



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

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de

Ingeniero Eléctrico

Título: Análisis del suministro eléctrico en la subestación 10TQA de la Empresa Comandante “Ernesto Che Guevara”.

Autor: Ignacio Rodríguez Sánchez

Tutor: Dr. C. Ignacio Romero Rueda

Consultante: MSc. Diego Rodríguez Álvarez

Moa, Junio del 2015
“Año 57 de la Revolución”



Declaración de Autoridad

Yo: Ignacio Rodríguez Sánchez

Autor de este Trabajo de Diploma junto con el Dr. C. Ignacio Romero Rueda 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.

Ignacio Rodríguez Sánchez.
(Diplomante)

Dr. C. Ignacio Romero Rueda
(Tutor)

MSc. Diego Rodríguez Álvarez
(Consultante)



Pensamiento

“Hay que eliminar los errores que cometen los hombres, no los hombres que cometen errores porque si no simplemente nos quedamos sin hombres y los errores continúan”

Ernesto Che Guevara

“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 compañeros 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 todas las personas que de una forma u otra me brindaron su apoyo incondicional para el desarrollo del mismo; a mi familia en general y en especial a mi hijo, padres y hermanos.



Resumen.

En el presente trabajo se analizó el suministro eléctrico de la planta Tratamiento Químico de Agua en la subestación 10TQA de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara,

Con el objetivo de mejorar el rendimiento y disminuir las pérdidas en la planta, se tomaron en cuentas alternativas técnico – organizativas para mejorar la calidad del servicio a partir del estudio realizado en 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 obtenidos son: las pérdidas del sistema disminuyeron de 20 kW a 9 kW, es decir, se logró disminuir 11 kW por las pérdidas en el sistema, se redujo en 96 kW el consumo tomado desde el SEN.

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



Abstract.

In the present work the Chemical Water Treatment 10TQA for the substation of Comandante Ernesto Che Guevara Enterprise was analyzed, In order to improve the performance and reduce losses at the plant, technical alternatives were taken into account – as well as organizational measures to improve the quality of service from the study in the substation.

The methodology that defined the system behavior with high accuracy for the proposed improvement was through simulation and comparison of results. The main results are: system losses decreased from 20 kW to 9 kW, ie, 11 kW for losses in the system were reduced, also was reduced about 96 kW consumption taken from the SEN.

As a main conclusion of the study, the quality of supply substation was improved achieving a more practical, flexible and reliable system.



ÍNDICE

Índice.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
Fundamentación de la Investigación:.....	5
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN DE ANÁLISIS ENERGÉTICO	7
1.1. Introducción.	7
1.2. Métodos de investigación.....	7
1.3. Revisión de los trabajos precedentes.	8
1.4. Fundamentos teórico – conceptual.	11
1.4.1. Base Teórica de la Investigación.....	11
1.4.2. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico.	12
1.4.3. Acomodo de carga.....	14
1.4.4. 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.....	19
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.	21
1.5.7. Cálculo para la compensación de potencia reactiva.....	22
1.6. Régimen de trabajo económico de los transformadores.....	23
1.7. Análisis de confiabilidad.....	25
1.7.1. Esquemas y opciones que mejoran la confiabilidad de un sistema.....	27
1.8. Conclusiones del capítulo.....	27
CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	28
2.1 Introducción.	28
2.2 Descripción de la subestación.	28
2.2.1. Identificación y valores de corrientes de los interruptores.....	30
2.3. Descripción del sistema eléctrico de los centros de control de motores según anexo 2.1, 2.2, 2.3.....	31
2.4. Resultados del diagnóstico.	34
2.5. Análisis del estado actual de las instalaciones.	34
2.6. Software e instrumento utilizado.....	35
2.7. Principales parámetros eléctricos según medición en la subestación.....	37
2.8. Montaje del esquema de suministro de la subestación en Easy Power.	41



2.9. Simulación del flujo de potencia en la subestación en las condiciones actuales en Easy Power.....	42
2.10. Conclusiones del capítulo.....	43
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA.	44
3.1. Introducción.	44
3.2. Mejoras en la Distribución del Sistema Eléctrico de la Planta	44
3.3. Simulación del flujo de potencia después del acomodo de carga y compensación.	48
3.4. Beneficio obtenido mediante el acomodo de carga y banco de condensadores. ..	51
3.5. Evaluación de la compensación mediante acomodo de carga y bancos de condensadores.	52
3.6. Valoración económica.	53
3.7. Conclusiones del capítulo.....	58
CONCLUSIONES GENERALES	59
RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	60
Anexos	62

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. Solo 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 solo a nivel de valores globales, sino de modo particularizado aplicado a los distintos procesos y consumos internos. De aquí que es posible predecir los

incrementos de energía eléctrica usada que se producirán al aumentar la actividad, o fijar las medidas de contención del costo a través de la organización de las mejoras.

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

- Mejorar el suministro eléctrico de la planta de Tratamiento Químico de Agua en la Empresa de Níquel Comandante. 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 un acertado diagnóstico energético, lo que 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 sin lugar a dudas estimularan 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 asincrónicos 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, por lo que conlleva a una baja operatividad, flexibilidad y confiabilidad del sistema.

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

Objeto de investigación: Subestación 10BJA de la planta Tratamiento Químico de Agua en la Empresa Ernesto Che Guevara de Moa.

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

Objetivo General: Como objetivo general se propone alternativas técnico – organizativas para mejorar la calidad de servicio a partir de un estudio de calidad de suministro de la subestación de 10TQA de 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.

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.



