulación de tensión y equilibrado de la carga. Realizando énfasis en la mejora del factor de potencia podemos decir que dada la influencia que tiene en la factura energética, es sin duda la función más conocida de la compensación reactiva. Consiste en generar reactiva allí donde se consume. En general, se busca un factor de potencia cercano a (0.95), ya que el valor del factor de potencia igual a 1 no supone una mejora sustancial en el rendimiento y es un objetivo mucho más costoso.

1.5.1 Dispositivos que influyen en el balance de potencia reactiva

Para una adecuada generación y flujo de potencia reactiva se deben considerar:

- La variación de la tensión de generación.
- La variación de los taps en los transformadores.
- Conexión y desconexión de bancos de condensadores y reactores.
- Configuración de los compensadores estáticos (SVC)
- La configuración de la red y el despacho de generación.

1.5.2 Equipos Compensadores de Potencia Reactiva

Los equipos empleados en la compensación de la potencia reactiva de las cargas son fundamentalmente:

-
- Bancos de condensadores.
 - Condensadores sincrónicos (motores sincrónicos sobreexcitados).
 - Compensadores activos (basados en electrónica de potencia: SVC, FACTS, etc.).

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

1.5.3 Tipos de compensaciones de reactivos mediante bancos de condensadores

Compensación central con banco automático:

Este tipo de compensación ofrece una solución generalizada para corregir el factor de potencia ya que la potencia total del banco de condensadores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía, los cuales, suministran la potencia reactiva demandada por diversos equipos con diferentes potencias y tiempos de operación.

La potencia total del banco de condensadores se divide en varios bloques que están conectados a un regulador automático de energía reactiva, que conecta y desconecta los bloques que sean necesarios para obtener el factor de potencia previamente programado en dicho regulador.

Ventajas:

- Mejor utilización de la capacidad de los bancos de condensadores.
- Se tiene una mejora en la regulación del voltaje en sistema eléctrico.
- Suministro de potencia reactiva según los requerimientos del momento.
- Es de fácil supervisión.

Desventajas

La desventaja de corregir el factor de potencia mediante la compensación centralizada, es que las diversas líneas de distribución no son descargadas de la potencia reactiva, además, se requiere de un regulador automático en el

banco de condensadores para compensar la potencia reactiva, según las necesidades de cada momento.

Compensación combinada

La compensación mixta o combinada de potencia reactiva, se refiere a la combinación de dos o más métodos para corregir el factor de potencia. Tiene como desventaja que puede ocasionar una sobre compensación en el sistema eléctrico.

1.5.4 Clasificación de los bancos de condensadores a utilizar para la compensación de potencia reactiva.

Los bancos de condensadores se clasifican por su modo de operación en: bancos fijos y bancos controlados.

Los bancos fijos están permanentemente conectados al sistema, aportando el total de su potencia reactiva en todo momento. Esto puede traer algunos inconvenientes debido a la variabilidad de la carga en el tiempo, es por esto que se emplean bancos compuestos por una o varias unidades capacitivas que se conectan o desconectan por determinada estrategia, que pueden ser:

- 1) Controlados por tiempo.
- 2) Controlados por voltaje.
- 3) Controlados por corriente.
- 4) Controlados por factor de potencia.

Control por factor de potencia: El control por factor de potencia es uno de los más empleados actualmente en los centros generales de distribución de baja tensión de las industrias e instalaciones de servicio. Se basa en obtener señales de voltaje y corriente de la red que permiten determinar el factor de potencia y por lo tanto controlar este parámetro a un valor prefijado.

En forma general, este tipo de banco está compuesto por una batería de condensadores de igual o diferente capacidad, que se conectan y desconectan por contactores magnéticos para seguir la curva de carga reactiva y lograr mantener el factor de potencia de la instalación lo más cercano posible al valor prefijado.

1.5.5 Vías para la compensación de potencia reactiva

Compensación global

Ventajas:

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.

Ajusta la potencia aparente (S en kVA.) a la necesidad real de la instalación.

Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW.)

Observaciones:

La corriente reactiva está presente en la instalación desde el nivel 1 hasta los receptores.

Las pérdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuidas.

Compensación parcial

Ventajas:

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.

Optimiza una parte de la instalación,

Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

Compensación individual

Ventajas:

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.

Optimiza toda la instalación eléctrica. La corriente reactiva I_r se abastece en el mismo lugar de su consumo. Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

1.5.6 Beneficios que brinda la compensación de reactivo

Después de un minucioso análisis sobre la compensación de potencia reactiva, incluyendo la cantidad de condensadores a utilizar y los diferentes métodos de compensación con sus ventajas y desventajas. Podemos mencionar las ventajas que estos pueden proporcionar al sistema eléctrico dentro de un contexto generalizado:

- Aumentar la capacidad del sistema eléctrico para entregar energía activa
- Mejorar la calidad del voltaje
- Disminuir las pérdidas en el sistema de suministro eléctrico
- Disminuir el costo de energía eléctrica.
- Postergar inversiones por necesidades de refuerzos.
- Aumento de los márgenes de reserva de potencia reactiva frente a eventuales perturbaciones.
- Minimizar costos de operación del sistema; evitar restricciones al despacho económico; prevenir colapsos de tensión y mantener márgenes de seguridad.
- Mejora del margen de estabilidad estacionaria y transitoria del sistema.

1.5.7 Cálculo para la compensación de potencia reactiva.

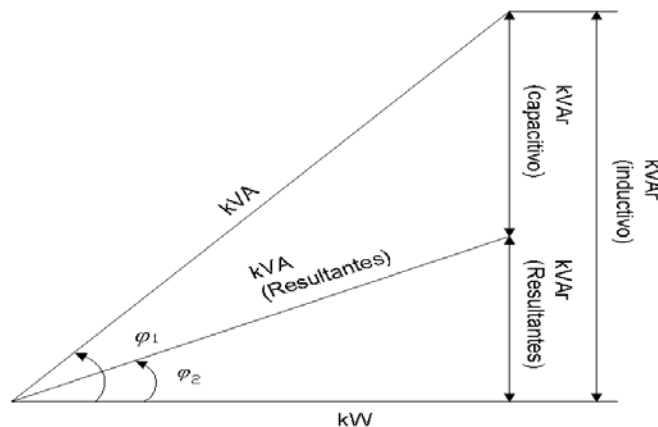


Figura1.2: Reducción del ángulo φ mediante la conexión de una cantidad En este caso:

determinada de potencia reactiva capacitiva al circuito

$$\tan \varphi_1' = \frac{Q_1}{P} \quad (1.3)$$

y para el nuevo ángulo luego de la corrección:

$$\tan \varphi_2' = \frac{Q_2}{P} \quad (1.4)$$

Para conocer la potencia reactiva capacitiva que mejore el valor del factor de potencia de $\cos \varphi_1$ a $\cos \varphi_2$ se utilizará la fórmula:

$$Q_c = P * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (1.5)$$

Donde:

Q_c : Capacidad del banco a instalar, (kVAr).

P : Potencia activa consumida por la carga, (kW).

φ_1 : Ángulo del factor de potencia inicial.

φ_2 : Ángulo del factor de potencia deseado.

Beneficios al mejorar el factor de potencia.

Potencia aparente liberada (SL)

$$S_2 = S(\cos \varphi_1 / \cos \varphi_2) \quad (1.6)$$

$$S_L = S_1 - S_2$$

Potencia activa liberada (PL).

$$P_2 = P_1 (\cos \varphi_1 / \cos \varphi_2)$$

(1.8)

$$P_L = P_1 P_2 \quad (1.9)$$

Reducción de corriente (IL).

$$P_1 = \sqrt{3} U^* I^* \cos \varphi_1 \quad (1.10)$$

$$P_2 = \sqrt{3} U^* I^* \cos \varphi_2 \quad (1.11)$$

$$I_L = I_1 - I_2 \quad (1.12)$$

1.6 Régimen de trabajo económico de los transformadores.

En condiciones de operación, se debe prever el régimen de trabajo económico de los transformadores, la esencia de lo cual consiste en que en las subestaciones con varios transformadores, el número de ellos conectados en cada momento debe ser el que proporcione el mínimo de pérdidas, para un gráfico de carga determinado. Para ello deben considerarse no solamente las pérdidas de potencia activa en los propios transformadores, sino también las pérdidas de potencia activa que aparecen en el sistema (desde la fuente de suministro hasta la subestación considerada), debido a los requerimientos de potencia reactiva de los transformadores.

A diferencia de las pérdidas del transformador en sí, a éstas se le denomina referidas y se determinan por la expresión:

$$\Delta P'_t = \Delta P'_{sc} + K_C^2 * \Delta P'_{cc} \quad (1.13)$$

Donde:

$\Delta P'_{sc}$ = Pérdidas referidas del transformador en vacío (kW).

$\Delta P'_{cc}$ = Pérdidas referidas de cortocircuito (kW).

K_c = Coeficiente de carga del transformador.

$$K = \frac{S_c}{S_n} \quad (1.14)$$

Donde:

ΔP_{sc} = Pérdidas de potencia sin carga, (kW).

ΔQ_{sc} = Potencia reactiva del transformador sin carga, (kVAR).

$$\Delta Q_{sc} = S_n(I_{sc}\% / 100) \quad (1.15)$$

Donde:

S_n = Potencia nominal o de chapa del transformador, (kVA).

I_{sc} = Corriente del transformador sin carga

K_{ip} = Coeficiente incremental de pérdidas de potencia activa (para empresas industriales). Cuando este no es dado por el sistema energético, se debe tomar igual como promedio a 0.07 (kW/kVAR).

$$\Delta P'_{cc} = \Delta P_{cc} + K_{ip} * \Delta Q_{cc} \quad \Delta P'_{cc} = \Delta P_{cc} + K_{ip} * \Delta Q_{cc} \quad (1.16)$$

Donde:

ΔP_{cc} = Pérdidas de potencia activa del transformador con carga en (kW).

ΔQ_{cc} = Potencia reactiva del transformador con carga (kVAR).

$$\Delta Q_{cc} = S_n(V_{cc}\% / 100) \quad (1.17)$$

Donde:

V_{cc} = voltaje de cortocircuito del transformador.

(Todos los valores deben corresponder al mismo lado del transformador, o sea lado de alta o lado de baja).