Resultados esperados:

1. Proponer formas de mitigar los problemas relacionados con la calidad y eficiencia del sistema de suministro.
2. Ofrecer la simulación del sistema para la nueva variante de suministro en la subestación asistida por EASYPOWER.
3. Comparar los resultados de las mediciones del suministro actual de la subestación respecto al resultado de la simulación.
4. Cuantificar las pérdidas asociadas al factor de potencia y desbalance de carga.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN DE ANÁLISIS ENERGÉTICO

1.1. Introducción.

La fundamentación científica y la 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. Métodos de investigación

Para comenzar, desarrollar y concluir con éxito cualquier investigación se hace necesario utilizar diferentes métodos, este trabajo no fue la excepción, algunos de los métodos que se emplearon son los siguientes:

- **Inductivo-Deductivo**, para realizar el examen y evaluación de los hechos que son objetos de estudio, partiendo de un conocimiento general de los mismos, que permitan una mejor aproximación a la realidad que los originó, y luego, mediante un proceso de síntesis, emitir una opinión profesional. Todo esto exigió la utilización de una serie de pasos realizados en forma sistemática, ordenada y lógica, que permitieron luego emitir una crítica objetiva del hecho.
- **Histórico-Lógico**, para desarrollar el análisis de las investigaciones anteriores y antecedentes que permitan continuar el estudio.
- **Análisis-Síntesis**, para lograr la descomposición de las funciones de control e información y su concreción.

- **Modelación y simulación**, para evaluar el comportamiento del sistema en estudio, con una gran precisión y sin la necesidad de realizar inversiones.

1.3. Revisión de los trabajos precedentes.

La electricidad es uno de los portadores energéticos más preciados y costosos, 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.

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 solo que tengamos un plan de ahorro de energía, sino que exista un sistema de gestión energética que garantice que ese plan sea renovado las veces necesarias, 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.

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.

Estrada, G. H; Tovar, J. H; (2005) 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.

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.

González P. I; 1999 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.

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.

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 Tratamiento Químico de Agua.

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.

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 estos 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.

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.

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.

Palma (1996) realiza un estudio de la carga de los motores asincrónicos 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).

1.4. Fundamentos teórico – conceptual.

1.4.1. 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.

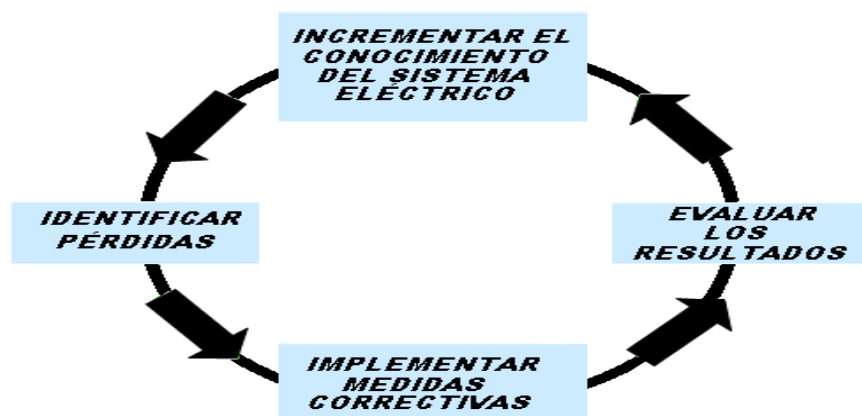


Figura. 1.1 Eficiencia en el consumo de energía.

1.4.2. 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.

1.4.3. 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.

1.4.4. 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 en grandes 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			
$\Delta U/Un$	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 IEEE 519-1992 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 IEEE 519-1992 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 y como lo muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Límites de los niveles de distorsión de tensión

Voltaje	Armónicas Individuales (%)	THD (%)
$V < 69\text{kV}$	3.0	5.0
$69 < V < 161\text{kV}$	1.5	2.5
$V > 161\text{kV}$	1.0	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 Demand Distortion*): 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 1.6 [10] en Anexos, Tabla 2 se encuentran los valores límites de TDD establecidos por la IEEE 519-1992.

$$THD(\%) = \frac{100}{I_L} \sqrt{\sum_{h=2}^{hm\acute{a}x} I_h^2} \quad (1.2)$$

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.

1.4.1. 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.

1.4.2. 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.

1.4.3. 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.

1.4.4. 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.

1.4.5. 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).

1.4.6. 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.

1.4.7. Cálculo para la compensación de potencia reactiva.

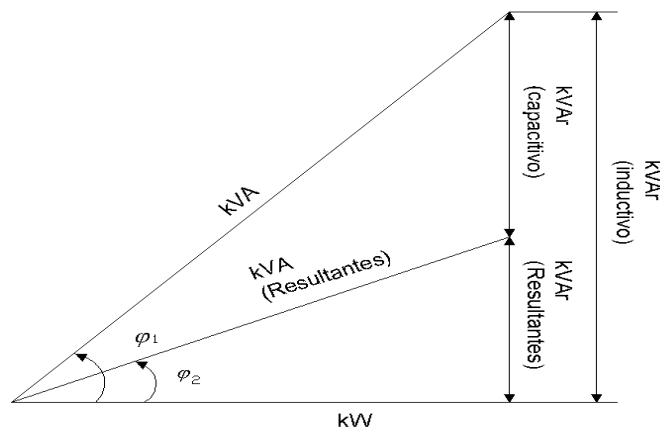


Figura.1.2. Reducción del ángulo ϕ mediante la conexión de una cantidad determinada de potencia reactiva capacitiva al circuito.

En este caso:

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

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)

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

$$S_L = S_1 - S_2 \quad (1.7)$$

Potencia activa liberada (PL).

$$P_2 = P_1(\cos \varphi_1 / \cos \varphi_2) \quad (1.8)$$

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

Potencia activa liberada (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:

$$\Delta P't = \Delta P'sc + Kc^2 * \Delta P'cc \quad (1.13)$$

Donde:

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

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

Kc = Coeficiente de carga del transformador.

$$K = \frac{Sc}{Sn} \quad (1.14)$$

Donde:

ΔPsc = Pérdidas de potencia sin carga, (kW).

ΔQsc = Potencia reactiva del transformador sin carga, (kVAR).

$$\Delta Qsc = Sn(Isc\% / 100) \quad (1.15)$$

Donde:

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

Isc = Corriente del transformador sin carga

Kip = 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).

$$\Delta P'cc = \Delta Pcc + Kip * \Delta Qcc \quad (1.16)$$

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 transporte se detenga.

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

- 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.
- 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, llegándose incluso a la explosión de equipos e interruptores.
- 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 diésel de respaldo, etc.

1.6.1. 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 ininterrumpible.

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 subestación de distribución de servicio propio de 0.48 kV en la Planta de Tratamiento Químico de Agua perteneciente a la unidad básica de servicio Termoenergética de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara de primera categoría, la cual se encuentra a una distancia aproximada de 40 metros lineales del dispositivo de distribución principal de la fábrica (DDP - 10,5kV), cuenta con tres transformadores reductores (80T:81T:82T) de 10,5/0,48 kV.

Potencia de 1000 kVA y conexión del devanado delta estrella aterrado. Alimentados por interruptores ABB VD4 y protección instalada del tipo integrada en relé F650. Por baja tensión alimentan un sistema de barras rectangulares distribuidas en tres secciones, dos de trabajo y una de reserva por medio de interruptores del tipo electrón con protección por unidad electrónica que incluyen corte de corriente.

La mayoría de las cargas las constituyen motores de inducción de baja eficiencia en régimen subcargado; alumbrado, compuesto y en las oficinas por lámparas fluorescentes, máquinas herramientas, y también la incorporación de computadoras en varios departamentos.



Gabinetes por secciones:

Sección I: Entrada de trabajo # 1.

- 1- Entrada transformador 81T.
- 2- Motor VeCo2 # 1.
- 3- Motor BoCo2 # 1.
- 4- Reserva.
- 5- Salida del CCM # 1.
- 6- Pizarra 106 XB.
- 7- Pizarra de soldadura 1XBA.
- 8- Pizarra 104 XB.
- 10- Transformador alumbrado 105T.
- 9- Seccionador.

Sección II: Entrada de trabajo # 2.

- 11- Entrada transformador 82T.
- 12- Reserva.
- 13- Reserva.
- 14- Pizarra 104 XB.
- 15- Transformador alumbrado 106T.
- 16- Salida del CCM # 3.
- 17- Reserva.
- 18- Salida del CCM # 2.
- 20- Motor VeCo2 # 1.
- 19- Seccionador.

Sección III: Entrada de reserva

- 21- Entrada transformador 80T.
- 22- Reserva.
- 23- Motor BoCo2 # 1.

Interruptor 13: E06BT 630; 250*(200/750) A.

Interruptor 14: E06BT 630; 250*(200/750) A.

Interruptor 15: E06BT 630; 250*(200/750) A.

Interruptor 16: E06BT 630; 400*(220/1200) A

Interruptor 17: E06BT 630; 250*(200/750) A.

Interruptor 18: E16BT 1250; 1250*(1000/4500) A.

Interruptor 19: E16BT 630; 1000*(1250/1000) A.

Interruptor 20: E06BT 630; 400*(320/1200) A.

Interruptor 21: E25BT 2000; 1600*(2000/4800) A.

Interruptor 22: E06BT 630; 400*(220/1200) A

Interruptor 23: E06BT 630; 400*(220/1200) A

Interruptor 2450: ABB VD4 Ur-12kV Ud-28kV Up-75kV Ir-1600A SC-50kA
Max125kA

Interruptor 3530: ABB VD4 Ur-12kV Ud-28kV Up-75kV Ir-1600A SC-50kA
Max125kA

Interruptor 4830: ABB VD4 Ur-12kV Ud-28kV Up-75kV Ir-1600A SC-50kA
Max125kA

2.3 Descripción del sistema eléctrico de los centro de control de motores según anexo 1, 2, y 3.

Descripción del CCM # 1. Consta de 40 armarios, la carga por armario están ubicada de la siguiente manera.

Armario 1.1 Alimentación principal desde el interruptor 5 en la primera sección de la subestación.

Armario 1.2 Bomba 10B, ventilador 1C y bomba 7A.

Armario 1.3 Bomba 4C.

Armario 1.4, Filtro del área de suavizamiento.

Armario 1.5, Filtro del área de suavizamiento.

Armario 1.6, Filtro del área de suavizamiento.

Armario 1.7 Sin carga

Armario 1.8 Transformador de instrumento.

Armario 1.9, 1.10 Sin carga.

Armario 1.11 Bomba 4A.

Armario 1.12 Bombas 11A y 8A.

Armario 1.13, 1.14 Sin carga.

Armario 1.15 42GCN12-AP001 Bombas de recirculación

Armario 1.16 42GCK30-AP003 Bomba dosificadora de amoníaco.

Armario 1.17 42GCK40-AA103 Bomba dosificadora de amoníaco.

Armario 1.18, 19, 20, 21, 22, 23 Sin carga.

Armario 1.24 Transformador de instrumento.

Armario 1.25 41GBN01-AP002.

Armario 1.26 41GBK01-AA102.

Armario 1.27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 Sin carga.

Armario 1.34 Bombas 24C y 1C.

Armario 1.35 Bombas 13A, 6A y 6B.

Armario 1.36 Sin carga

Armario 1.37 Bomba 12C.