1.7 Análisis de confiabilidad

La confiabilidad de un sistema o equipo se relaciona con la idea de que la probabilidad que dicho equipo o sistema permanezca en funcionamiento por un número de horas (años) sin fallas sea alta. La Norma Británica BS 4778 (1991), la define como la característica de un ítem (o sea de un elemento de un equipo, de un equipo completo o de un sistema), expresada por la probabilidad de que efectúe una función requerida (es decir, que no falle), bajo ciertas condiciones (o sea en condiciones nominales de operación), en un período de tiempo establecido. En los sistemas eléctricos el hecho de, por ejemplo, no disponer de electricidad en momentos inesperados, trae graves consecuencias productivas. Un minuto sin electricidad causará: la pérdida de los datos almacenados en un computador; la detención de un motor, y por tanto de una cadena productiva; que una operación médica se vea interrumpida o alterada; es decir, en sistemas eléctricos se debe tender a tener la máxima confiabilidad posible debido a que las consecuencias son extraordinariamente relevantes. Son numerosas las acciones que es posible realizar para reducir, al menos parcialmente, la incertidumbre de quedar sin electricidad en un proceso. Así por ejemplo, podemos distinguir los siguientes grupos de acciones:

- a) Disponer elementos en paralelo en el sistema. Esta alternativa consiste en diseñar de tal modo que si falla un componente el sistema continúa funcionando. Son ejemplos de esta opción el disponer de un doble circuito de transmisión de electricidad entre el generador de electricidad y la ciudad o industria que se pretende alimentar; iluminar con dos ampollas alimentadas independientemente un acceso peligroso, etc.
- b) Evitar los elementos en serie en el sistema. Esta alternativa consiste en evitar que el funcionamiento de un sistema dependa de la operación simultánea de varios elementos de confiabilidad baja. Un ejemplo de empleo de elementos en serie es el caso del movimiento de una correa transportadora con un solo motor y un solo convertidor de frecuencia; en este sistema basta que el motor o

el convertidor de frecuencia fallen para que la correa de transportese detenga. Otro ejemplo es el de la iluminación de un aviso publicitario mediante múltiples focos en serie; basta que una falle y el aviso queda totalmente apagado.

c) Mejorar la confiabilidad mediante el empleo de diseños y tecnologías adecuadas. En este aspecto, son múltiples las acciones para llevar a cabo:

- o Mejoramiento de instalaciones eléctricas domiciliarias e industriales. Es común observar instalaciones eléctricas en que los consumos son notablemente superiores a los límites de diseño debido al crecimiento del uso de la electricidad en todo tipo de actividad. Los enchufes múltiples conectados a un enchufe único son un ejemplo común que debe ser evitado.
- o Mejoramiento de los sistemas de compensación de factor de potencia. Los condensadores entran en resonancia con las reactancias de los transformadores de alimentación e incrementan notablemente la cantidad de armónicas, superándose los límites establecidos por norma, llegando incluso a la explosión de equipos e interruptores.
- o Mejoramiento de los sistemas de puestas a tierra y cables de neutro. Las corrientes armónicas que circulan por el neutro de los sistemas, provocan diferencias de voltaje entre neutro y tierra que pueden dañar diversos equipos electrónicos. Las mallas de tierra son diseñadas para proporcionar un camino de regreso a la fuente con impedancia suficientemente baja, sin embargo, con las corrientes armónicas esta impedancia crece y, por tanto, aparecen problemas no previstos por el diseñador.
- d) Disponer de reservas de abastecimiento de potencia y energía mediante múltiples fuentes. Son ejemplos de estos mejoramientos: la construcción de tranques de reserva de energía hidroeléctrica, el disponer de baterías y/o generadores diesel de respaldo, etc.

1.7.1 Esquemas y opciones que mejoran la confiabilidad de un sistema.

Dentro de los diversos esquemas que mejoran la confiabilidad se incluyen los siguientes:

- a) El uso de varios esquemas modulares en lugar de un solo gran esquema central.
- b) El empleo de equipos de reserva y de reemplazo para la alimentación de cargas críticas.
- c) El diseño de sistemas de distribución de electricidad en paralelo (esquemas de doble circuito) con interruptores automáticos de transferencia.
- d) El empleo de unidades de generación de electricidad de emergencia y de unidades de electricidad interrumpible.

1.8 Conclusiones del capítulo.

En el este capítulo hemos abordado los criterios y conceptos básicos para el desarrollo del presente trabajo.

- La eficiencia energética, la calidad del suministro y el uso racional de los portadores energéticos presentan en estos momentos una necesidad de desarrollo sostenible, donde la industria, los servicios y el sector residencial realizan importantes esfuerzos.
- Se mostró las principales normas de calidad de la energía por las cuales nos regiremos para realizar esta investigación.
- El Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico, ha determinado el grado de eficiencia/ que tiene una empresa o planta en nuestro caso.
- La realización de este tipo de estudio en entidades similares, ha permitido detectar los problemas existentes en las empresas, posibilitando la aplicación de medidas que han logrado notables avances con respecto del ahorro de energía.

CAPÍTULO II. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico.

2.1 Introducción

En el presente capítulo se expone todo lo relacionado con la instalación objeto de estudio donde se realizara una caracterización del mismo, se lleva acabo el levantamiento de las cargas instaladas, el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas de la instalación en las barras principales y en los equipos de mayor demanda y se simula el comportamiento de la red utilizando el software Easy Power, antes del acomodo de carga justificada y banco de condensadores y después de la propuesta de acomodo de carga y la compensación de potencia reactiva, para comparar los resultados y verificar si la propuesta es factible o no.

2.2 Descripción de la subestación

La investigación se realiza en la subestación 1TP de 0.48 kv en la planta Servicios Energéticos perteneciente a la planta Termoenergética de la Empresa Comándate Ernesto Che Guevara de primera categoría, la cual se alimenta desde la subestación principal de distribución (DDP) con tensión de 10.5 kv, posee 2 entradas de suministro de energía eléctrica a través de dos transformadores de potencia, sumergidos en aceite (1000 KVA, 10.5/0.48 kv, conexión delta-estrella aterrada) los cuales alimentan dos secciones de barras enlazadas entre sí por dos interruptores en las entradas de baja tensión (480 V) tipo WL FS III de 3200 A; un interruptor de enlace tipo WL FS I de 2000 A y 7 interruptores tipo WL FS I de 2000 (A) a los cuales están conectadas las cargas: en el interruptor 2 y 8 (reserva); en el interruptor 3 (Grúas de puente ,pizarras 1WP - 1-PCY , 2WP - 1-PCY_A ,25W - 1-PCY_A ,25WC - 1-PCY_B,1WP - TP dos transformadores WHOT 1RP-1de 440V a 230V. y un TE-8 CO-25).

El interruptor 4, alimenta a las pizarras (1W - 1PCY,22 WC_A,11A-1W - 1PCY,12 WY_G,1A-1W - 1PCY) con una carga conectada de 16 motores , 4 transformadores T8 y un enlace para la pizarra 3W.El interruptor 5 alimenta la pizarra (WB3, YKAC- CO-503) con una carga de 2 motores.El interruptor 6 alimenta la pizarra (2W - 1PCY,13 WY,23 WC) con una carga de 11 motores, CALEF. CO- 23, 2 transformadores T8 y un enlace para la pizarra 3W. El interruptor 7 alimenta las pizarras (2WP - 1T,1A-2WP - 1TP,WHOT Y YKP,3A-2WP - 1TP,24 WC) con una carga de 8 motores, tres transformadores de 440V a 230V, CALEF. CO- 24 y un transformador T8.El interruptor 9 alimenta la pizarra (WB2-1) con una carga de 1 motor (YKAC- CO-502_A,CAM. SEC CO-301,AL. VA DESC CO11_H).

El interruptor 10 alimenta las pizarras (WB2-2) con un enlace a través del interruptor (4-WB2-2) que alimenta una grúa puente y al taller de maquinado de la planta Hornos.

2.3 Descripción del flujo tecnológico de la planta.

Compresores 5 Hk - 265/4,2 aire Transporte Neumático.

Existen en la planta 4 compresores del tipo 5 HK-265/4,2T los cuales producen aire comprimido a una presión de 3,2 kgf/cm² (313 813 Pa) y un volumen de 265 m³/min cada una para las diferentes necesidades tecnológicas de la fábrica.

Para el trabajo del compresor el aire es succionado desde la atmósfera a temperatura ambiente 30 °C y presión atmosférica 0,99 kgf/cm² (97 085,8 Pa) y humedad relativa de 85 % a través de un silenciador en la cámara de succión prevista para cada compresor donde se realiza la limpieza del mismo.

El aire succionado penetra a la primera etapa de compresión, a la salida de este el aire caliente 140 °C y 2 kgf/cm² (196 133 Pa) de presión pasa a través del

enfriador bajando su temperatura hasta 60 °C y luego por el separador de humedad intermedio penetrando de nuevo al compresor donde alcanza su presión nominal de 3,2 kgf/cm² (313 813 Pa) y aumenta la temperatura a 140 °C, de aquí entra al enfriador saliendo a una temperatura aproximada de (50 a 60) °C y pasando por el separador de humedad final luego es enviado a otro enfriador montado a la parte exterior de la Planta con el objetivo de enfriar más el aire y extraerle la mayor cantidad de humedad posible antes de pasar al sistema, logrando disminuir la temperatura aproximadamente a (36 a 40) °C y extrayendo la mayor cantidad de humedad posible del aire suministrándose a los Consumidores con la calidad y cantidad requerida.

La lubricación del compresor se efectúa desde el tanque de aceite previsto de bombas, filtros y enfriadores.

Para garantizar la seguridad máxima de explotación el mando del compresor se efectúa desde el panel central, desde donde se realiza el arranque, la parada y control de la explotación.

Compresor Tipo TK2RVA-99 (Aire Tecnológico).

Existen 3 compresores del tipo TK2RVA-99 los cuales producen aire comprimido a una presión de 1,1 kgf/cm² (107 873 Pa) y un volumen de 40 200 m³/h. para las necesidades de la UBP Planta de Lixiviación y Lavado, la cual requiere de un flujo de 1 000 m³/min para los turboareadores. El mando de los compresores es automatizado en grado considerable y los sistemas de regulación automático garantizan los parámetros necesarios. El compresor se acciona por medio del motor eléctrico y el multiplicador Flujo Tecnológico.

Existen en la planta tres compresores de pistón 2BM10-50/8 de fabricación soviética que poseen dos etapas de compresión con enfriamiento de aire intermedio. El aire para la compresión es succionado mediante una toma a la atmósfera común para los tres compresores desde la cual el aire succionado pasa a una tubería colectora.

El aire succionado a través de la toma de aire de la atmósfera, a una presión de 1,0 Kgf/cm² (98 066,5 Pa) y a la temperatura de (28 a 32) °C, pasa primeramente por un silenciador acoplado a dicha toma, el cual elimina el ruido que se origina, pasando ese aire hacia la cámara de succión y de esta a la cámara de aire limpio a través de un filtro de rollo tipo o 4PY_A_TB3, el cual le elimina las partículas extrañas que pueda arrastrar. Este aire limpio pasa al cabezal común de 530 X 7 a través de una tubería del mismo diámetro, siendo succionado por el compresor que está operando.

El aire antes de llegar a la primera etapa de compresión pasa por un tanque compensador, el cual tiene la función de evitar las fluctuaciones en la succión del compresor, esto se logra debido a que el tanque posee una capacidad tal que garantiza que el compresor succione el caudal de aire para el cual está diseñado, asegurando al propio tiempo una entrega constante al consumidor. El aire succionado por el compresor desde el tanque comprimido a una presión de 2,0 Kgf /cm² (196 133 Pa), al salir de la primera etapa el aire posee una alta temperatura de 165 °C por lo que se hace pasar por un enfriador intermedio y luego por el separador de humedad, donde producto del enfriamiento intermedio, se obtiene un condensado, el cual es purgado en el separador de humedad.

Compresor tipo K-500-61-1

Existen 2 compresores del tipo K-500-61-1 de 2,5 MW/h de consumo, los cuales producen aire comprimido a una presión de 7 kgf/cm² (686 465 Pa) y un volumen de 25 000 m³/h cada uno, para los diferentes necesidades de aire servicio de la fábrica, así como el aprovechamiento de su capacidad en otros destinos dentro de la fábrica (Aire Transporte Neumático, etc.).

Para el trabajo del compresor el aire es succionado de la atmósfera a través de la cámara de succión, independiente para cada compresor, a una temperatura de 30 °C, presión de 1 kgf/cm² (98 066,5 Pa) y una humedad relativa promedio de 85 %.

El aire succionado penetra a la primera etapa de compresión saliendo a una temperatura de 150 °C pasando luego a través del enfriador saliendo el aire a una temperatura de 150 °C, penetrando luego a la 2da etapa de compresión de donde sale a una temperatura de 65 °C; luego penetra a la 3ra etapa de compresión de donde sale a una temperatura de 135 °C y una presión de 7 kgf/cm² (686 465 Pa), luego pasa a través de dos enfriadores verticales instalados en paralelo lográndose enfriar el aire hasta (40 o 42) °C pasando luego directo a los consumidores.

Compresor tipo Betico.