Armario 1.38 Bomba 2B.

Armario 1.39 Bomba 2C.

Descripción del CCM # 2. Que es el que lleva la mayor carga de la planta, consta de 33 armarios, la carga por armario están ubicada de la siguiente manera.

Armario 2.1 Alimentación principal desde el interruptor 18 en la segunda sección de la subestación.

Armario 2.2 Bombas 14A, 14B, 14C, 17A, 17B, 17C y 14D.

Armario 2.3 Bombas 10A, 16A y Ventilador 1A.

Armario 2.4 42GCF11-AT001 Filtro del área de desmineralización.

Armario 2.5 42GCF11-AT001 Filtro del área de desmineralización.

Armario 2.6 42GCF11-AT001 Filtro del área de desmineralización.

Armario 2.7 42GCF11-AT001 Filtro del área de desmineralización.

Armario 2.8 42GCF11-AT001.

Armario 2.9 Transformador de instrumento.

Armario 2.10 42GCF41-AT001 Lecho mezclado, 42GCF42-AT001 Lecho maclado.

Armario 2.11 Transformador de instrumento y 42GCF42-AT001 Lecho maclado.

Armario 2.12 Sin carga.

Armario 2.13 Bombas 11B y 11C.

Armario 2.14 Bombas 14C, 22A, 21A y B

Armario 2.15 41GBN10-AP002 Bomba piscina de neutralización.

Armario 2.16 42GCK30-AP001 Bomba piscina de neutralización.

Armario 2.17 41GBL10-AA103 Bomba piscina de neutralización.

Armario 2.18 Sin carga.

Armario 2.19 42GCM11-AP001 Ventilador de torres desgasificadoras.

Armario 2.20 42GCM12-AP001 Ventilador de torres desgasificadoras.

Armario 2.21 42GCM13-AP001 Ventilador de torres desgasificadoras.

Armario 2.22, 2.23 Sin carga.

Armario 2.24 Bombas 15A y B, 18A, B y C, 30 de vacío.

Armario 2.25 Bombas 19A y B, 13B.

Armario 2.26 Sin carga.

Armario 2.27 Bombas 12A.

Armario 2.28 Bombas 12B

Armario 2.29 Bombas 1A, 1C

Armario 2.30 Sin carga.

Armario 2.31 Bomba 2A.

Descripción del CCM # 3. Consta de 7 armarios, la carga por armario están ubicada de la siguiente manera.

Armario 3.1 Alimentación principal desde el interruptor 16 en la segunda sección de la subestación.

Armario 3.2 Bombas 1B, 29A, B y 28A.

Armario 3.3 Bombas 26Ay B, 27A y B, Grúa de sosa y Transformador de instrumento.

Armario 3.4 43GNK31-AP001 Transformador 440/24V.

Armario 3.5 43GML10-AP101 Bomba del foso de sal.

Armario 3.6 Grúa área de bombas.

Armario 3.7 Grúa área de Sosa.

2.4 Resultados del diagnóstico.

Breve descripción del diagnóstico

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

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

- Cambio del punto de alimentación.
- Cambio de la potencia del equipo instalado.
- Eliminación de algunos equipos.
- Cambio de las características de los equipos.
- Con respecto al listado de receptores se recogieron las características técnicas, está recogida la potencia instalada por cada Subestación. Así como sus mayores consumidores.

2.5 Análisis del estado actual de las instalaciones.

En el análisis del estado actual de las instalaciones eléctricas se detectaron varios inconvenientes que limitan la operatividad y flexibilidad del sistema de suministro por ejemplo.

1. No se puede trabajar con una sola sección de barra en casos de averías o mantenimientos porque los consumidores principales no están distribuido equitativamente en cada CCM.

2. El CCM solo tienen la posibilidad de alimentarse de una de las tres secciones de barra de la Subestación de servicio propio de TQA.
3. En caso de mantenimiento o avería en una de la secciones de barras de la subestación también queda fuera de servicio el CCM.
4. El transformador 80T como es de reserva trabaja todo el tiempo subcargado.
5. Los filtros de la misma etapa están en un solo CCM.
6. Los filtros de lechos mezclados están en un solo CCM.
7. Varias bombas principales ubicadas en el mismo CCM.

2.6 Software e instrumento utilizado.

Instrumento utilizado

Para lograr tener una referencia de los problemas existentes en el sistema de suministro, fue necesaria una monitorización del comportamiento de las cargas, para ello se empleó el Analizador de calidad de suministro eléctrico MAVOWATT 30



Figura 2.2 MAVOWATT | 30

El analizador de fallos de red y energía trifásico MAVOWATT 30 cumple las normas relevantes para la comprobación de la calidad de redes, EN50160, EN61000- 4-7, EN61000-4-15, así como la norma EN61000-4-30, que

especifica los procedimientos de medida para determinar la calidad de tensión. El equipo Clase A supervisa simultáneamente los valores efectivos, armónicos, flicker y transitorios hasta aproximadamente 80µs.

El MAVOWATT 30 ofrece 8 canales de medida (4 x tensión y 4 x corriente). La configuración y el circuito de corriente se determinan automáticamente a partir de los valores de medida que apliquen. El modo de supervisión se puede ajustar muy fácilmente con la opción de definición automática de valores límite. Los datos registrados se guardan en una tarjeta CompactFlash. El MAVOWATT 30 ofrece una interfaz de operario intuitiva de color con íconos con comunicación de datos vía RS232, Ethernet o USB. Idiomas de usuario disponibles: alemán, inglés, francés, español, italiano, sueco, suomi, japonés, chino y coreano.