La planta consta con 3 compresores BETICO de fabricación Española. Los compresores de la serie LK son máquinas de dos cilindros (de primera y segunda etapa) colocados en L acondicionados con bielas, cruceta y émbolos para el trabajo a doble efecto, la compresión se efectúa en dos etapas, el cual hace pasar el aire succionado de la atmósfera a la presión de 1 kgf/cm² (98 066,5 Pa) y la temperatura de (28 a 30) °C, pasando por filtros de polvos y llega a la primera etapa de compresión el cual toma una presión de (1,8 a 2,0) kgf/cm² (176 520 a 196 133) Pa y una temperatura de (120 a 130) °C.

El aire pasa por un enfriador intermedio refrigerado por agua el cual trabaja en paralelo y el aire sale con una temperatura de (50 a 60) °C, de aquí pasa a la segunda etapa de compresión saliendo con una presión de 7 kgf/cm² (686 465 Pa) y una temperatura de 180 °C.

2.3.1 Esquemas monolineales de la subestación 1TP.

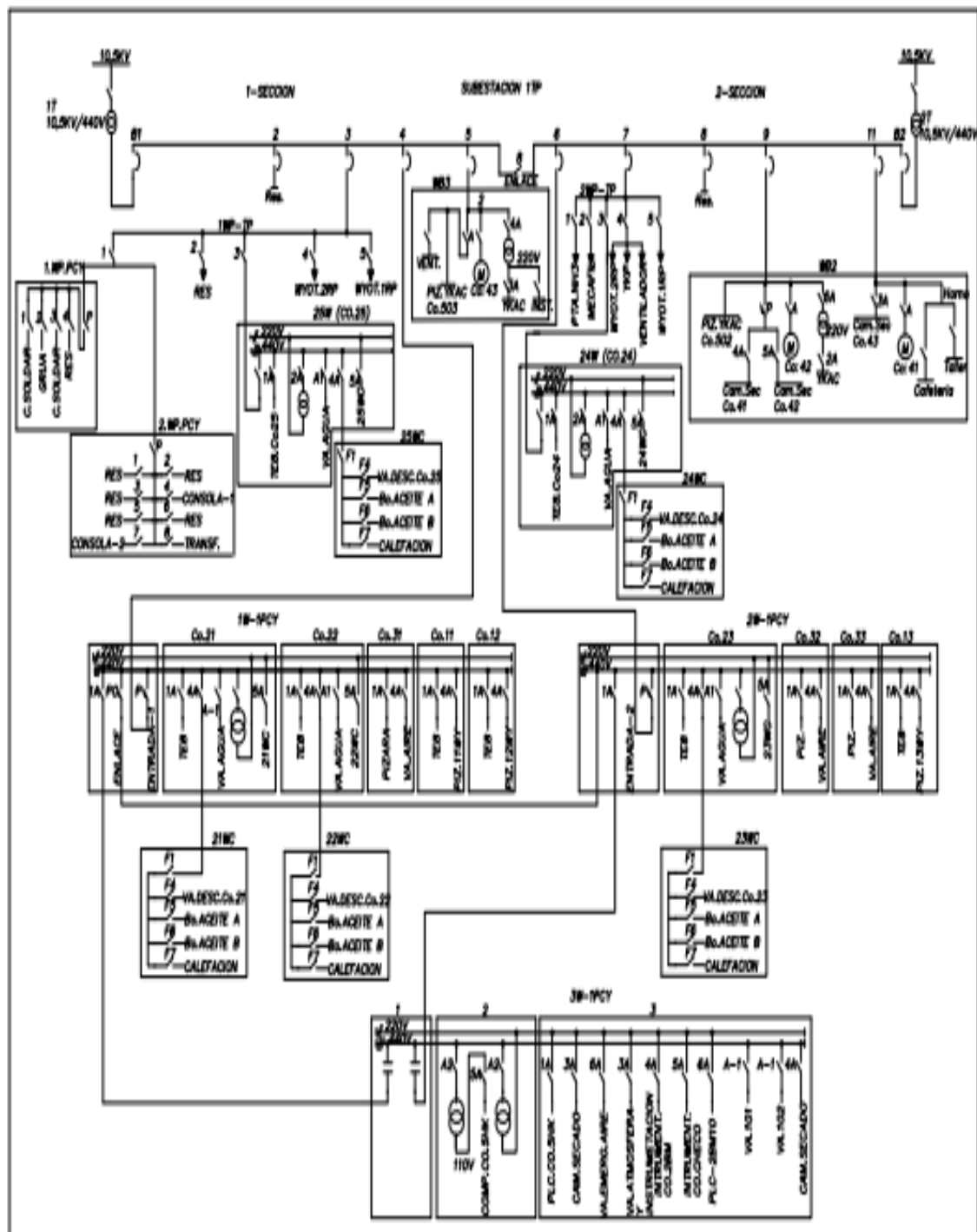


Figura 2.1 Esquema monolineal actual de la subestación 1TP.

2.3.2 Levantamiento de la carga instalada por cada interruptor individual

Interruptor B1	1TP SECCION I	486.34 A / 398.2Kva
Interruptor 3	1WP – TP	115.5KW /168.7A
	B-1WP – TP	67.8 / 45.4KW
	1WP - 1-PCY	40.9KW / 61.4A
	2WP - 1-PCY_A	6.4 A / 4.2KW
	Grúas de puente	40.4KW / 61.4A
	25W - 1-PCY_A	100.9A / 68.8KW
	25WC - 1-PCY_B	16.4KW / 24.6A
Interruptor 4	1W - 1PCY	295.07A / 230.7KW
	22 WC_A	16.7KW / 21.1A
	21 WC	29.00A /18.01KW
	24WC	18.2KW / 29.3A
	11 WY_F	1.7A / 1.1KW
Interruptor 5	WB3	18.5KW / 27.5A
Interruptor 6	2W - 1PCY	274.4A / 102.3KW
	3W 1-PCY	71.2KW / 90.1A
	12 WY_G	11.7A /1.13KW
	13 WY	1.28KW / 1.9A
	23 WC	29.03A / 20.5KW
Interruptor 7	2WP - 1TP	102.3KW / 136.5A
	PLANTA NH3	53.4A / 42.5KW
	WHOT Y YKP	3.4A / 2.5KW
	24 W	82.1A / 56.0KW
	24 W	82.1A / 56.0KW
Interruptor 10	WB2-2	86.6A /57.1KW
	TALLER DE HORNOS	86.0A / 56.6KW
	MAQUINADO	32.8A / 21.4KW

2.4 Software e instrumento utilizado

2.4.1 Instrumento utilizado para las mediciones.

Las mediciones realizadas se efectuaron con un analizador de red digital (PQMPC) como se muestra en la figura 2.2. Este instrumento está destinado estrictamente a la medida de calidad. Suele medir únicamente los tres canales de tensión y registra simultáneamente los parámetros de calidad: Valor eficaz y armónicos.

El analizador de red permite capturar y registrar gran cantidad de datos. Estos datos suelen ser tratados en tiempo diferido, transfiriendo los datos del analizador a un fichero y posteriormente procesando dichos datos; permite obtener registros gráficos donde se puede tener una visión general de la evolución de cualquier magnitud eléctrica y permite también obtener tablas numéricas que muestran los valores en un determinado instante o intervalo de tiempo.

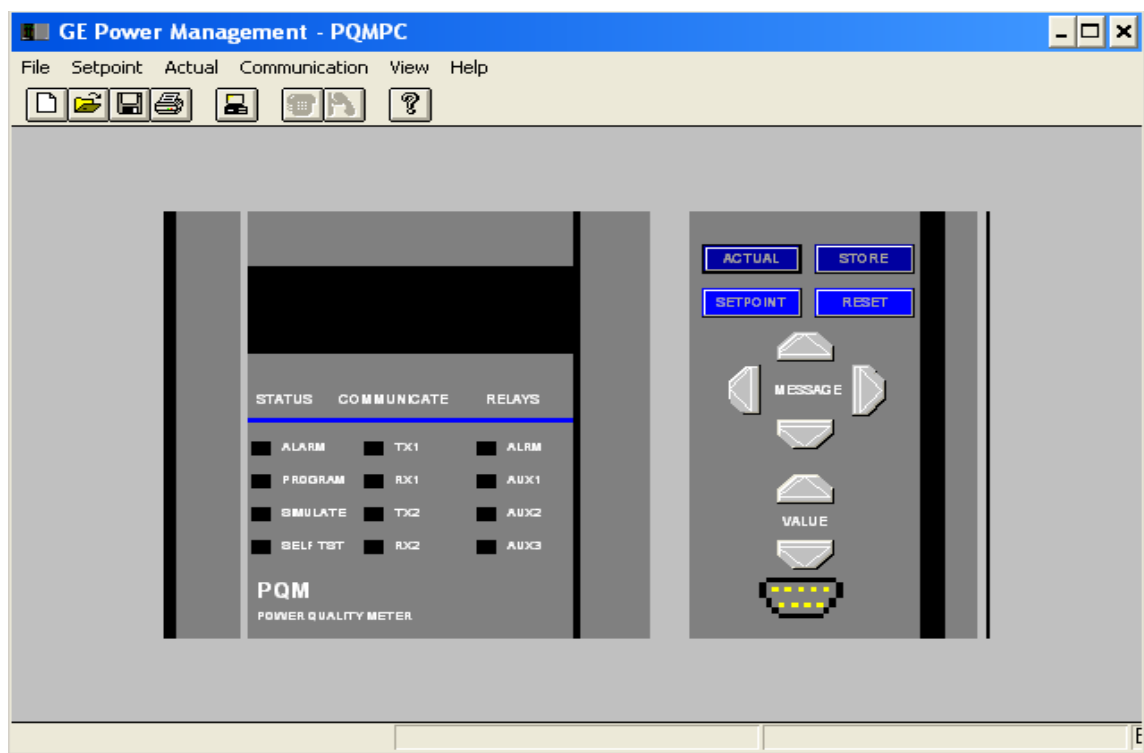


Figura 2.2 Interface gráfica del analizador de redes PQMPC.

El analizador PQMPC puede utilizarse para visualizar todos los tipos de líneas eléctricas más comunes. A continuación se mencionan cinco de las más usuales en el campo de la especialidad.

El tipo de conexión que utilizamos para medir con el analizador de red en La planta termoenergética de La empresa Ernesto Che Guevara fue (La línea trifásica a 4 hilos). Este instrumento nos da la posibilidad de medir en otros tipos de conexiones como:

- Línea trifásica a 4 hilos.
- Línea monofásica a 3 hilos (conexión Edición).
- Fase única a 2 hilos.
- $2^{1/2}$ elemento batimétrico.
- Líneas trifásicas a 4 hilos (con el neutro desconectado).

En la figura 2.3 se muestra la conexión utilizada para la realización de las mediciones en el estudio.