- ✓ Análisis de potencia y energía en redes de alimentación.
- ✓ Análisis de armónicos, según EN 61000-4-7
- ✓ Calidad de redes, según EN 50160 con diagrama de barras.
- ✓ Análisis del flicker, según EN 61000-4-15
- ✓ 8 entradas de medida, 4 x tensión (diferencial), 4 x corriente (Transf. de corriente), para frecuencias de 50/60 Hz y 16 2/3 Hz.
- ✓ Tarjeta de memoria CompactFlash de 4... 32 GB
- ✓ Alimentación por cargador 90...264 V/47...63 Hz
- ✓ Acumulador integrado con una capacidad de 3h - Interfaz RS232, USB o Ethernet (opción)
- ✓ Accesorios de medida.

Software utilizado

Para las simulaciones se empleó el software Easy Power ver figura 2.2, 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 2.3: Software Easy Power simulador de sistemas eléctricos de suministro.

2.7 Principales parámetros eléctricos según medición en la subestación.

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

Tabla 2.1: De potencia actual en la subestación.

Sección	P (KW)	Q (KVAr)	S (KVA)	FP
1HX	295	231	375	0.78
2HX	770	588	969	0.79
3HX	28	16	32	0.86
Total	1093	835	1376	0.81

Como se muestra en la tabla 2.1 se hace necesario un balance de carga por la gran diferencia que hay entre una sección comparada con la otra por lo que realizaremos un análisis más detallado de la misma y como se puede ver en la tabla también posee un factor de potencia desfavorable, con estos valores de

potencia reactiva la empresa eléctrica nos penaliza y en términos de eficiencia, no es factible, pues las pérdidas continúan internamente en la red de suministro eléctrico de la planta, desde el nodo principal hasta los consumidores, por lo que hay que compensar el factor de potencia para disminuir las pérdidas en la subestación.

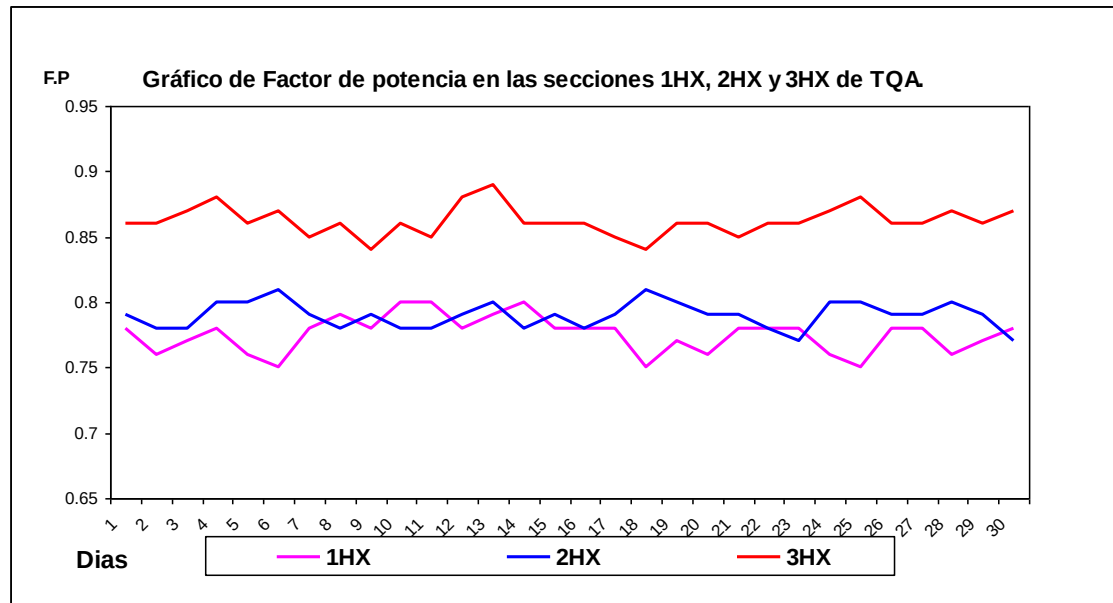


Figura 2.4: Gráfico de factor de potencia en la Subestación en el mes de abril.

Como se puede apreciar en el gráfico 2.4 el comportamiento del factor de potencia promedio en las secciones 1HX - 0.78, 2HX - 0.79 y 3HX - 0.86 con estos valores de factor de potencia somos penalizado por parte de la empresa eléctrica y en términos de eficiencia, no es factible, pues las pérdidas continúan internamente en la red de suministro eléctrico de la planta, desde el nodo principal hasta los consumidores.

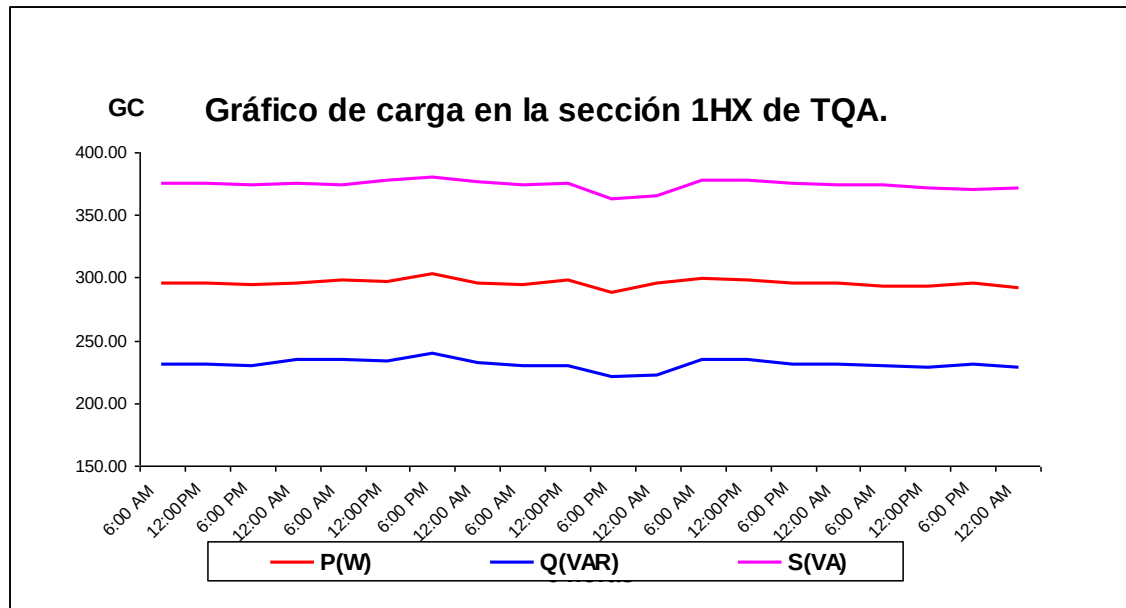


Figura 2.5: Gráfico de carga de la sección 1HX de TQA.

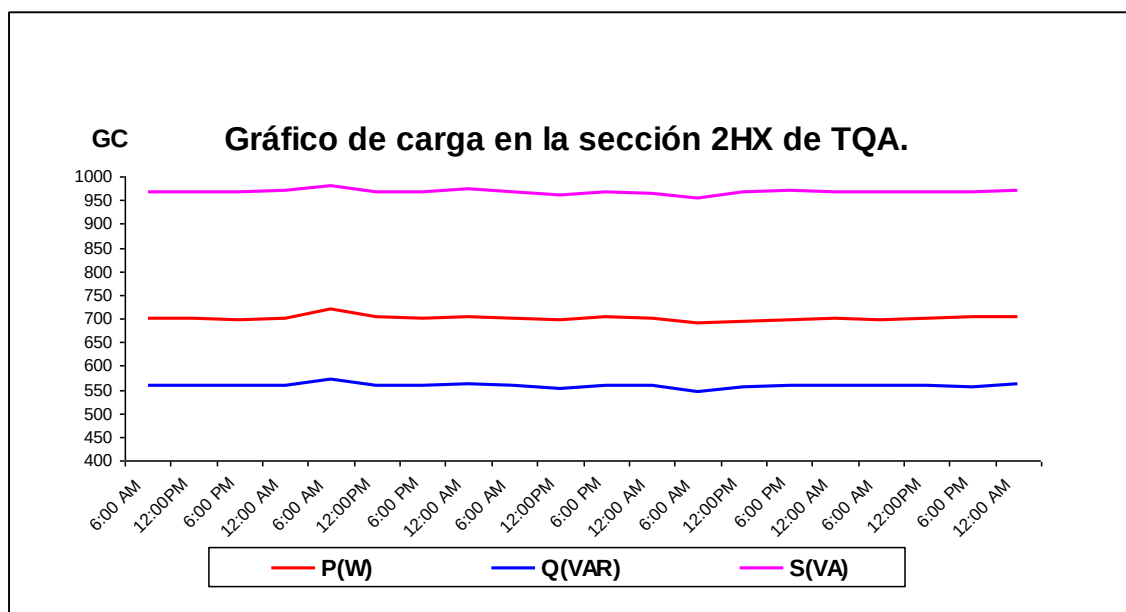


Figura 2.6: Gráfico de carga de la sección 2HX de TQA.

Como se muestra en los gráficos se puede apreciar que la carga es prácticamente constante con muy poca variaciones en el sistema y la gran diferencia de carga que hay entre una sección y la otra.

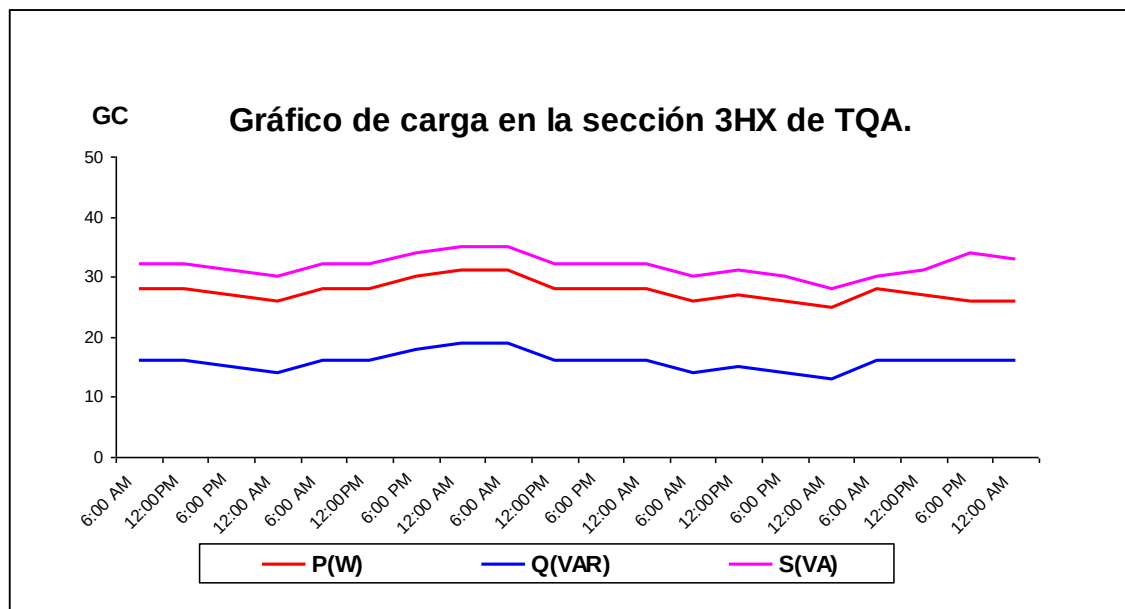


Figura 2.7: Gráfico de comportamiento de armónico.