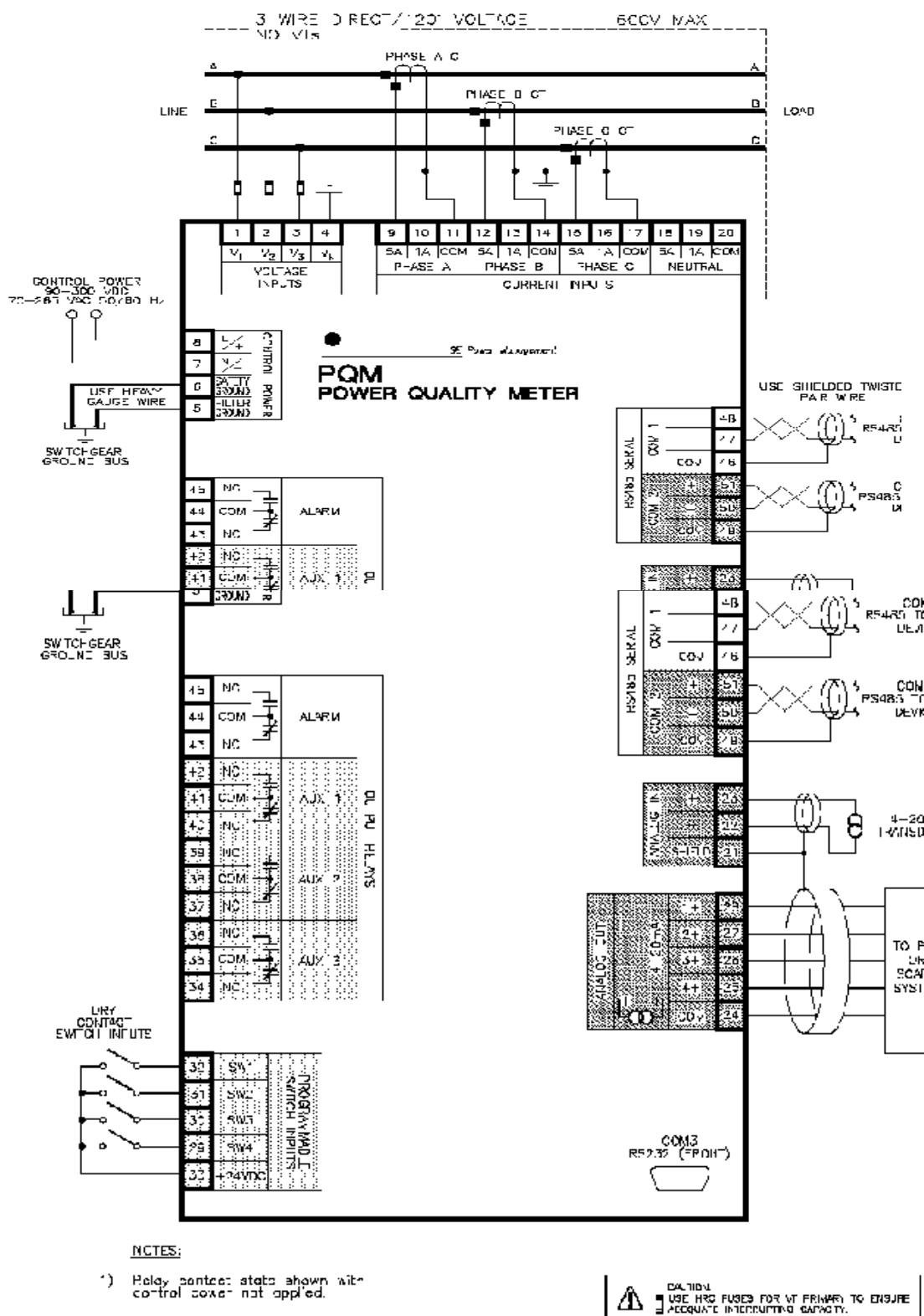


Figura 2.3 Conexiones utilizadas para el PQMPC.

Software utilizado:

Para las simulaciones se empleó el software Easy Power ver figura 2.4, esta es una herramienta informática muy potente que permite realizar; corridas de flujo de potencia, coordinación de protecciones, análisis de armónicos, entre otras aplicaciones útiles para consumidores industriales con complejos circuitos de suministro el programa está avalado y cuenta con un elevado nivel de precisión.



Figura 2.4: Software Easy Power simulador de sistemas eléctricos de suministro.

Las formas más adecuadas de analizar la variación del consumo de energía eléctrica, es por medio de una representación gráfica donde en el eje de las

ordenadas se sitúa el consumo de las potencias y en el eje de las abscisas el tiempo (normalmente las 24 horas del día).

La unidad básica de potencia que se usa en estas curvas es el Watt (W), Volt. Amper (VA), Volt. Amper reactivo (VAr.).

Como estas resultas pequeñas se suele emplear múltiplos de las mismas. Las unidades más usadas son las siguientes:

(kW) =1000 W. (kVA) =1000 VA. (kVAr) =1000 VAr

A continuación presentamos los gráficos de flujo de potencia con las mediciones tomadas en la subestación 1TP sección I y sección II respectivamente. La cual se encuentra en el **anexo 2**.

Se presentan la potencia activa (kW), potencia aparente (kVA), potencia reactiva (kVAr) y el factor de potencia en condiciones actuales con un tiempo de medición de 24 horas. A partir del analizado de redes PQMPC

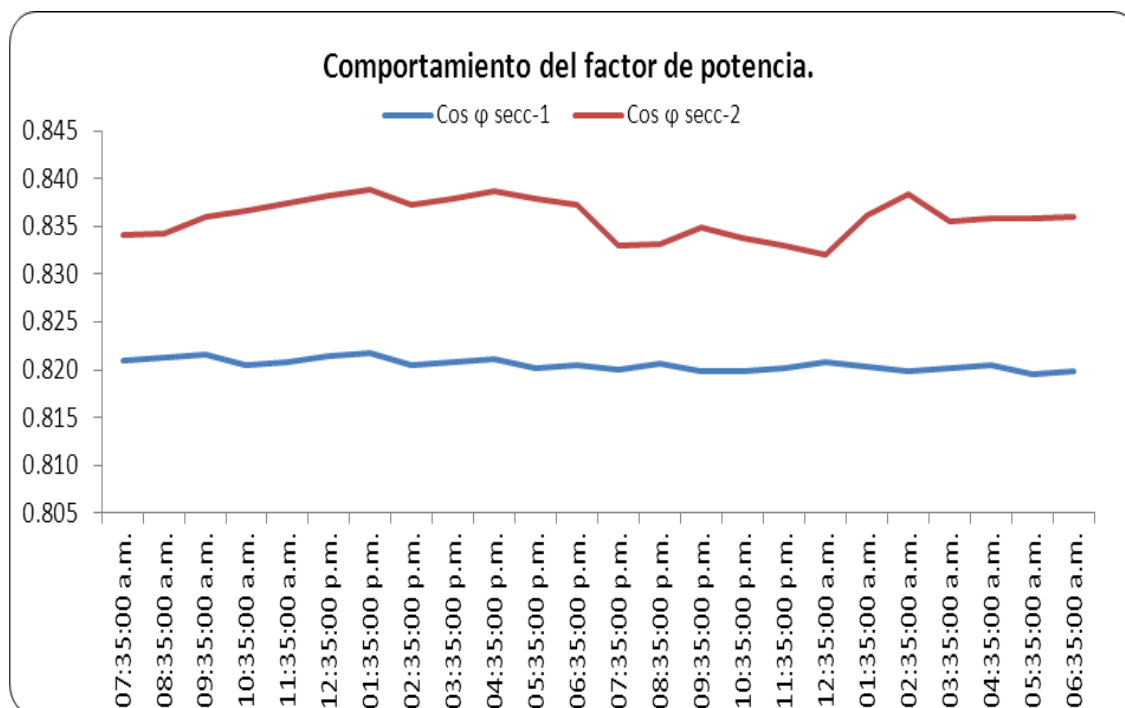


Figura2.5 Comportamiento del factor de potencia.

En la figura 2.5 se muestra un bajo factor de potencia en la subestación 1TP en las secciones I y II. Lo que demuestra una gran pérdida por transferencia de potencia reactiva desde la subestación hasta los consumidores. Como se muestra en el **anexo 1**.

Comportamiento del flujo de carga en la subestación 1TP sección-I.

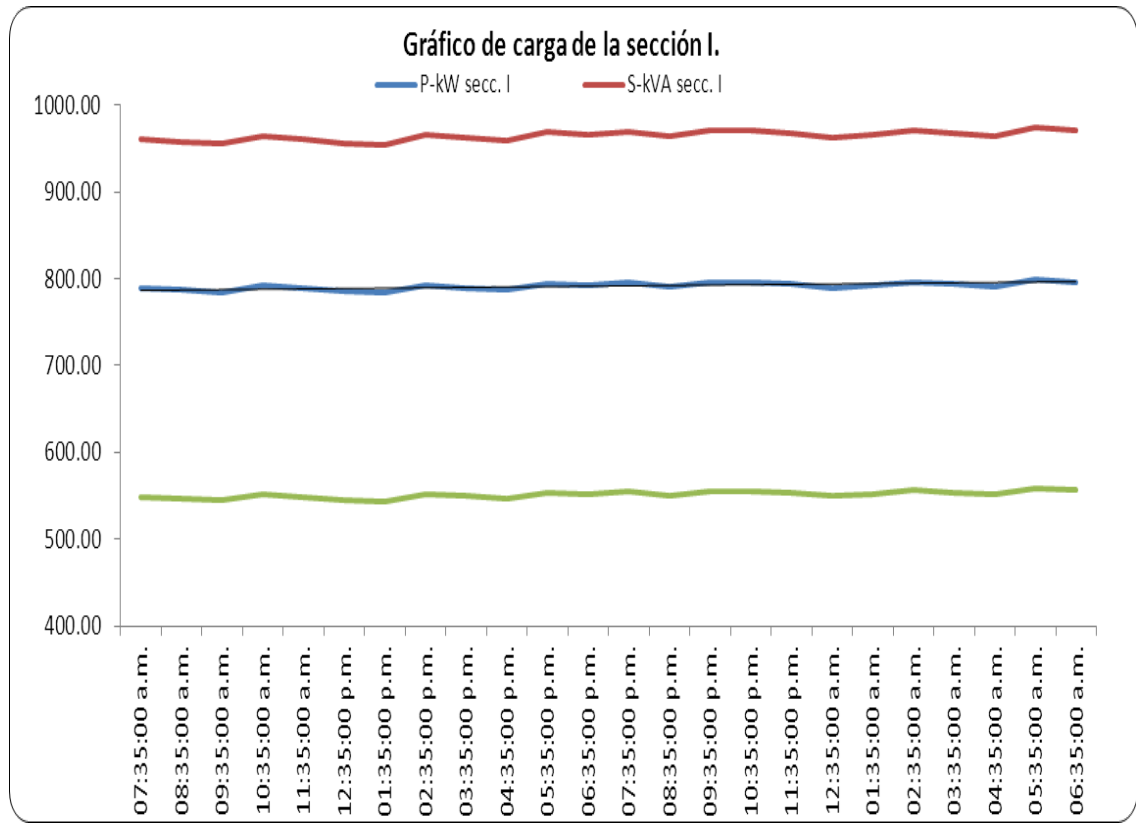


Figura: 2.6. Flujo de carga en la sección I.

En la figura 2.6 se muestra mediante grafico de carga las mediciones de la potencia activa, reactiva y aparente en la sección I de la subestación 1TP.

Podemos observar que el coeficiente de utilización activo, se ve afectado por la alta transferencia de potencia reactiva del transformador a tal punto que con estos datos el transformador se encuentra a un 97% de su potencia nominal aparente.

Comportamiento del flujo de carga en la subestación 1TP sección-II.

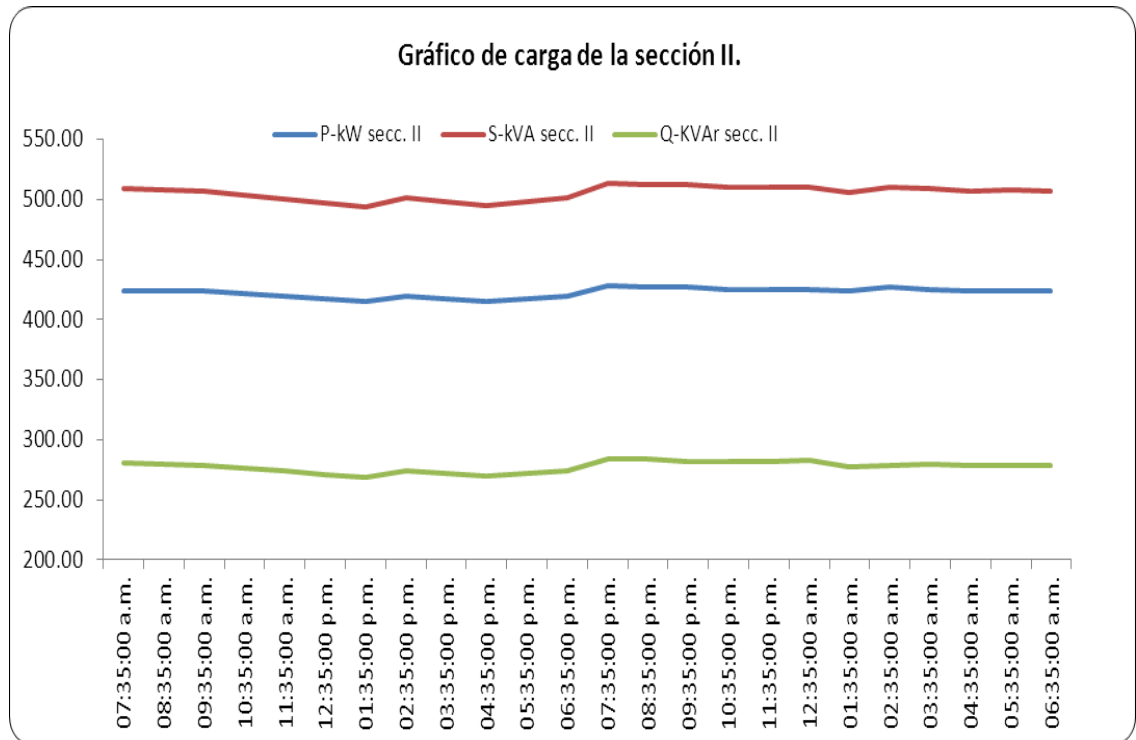


Figura: 2.7. Flujo de carga en la sección II.

En la figura 2.7 se muestra mediante grafico de carga las mediciones de la potencia activa, reactiva y aparente en la sección II de la subestación 1TP. Se observa que solamente el consumo de potencia reactiva de transferencia por el transformador es superior a la mitad del consumo de potencia activa. Lo que trae consigo que el transformador se encuentre cargado a un 50% de su potencia nominal.

Todo esto denota que existe un desbalance de potencia en la subestación objeto de estudio y un deficiente aprovechamiento de los transformadores producto a una alta transferencia de potencia reactiva.

2.5 Montaje del esquema de suministro de la subestación en Easy Power.

Para poder realizar cualquier simulación es necesario montar el esquema a simular con todos los componentes bien interconectados en el software a utilizar, para lograr que la simulación sea lo más acertada posible hay que tener en cuenta que los parámetros de los consumidores y los conductores deben ser los reales. La figura 2.3, muestra cómo queda conformado el esquema monolineal de la subestación montado en la ventana de trabajo del Easy Power.

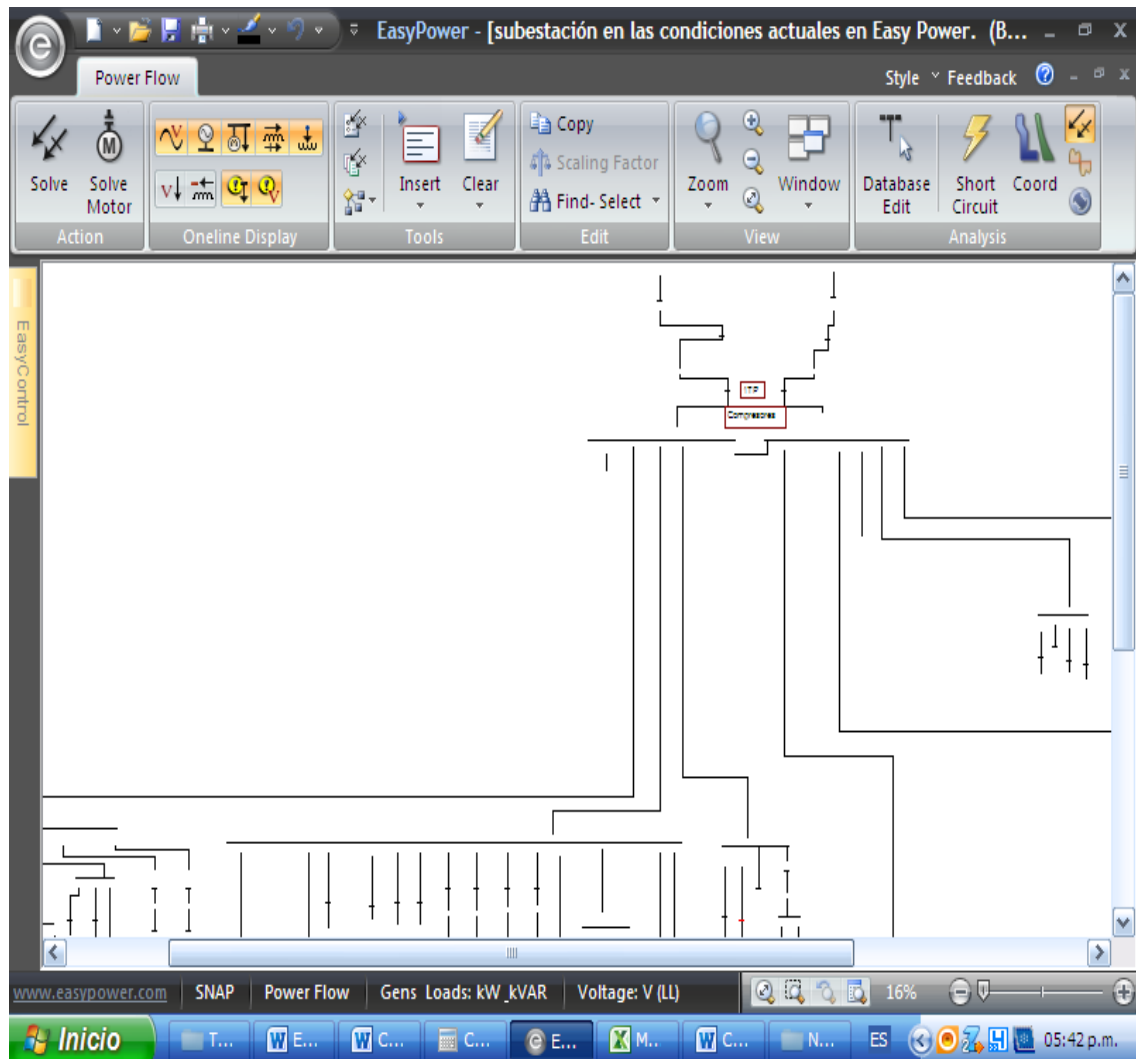


Figura 2.9: Montaje del esquema de suministro de la subestación en Easy Power.

2.6 Simulación del flujo de potencia en la subestación en las condiciones actuales en Easy Power.

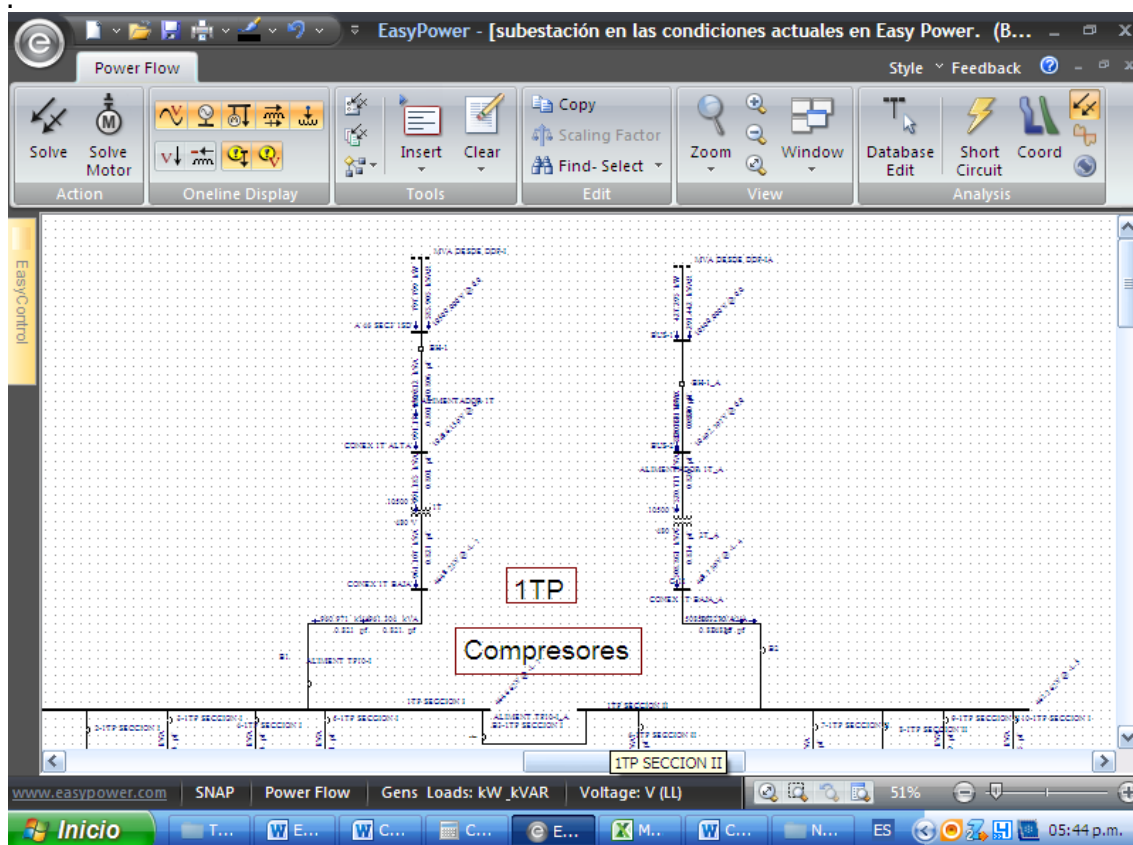


Figura 2.10: Flujo de potencia en la subestación en condiciones actuales

Tabla 2.2: Resumen del reporte del sistema.

Reporte del sistema				
Total	kW	kVAr	kVA	PF
La Generación en el Sistema	1225	879	1508	0.812
Cargue en el Sistema	1165	759	1390	0.838
Desvíe Carga en el Sistema	0	0		
Las Pérdidas en el Sistema	60	121		

Tabla 2.3: Resumen del reporte de los generadores.

Generador	Solución			
Nombre	kW	kVAr	kVA	Pf
MVA DESDE DDP-I	798	586	990	0.806
MVA DESDE DDP-IA	427	293	518	0.824

Después de montado el esquema con los datos actualizados, y correr la simulación, el programa proporciona un reporte detallado que permite analizar el comportamiento real del sistema de suministro, las tabla 2.2 y 2.3 muestran un resumen del reporte obtenido después de la corrida de flujo de potencia en condiciones actuales.

Como se muestra en los resúmenes del reporte de sistema y los generadores los mayores problemas detectados en la subestación están relacionados con la diferencia de carga operacionalmente entre una sección y otra y el factor de potencia.

Resumen del comportamiento del flujo de carga en la sub. 1TP

Promedio de las mediciones efectuadas en la subestación 1TP.		
Parámetros	SECCION I	SECCION II
P-kW	789,22	424,27
Q-kVAr	548,84	280,94
S-kVA	961,3	508,86
Cos φ	0,821	0,834

Tabla 2.4 Promedio de las mediciones.

Gráfico de carga promedio de las secciones I y II en la sub.1TP.