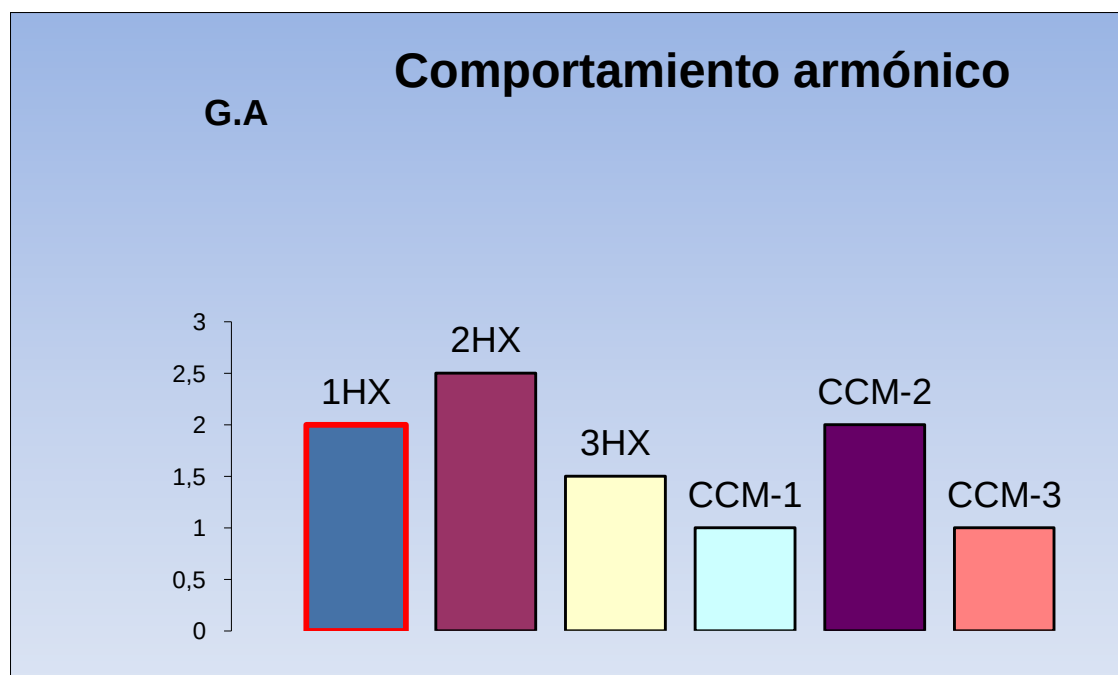


Figura 2.8: Gráfico de carga de la sección 3HX de TQA.

Como muestra el gráfico los valores de contaminación en las secciones de barra de la subestación principal y centro de control de motores (CCM), los niveles de contaminación en las subestación de baja tensión están por debajo

del 5%, (límite de distorsión armónica total de tensión, para voltajes menores de 69 kV, según lo establecido por la Norma IEEE 519-1992).

2.8 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.