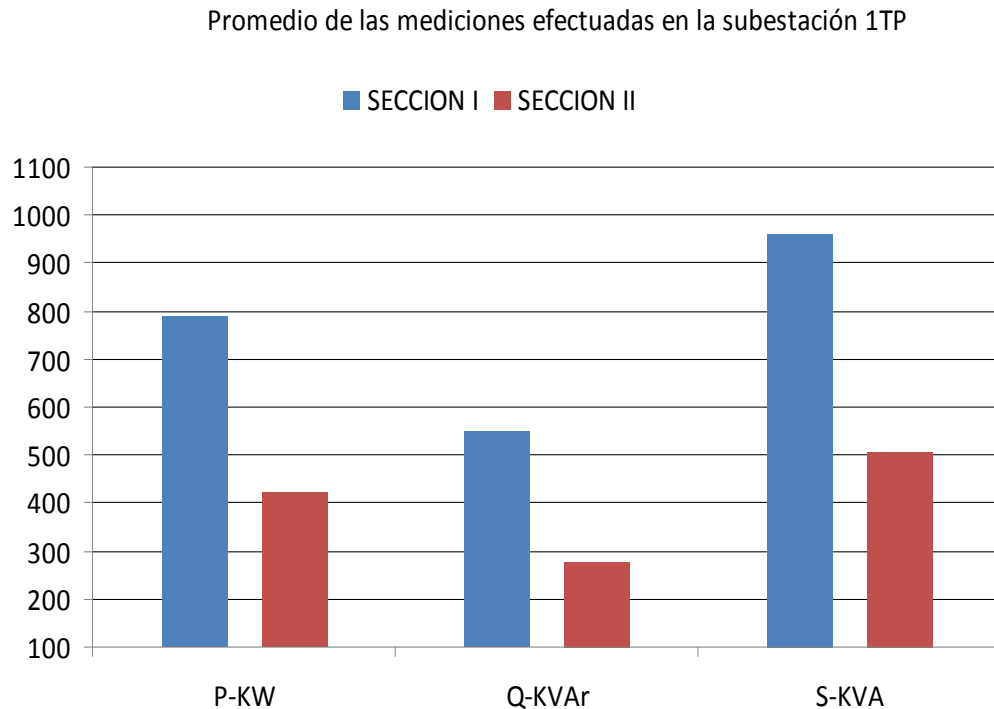


Figura 2.11 Promedio de las mediciones.

De manera resumida en la tabla 2.4 y en la figura 2.11 se muestra un desbalance de las cargas en condiciones actuales de operación de la subestación, lo que trae consigo que se acrecienten las pérdidas por transferencia de potencia desbalanceada desde la subestación hasta los consumidores.

2.7 Conclusiones del capítulo.

En el presente capítulo se caracterizó el sistema eléctrico de la planta, se conocieron los resultados del diagnóstico energético donde se conocieron los problemas existentes en la distribución de la planta, los cuales afectan la operatividad y flexibilidad.

Se actualizó el Monolineal y la propuesta de un nuevo esquema con sus cargas instaladas. Con las mediciones realizadas se determinó que el consumo de la segunda sección está elevado por lo que se hace necesario un balance de carga y la necesidad de compensar la potencia reactiva en la subestación.

Para el montaje y simulación del esquema en el software Easy Power fue necesario la actualización de los datos, de cargas y conductores, además de realizar una serie de mediciones en diferentes puntos del sistema.

CAPÍTULO III. Análisis de los resultados y evaluación técnico económica.

3.1 Introducción.

En este capítulo tiene como objetivo realizar análisis técnico económico de la propuesta, se determina si la inversión a realizar será factible o no considerando los principales costos relacionados con balance de carga y la adquisición y montaje de los condensadores, se analiza la potencia liberada luego de la compensación, la reducción de pérdidas de potencia activa y se calcula el período de recuperación de la inversión.

3.2 Mejoras en la Distribución del Sistema Eléctrico de la Planta

Como solución a los problemas fundamentales que presenta el esquema de distribución actual de la planta, se proponen variantes en la subestación objeto de estudio, las cuales aumentan la flexibilidad del suministro.

Para realizar la propuesta se tuvieron en cuenta varias variantes, quedando la de mayor confiabilidad y flexibilidad aprobada por la máxima dirección de la planta. Con la propuesta de esquema siguiente quedan solucionados todos los problemas existentes por desbalance de carga y bajo factor de potencia en la planta 1TP.

Propuesta de cambios en la subestación 1TP de la planta Termoenergética

SECCION 1

1. Trasladar la alimentación de la pizarra YKAC K500-3 que se alimenta de la pizarra UB3 para la salida del I-2 de la subestación.

2. Dejar el I-5 solamente para la pizarra ЩВ3.
3. Trasladar la alimentación de la pizarra 25 Щ (CO-25) que se alimenta de la pizarra 1ЩР-TP para la pizarra 3Щ-1PCY.
4. Trasladar la alimentación del T8 y la pizarra 12 Щ (CO-12) que se alimenta de la pizarra 1Щ-1PCY para la pizarra 3Щ-1PCY.

SECCION 2

1. Trasladar la alimentación de la pizarra 24 Щ (CO-24) que se alimenta de la pizarra 2ЩР-PCY (realmente se debe poner a esta pizarra 2ЩР-TP) para la pizarra 2Щ-1PCY (se rectificó la pizarra, yo había puesto que se alimentara de la 3Щ-1PCY, realmente es de la 2Щ-TP).
2. Trasladar la alimentación de la pizarra YKAC K500-2 que se alimenta de la pizarra ЩВ2 para la salida del I-8 de la subestación.
3. Trasladar la alimentación del CO-41 para el interruptor que alimentaba la pizarra YKAC K500-2 en ЩВ3.
4. Terminar de trasladar para el plano el T8 y la pizarra 11 Щ (CO-33) que se alimenta de la pizarra 2Щ-1PCY (repito, realmente se le debe poner a esta pizarra 2ЩР-TP) para la pizarra 3Щ-1PCY.

ENLACES EN LAS PIZARRAS

Conformar un enlace entre las pizarras YKAC K500-3, primera sección y la pizarra YKAC K500-2, segunda sección.

1. Conformar un enlace entre las pizarras ЩВ3, primera sección y la pizarra ЩВ2, segunda sección.

A continuación se presenta el esquema de la 1TP con las mejoras presentadas anteriormente, como se muestra en la figura 3.1 respectivamente.

Esquema Monolineal de la subestación 1TP con las mejoras propuestas.

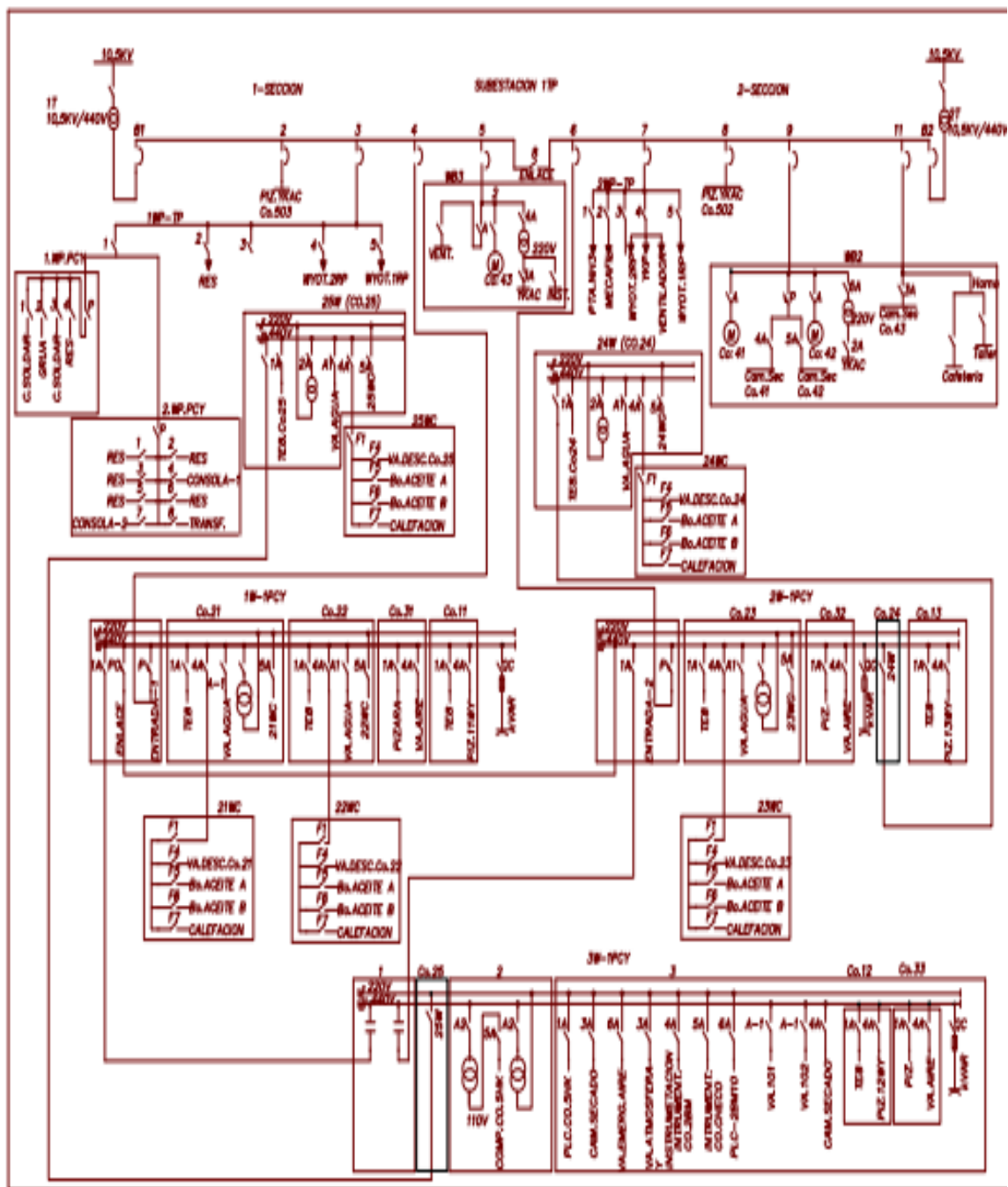


Figura 3.1 Esquema Monolineal con las mejoras.

Simulación del flujo de potencia después del acomodo de carga y compensación.

Para realizar el balance de carga en la subestación se tuvieron en cuenta que las principales cargas y mayores consumidores. Los cuales estuvieran distribuido equitativamente en cada sección de barras de la subestación objeto de estudio, ya que estos son los mayores consumidores tanto de potencia activa como de reactiva. Para mejorar el factor de potencia se determino instalar tres bancos de condensadores, lo mas cerca de la carga posible uno en cada sección de barras de los CCM.

Cálculo de la Qc necesaria para elevar el factor de potencia en la subestación.

Según la ecuación 3.1, para determinar la capacidad **Qc** en kVAr que debe tener el banco a instalar, es necesario conocer la potencia activa consumida en el punto de conexión del banco, el factor de potencia inicial y el factor de potencia deseado, con estos valores se procede al cálculo mediante la fórmula:

$$Qc = P * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (3.1)$$

$$\varphi_1 = \cos^{-1}(FP_{\text{INICIAL}})$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1}(FP_{\text{DESEADO}})$$

Sustituyendo:

$$Qc_{CCM1} = 471.44 * (\tan(\cos^{-1}(0.822)) - \tan(\cos^{-1}(0.95))) \approx 172 \text{ kVAr}$$

$$Qc_{CCM2} = 479.72 * (\tan(\cos^{-1}(0.844)) - \tan(\cos^{-1}(0.95))) \approx 116.8 \text{ kVAr}$$

$$Qc_{CCM3} = 158.18 * (\tan(\cos^{-1}(0.845)) - \tan(\cos^{-1}(0.95))) \approx 48 \text{ kVAr}$$

Luego de haber calculado los bancos de condensadores por el método anterior, se determinó que la capacidad total de los bancos para corregir el factor de potencia es de 336.8kVAR.

La compensación se hará mediante bancos controlados la regulación de los bancos será de forma automática se obtienen valores de Q_c aproximados a los obtenidos mediante los cálculos estos valores se introducen al programa y se corre la simulación para observar el comportamiento del factor de potencia en todo el circuito.

A continuación se presenta la simulación de las mejoras con el uso del software Easy Power. Figura 3.2

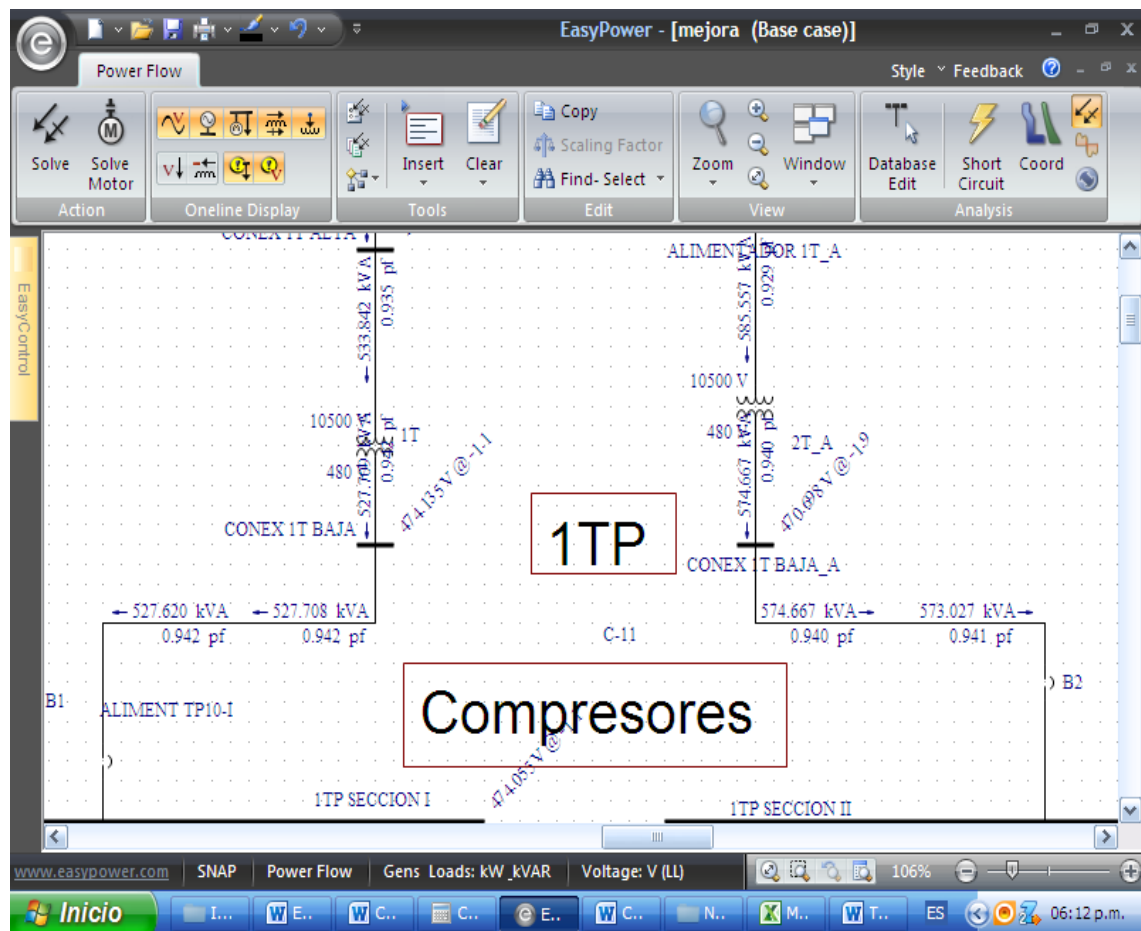


Figura 3.2: Simulación del flujo de potencia después del acomodo de carga y compensación Easy Power.

Tabla 3.1: Resumen del reporte del sistema.

Reporte del sistema				
Total	kW	kVAR	kVA	PF
La Generación en el Sistema	1044	398	1117	0.934
Cargue en el Sistema	996	637	1182	0.842
Desvíe Carga en el Sistema	-0	-325		
Las Pérdidas en el Sistema	48	85		

La tabla 3.1 muestra los valores de potencia y factor de potencia luego de la propuesta de las mejoras, podemos observar que las pérdidas del sistema disminuyeron de 60 kW a 48 kW, es decir, se logró disminuir 12 kW solamente por las pérdidas por transformación, se redujo en 181 kW el consumo tomado desde el SEN, se logró mejorar el factor de potencia de 0.80 a 0.93 y finalmente quedo en 391 kVA por transferencia a los transformadores.

Tabla 3.2: Resumen del reporte de los generadores.

Generator	Solution			
Name	kW	kVAR	kVA	Pf
MVA DESDE DDP-I	499	185	533	0.938
MVA DESDE DDP-IA	544	213	584	0.931

En las tablas 3.1 y 3.2 : Se observan en forma resumida los principales parámetros eléctricos por cada una de las secciones según se corre la simulación, se puede apreciar como mediante el balance de las cargas y la compensación de la potencia reactiva disminuye el consumo de potencia activa y el valor del factor de potencia aumenta. Los niveles de pérdidas disminuyen y se libera capacidad en los transformadores.

Tabla 3.3: Resultados de la simulación con las mejoras

Resultados de las mejoras en la sub.1TP.		
Parámetros	SECCION I	SECCION II
P-KW	496.87	540.33
Q-KVAr	177.73	195.45
S-KVA	527.7	574.6
Cos φ	0.942	0.94

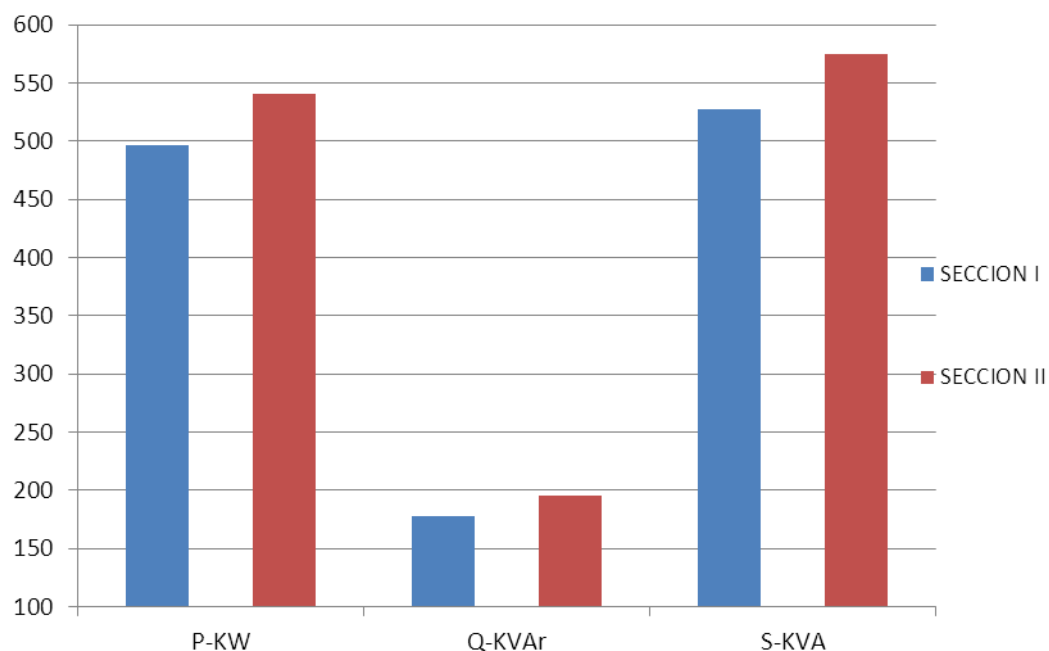
Gráfico de flujo de carga de los resultados de la simulación.

Figura 3.3 Resultados de la simulación con las mejoras.

En la tabla 3.3 y el gráfico 3.2 se muestran los parámetros de flujo de potencia en las secciones I y II de la subestación 1TP respectivamente, tomados de la salida de los transformadores hacia los consumidores donde se observa el resultado del balance de las cargas.

3.3 Beneficio obtenido mediante el acomodo de carga y banco de condensadores.

El acomodo de carga trae consigo importantes beneficios para la planta que permiten mayor operatividad y flexibilidad del sistema de suministro eléctrico como por ejemplo.

- Nos da la posibilidad de trabajar la planta a plena capacidad con una sola sección en casos de averías o mantenimientos.
- La alimentación de los motores de las bombas quedaron distribuidos equitativamente.
- Liberación de potencia aparente.
- Liberación de potencia activa.
- Disminución de la corriente demandada.
- Disminución de transferencia de potencia reactiva.

3.4 Evaluación de la compensación mediante acomodo de carga y bancos de condensadores.

A través de las simulaciones se demostró la correcta utilización de la energía eléctrica con un adecuado balance de carga y banco de condensadores para la compensación del factor de potencia en el sistema de suministro de la planta 1TP. El empleo de bancos de condensadores permite elevar el factor de potencia y mejorar la eficiencia energética en el sistema de suministro de la planta.

La utilización de tres bancos de condensadores controlados ubicados lo más cercano posible de las cargas, individualmente en las tres secciones de barras de los CCM respectivamente, permite elevar el factor de potencia en la subestación a valores por encima de 0.93, lográndose una disminución de las

pérdidas de potencia activa en el sistema, equivalentes a 181kWh, que en un año representen un total de 1585,55 MW, ahorrados.

3.5 Valoración económica.

El análisis del trabajo está basado en el acomodo de cargas y la instalación de bancos condensadores, y así compensar el consumo de potencia reactiva, mejorar el factor de potencia y minimizar las pérdidas existentes en la subestación.

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.

➤ Gastos de Adquisición y Montaje.

Los gastos de adquisición y montaje relacionan todos los costos en los que es necesario incurrir para la adquisición del equipamiento que se pretende instalar, los gastos de salario del personal encargado del montaje, ajuste y puesta en marcha, así como los gastos parciales para reparación y mantenimientos.

Tabla 3.4: Gastos de adquisición.

Descripción.	kVAr/kV	Cantidad	Pecio (CUC)	Total (CUC)
Bancos de condensadores. Firma ERKA	172/0.48	1	6404.13	6404.13
	116.8/0.48	1	4348.85	4348.85
	48/0.48	1	1787.2	1787.2
Regulador.		3	210	630
Flete marítimo y otros gastos.				1152.5
Seguro				215.6
Total.				14538.280

- El proveedor de los bancos de condensadores es la firma ERKA
- Gastos de materiales.

Tabla 3.5. Costos de los materiales para la instalación de los condensadores y el balance de carga: Ver **anexo 3**.

Para los cambios de los compresores K500-2 K500-3.

No.	Descripción	U/M	Cantidad	Costo (Cup)	Costo (CUC)	Costo Total (CUC)
1	Cable de cobre con recubrimiento de PVC de (4x240mm)	m	600	11.19	116.56	70204.56
2	Cinta aislante (Teype de goma)	u	4	1.43	6.577	26.5368
	Cinta aislante (Teype eléctrico)	u	4	0.33	0.83	3.3728
3	Interruptores (400 Amp.)	u	2	109.58	741.48	1491.7264
4	Terminales de 240 mm	u	16	1.10	3.92	63.424
Costo de los materiales						71789.62
Imprevistos (5%)						297.373
Costo total de los materiales						72086.99

Para los cambios de los compresores CO-12 y CO-33.

No.	Descripción	U/M	Cantidad	Costo (Cup)	Costo (CUC)	Costo Total (CUC)
1	Cable de cobre con recubrimiento de PVC de (4x70mm)	m	100	88.60	725.53	72907.64
2	Cinta aislante (Teype de goma)	u	4	1.43	6.577	26.5368
	Cinta aislante (Teype eléctrico)	u	4	0.33	0.83	3.3728
3	Interruptores (250 Amp .)	u	2	88.60	725.53	1458.1
4	Terminales de 70 mm	u	16		0.544	8.64
Costo de los materiales						74404.2896
Imprevistos (5%)						297.373
Costo total de los materiales						74701.6596

➤ Gastos de Salario del personal de montaje:

Para evaluar los gastos relacionados con el montaje, ajuste y puesta en marcha, se estima un tiempo aproximado de 9 días, con la utilización de 5 trabajadores. La tabla 4.3 nos muestra el desglose de los trabajadores por categorías, así como el importe total de los gastos en salario, relacionados con el montaje de los condensadores.

Tabla 3.6. Costos de salario para montaje de los condensadores

No.	Descripción	Cantidad	Costo Diario (CUC)	Costo Total (CUC)
1	Técnico Superior	1	15.21	136.89
2	Técnico Medio	1	11.83	106.47
3	Electricista (Categoría B)	3	10.80	291.6
4	Merienda	50	6.00	30.00
Costo de salario				564.96
Imprevistos (5%)				16.36
Costo total de salario				581.32

El cálculo de la inversión total parcial se determina por la ecuación 3.1.

$$Cm = Ce + Ca + Cs \quad (3.2)$$

Donde:

Cm : Costo de montaje.

Ce : Costo total del equipamiento

Ca : Costo total de los accesorios.

Cs : Costo total de salarios.

Sustituyendo:

$$Cm = 14538.28 + 146788.65 + 581.32 = 161908.25\$ \text{ (CUC)}$$

➤ Ahorro por concepto de reducción de pérdidas eléctricas en la subestación.

- Ahorro por disminución de pérdidas en el sistema, según los reportes obtenidos después de la corrida del flujo de potencia.
- Reducción de pérdidas: 181kWh.
- Reducción de pérdidas en un año: $181\text{kWh} \times 24\text{h} \times 365 \text{ días} = 1585.55\text{MWh/Año}$.

El consumo de 1 MWh le cuesta a la empresa Comandante Ernesto Che Guevara 180 CUC como tarifa fija para el año 2015.

Ahorro de consumo de MW/ año $= 1585.55 \times 180 = 285399\$$ (CUC).

Por lo que:

Ahorro total en un año 285399 \$ (CUC).

Tiempo de amortización de la inversión (T_{AI}):

$$T_{AI} = \frac{\text{Inversión Total}}{\text{Ahorro por Año}} \quad (3.3)$$

Sustituyendo:

$$T_{AI} = 161908.25\$ \text{ (CUC)} / 285399 \$ \text{ (CUC)} = 0.56 \text{ años.}$$

3.6 Conclusiones del capítulo.

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

Según los resultados arrojados el empleo de capacitores para la compensación del factor de potencia aunque necesita la realización de una inversión inicial, suele ser económicamente viable, debido a los múltiples beneficios que aporta y la segura recuperación del capital invertido.

Conclusiones Generales.

Se mejoró la eficiencia energética en el uso de la energía eléctrica, el sistema eléctrico es más operativo, flexible y confiable.

Se actualizaron todas las bases de datos de los conductores, interruptores, transformadores y motores asociados a esta subestación.

Se obtuvieron los flujos de potencia fundamental a través del software Easy Power.

Se demostró la viabilidad del empleo de condensadores para la compensación de potencia reactiva y mejora del factor de potencia en el sistema de media tensión de la subestación.

Se determinó que no existe contaminación armónica en el sistema de suministro establecido por la norma IEEE 519-1992.

El período de recuperación de la inversión desarrollada es de aproximadamente 5 meses y 16 días, teniendo en cuenta las pérdidas en el sistema.

Recomendaciones.

- Actualizar los diagramas Monolineales siempre que se realice cualquier cambio en el sistema eléctrico de la planta.
- Que se valore con la dirección de la planta las medidas propuestas en el presente trabajo con el objetivo de su aplicación, atendiendo a los beneficios que estas podrían brindarle.
- Hacerle conciencia a todo el personal de que un uso más racional de la energía reporta mayores beneficios al país y a la empresa.

Bibliografía.

- [1] Aquino, Tamayo. A. Estudio a bajo costo de la calidad de la energía. Revista Ingeniería Electroenergética. No 2, 1994.
- [2] Aquino, Tamayo. A. Programa para el análisis de redes eléctricas de estructuras, variables. Calidad de la energía. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1994.
- [3] Campo A, J; Gómez D, R; Santos M, L. La eficiencia energética en la gestión empresarial. Edit. Universidad de Cienfuegos. 1999.
- [4] De Quesada, Martínez. A. Optimización de reactivo en circuitos eléctricos industriales. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1988.
- [5] Estrada, G. H; Tovar, J. H. Metodología para la localización óptima de condensadores Mediante Sensibilidades Lineales. Revista del IEEE América Latina. 2005.
- [6] González, Palau. I. Estudio de los portadores energético de la planta de Hornos de reducción. Tesis Maestría. ISMM, 1999.
- [7] González P.I;Compensación de la potencia reactiva en sistemas eléctricos. Revista Geología y Minería.1999.
- [8] González, F, J. la gestión de la energía. 2001.
- [9] Hernández, Ramírez, Gabriel. Eficiencia en los suministros eléctricos industriales de baja tensión. Tesis maestría. ISMM. 2000.

[10] Haug, Ramírez. C. Planificación de potencia reactiva en los sistemas. Revista Ingeniería Electroenergética. No 4, 1985.

[11] López, Pérez. M. Acciones correctivas en los análisis de seguridad de los sistemas eléctricos. Revista Ingeniería Electroenergética. No 2, 1994.

[12] Mazorra, Soto, J. Metodología para la minimización técnico económica de las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos industriales. Revista Energía. No 1, 1986.

[13] Marrero, Ramírez, Secundino. Gestión energética en el sector industrial y de los servicios. 2000.

[14] Palma Loforte, F.: Estudio de la carga actual en los motores asincrónicos e incidencia sobre el reactivo en la planta termoeléctrica de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara. Trabajo de Diploma. ISMM. 1996.

[15] Internet. (Sitios más consultados)

www.gedigitalnergy.com

www.cumminspower.com

www.elecond.com.ar

www.eurocopper.org

www.ecamectecnologia.com

<http://www.ingelectricista.com.art/cosfi/htm>

Anexos

Anexo 1.

Mediciones efectuada en la subestación 1-TP						
Tiempo-h	SECCION I			SECCION II		
Parámetros	P-kW secc- 1	S-kVA secc-1	Q-kVAr secc1	P-kW secc2	S-kVA secc-2	Q-kVAr secc2
07:35:00 a.m.	789.00	961.13	548.87	424.27	508.69	280.64
08:35:00 a.m.	786.70	957.93	546.57	426.57	511.88	282.94
09:35:00 a.m.	784.40	954.73	544.27	427.87	513.68	284.24
10:35:00 a.m.	791.50	964.61	551.37	425.57	510.49	281.94
11:35:00 a.m.	789.20	961.41	549.07	423.27	507.30	279.64
12:35:00 p.m.	785.50	956.26	545.37	420.97	504.12	277.34
01:35:00 p.m.	783.20	953.06	543.07	418.67	500.93	275.04
02:35:00 p.m.	791.80	965.03	551.67	423.97	508.27	280.34
03:35:00 p.m.	789.50	961.83	549.37	421.67	505.09	278.04
04:35:00 p.m.	787.20	958.63	547.07	419.37	501.90	275.74
05:35:00 p.m.	794.30	968.51	554.17	421.67	505.09	278.04
06:35:00 p.m.	792.00	965.31	551.87	423.97	508.27	280.34
07:35:00 p.m.	795.20	969.77	555.07	427.97	513.82	284.34
08:35:00 p.m.	790.90	963.78	550.77	430.27	517.01	286.64
09:35:00 p.m.	795.60	970.32	555.47	431.57	518.81	287.94
10:35:00 p.m.	795.70	970.46	555.57	429.27	515.62	285.64
11:35:00 p.m.	793.40	967.26	553.27	428.97	515.20	285.34
12:35:00 a.m.	789.70	962.11	549.57	428.67	514.79	285.04
01:35:00 a.m.	792.40	965.87	552.27	427.37	512.98	283.74
02:35:00 a.m.	796.00	970.88	555.87	431.67	516.74	284.04
03:35:00 a.m.	793.70	967.68	553.57	429.37	515.76	285.74
04:35:00 a.m.	791.40	964.48	551.27	428.07	513.96	284.44
05:35:00 a.m.	798.50	974.36	558.37	428.37	514.37	284.74
06:35:00 a.m.	796.20	971.16	556.07	427.67	513.40	284.04
Promedio	791.38	964.44	551.25	426.13	511.17	282.33

Anexo 2

Mediciones efectuada en la subestación 1-TP

Tiempo-h	SECCION 1	SECCION 2
	Cos φ secc	Cos φ secc
07:35:00 a.m.	0.821	0.834
08:35:00 a.m.	0.821	0.834
09:35:00 a.m.	0.822	0.836
10:35:00 a.m.	0.821	0.837
11:35:00 a.m.	0.821	0.837
12:35:00 p.m.	0.821	0.838
01:35:00 p.m.	0.822	0.839
02:35:00 p.m.	0.820	0.837
03:35:00 p.m.	0.821	0.838
04:35:00 p.m.	0.821	0.839
05:35:00 p.m.	0.820	0.838
06:35:00 p.m.	0.820	0.837
07:35:00 p.m.	0.820	0.833
08:35:00 p.m.	0.821	0.833
09:35:00 p.m.	0.820	0.835
10:35:00 p.m.	0.820	0.834
11:35:00 p.m.	0.820	0.833
12:35:00 a.m.	0.821	0.832
01:35:00 a.m.	0.820	0.836
02:35:00 a.m.	0.820	0.838
03:35:00 a.m.	0.820	0.836
04:35:00 a.m.	0.821	0.836
05:35:00 a.m.	0.820	0.836
06:35:00 a.m.	0.820	0.836

Anexo 3

Producto:			
Producto	Nombre	PrecioCUP	PrecioCUC
67239900330000	INTERRUPTOR AUTOM NSX-400N-MA400	109.587777	741.487777

Producto:			
Producto	Nombre	PrecioCUP	PrecioCUC
67690000090000	CABLE D/COB FLEX 4X240MM ² 0.6/1KV	11.191881	116.569001

Producto	Nombre	PrecioCUP	PrecioCUC
67239933370000	TERMINALES DE CO 240MM ² , OJO 12MM	1.103802	3.921432

Producto:			
Producto	Nombre	PrecioCUP	PrecioCUC
68120302500000	INTERRUPTOR AUTOM NSX-250N-MA220,3P	88.606500	725.536900

Producto:			
Producto	Nombre	PrecioCUP	PrecioCUC
67601320160000	CABLE CO FLEX 4x70MM ² 0.6/1KV	4.136923	38.996923

Producto:			
Producto	Nombre	PrecioCUP	PrecioCUC
69170201390000	TERMINAL TUBULAR DE CU 70MM ² C	0.000000	0.544423

Producto:			
Producto	Nombre	PrecioCUP	PrecioCUC
67910001030000	TEIPE DE GOMA	1.430000	6.577924

Producto:			
Producto	Nombre	PrecioCUP	PrecioCUC
67911110200000	TAIPE ELECTRICO DE PVC	0.332093	0.830000