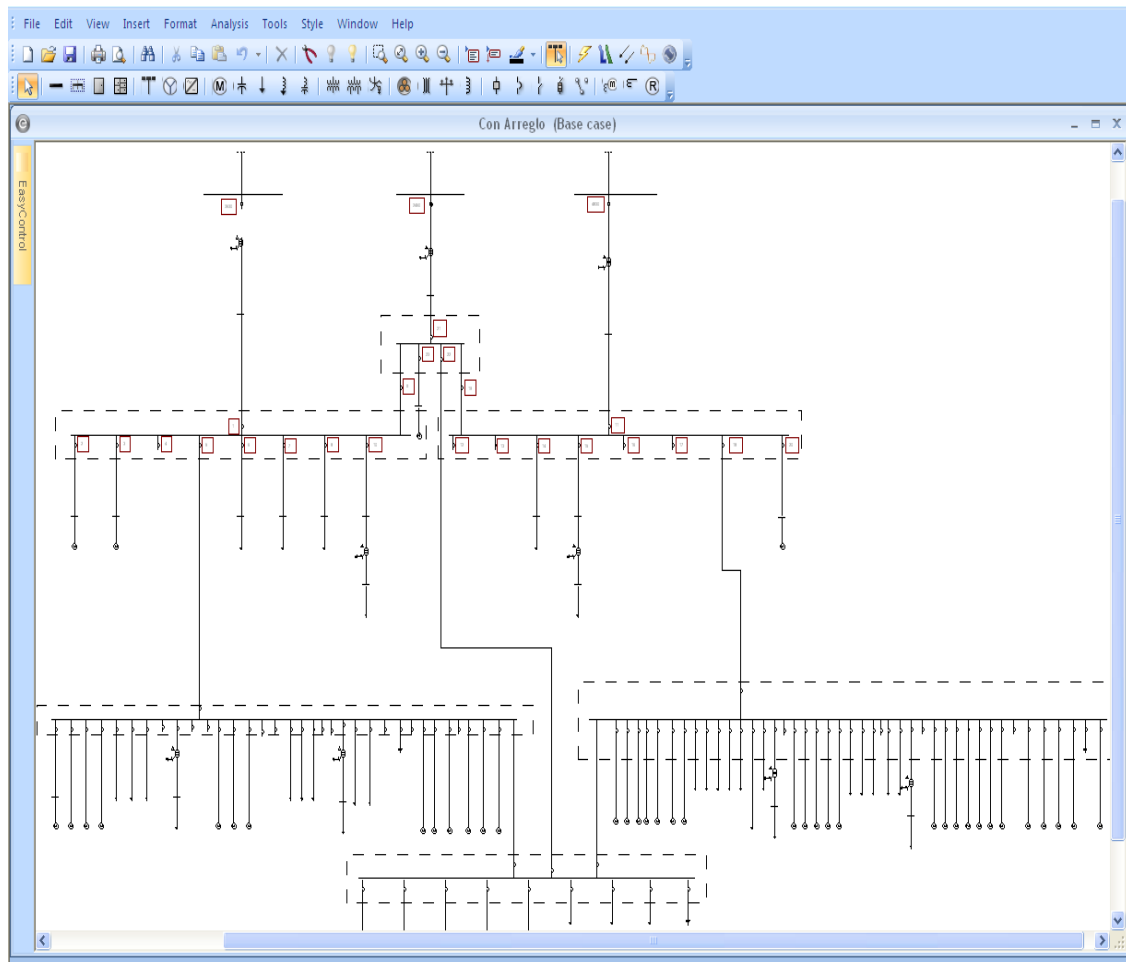


Figura 2.9: Montaje del esquema de suministro de la subestación en Easy Power.

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

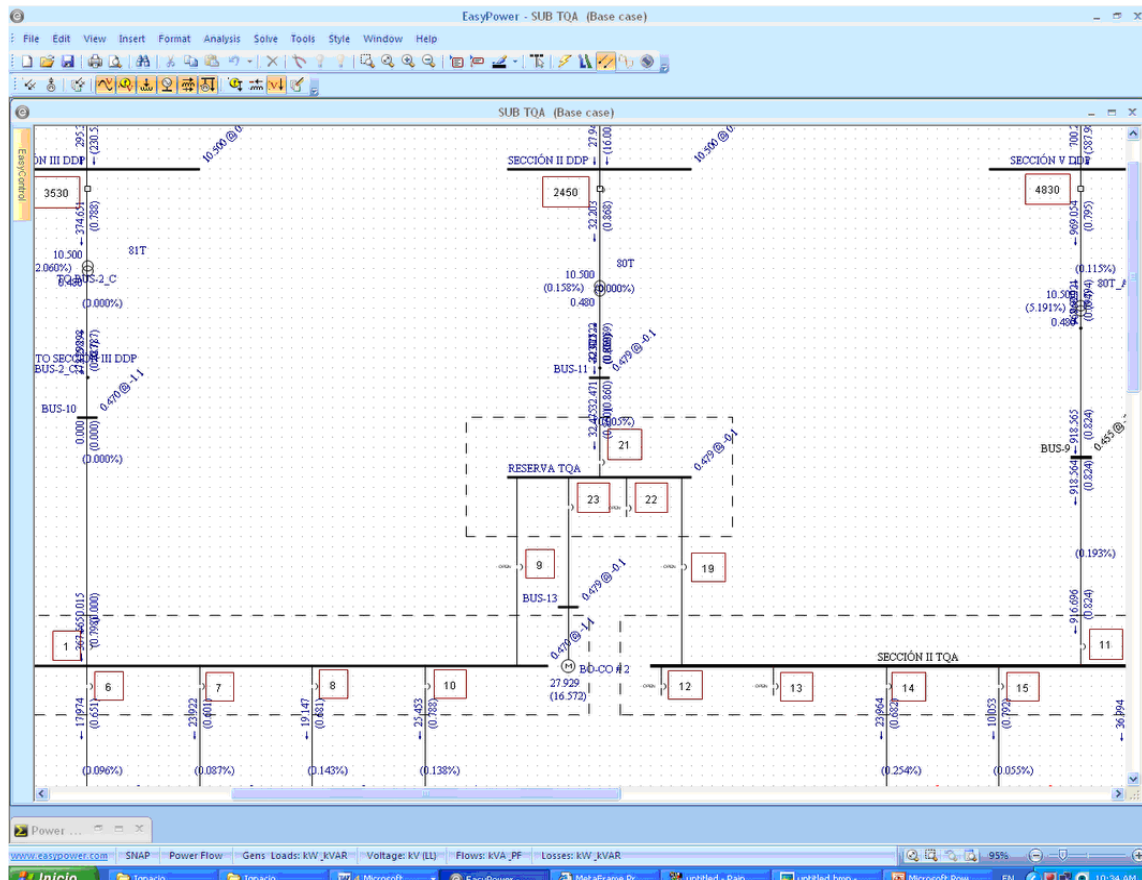


Figura 2.10: Flujo de potencia en la subestación en condiciones actuales.

Tabla 2.2: Resumen del reporte del sistema.

Resumen de Reporte del Sistema				
Total	kW	kVAR	kVA	PF
Generación del Sistema	1094	835	1376	0.795
Carga del Sistema	1074	756	1313	0.818
Derivación del Sistema	0	0		
Pérdidas del Sistema	20	79		
Monitoreo del Balance	0	0		

Tabla 2.3: Resumen del reporte de los generadores.

Generador	Solución			
Nombre	kW	kVAR	kVA	Pf
Entrada 1HX del 3530	295	231	375	0.788
Entrada 2HX del 4830	770	588	969	0.795
Entrada 3HX del 2450	28	16	32	0.868

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.

2.10 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 esta 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 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, enlace de los CCM 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 los tres CCM y subestación, 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.

Los que están señalados en rojo son los cambios hechos en la subestación y CCM,

Con la propuesta de los esquemas siguiente quedan solucionados todos los problemas existentes por desbalance de carga y operacionalmente en la planta de Tratamiento Químico de Agua.

Esquema Monolineal de la subestación y CCM con enlaces

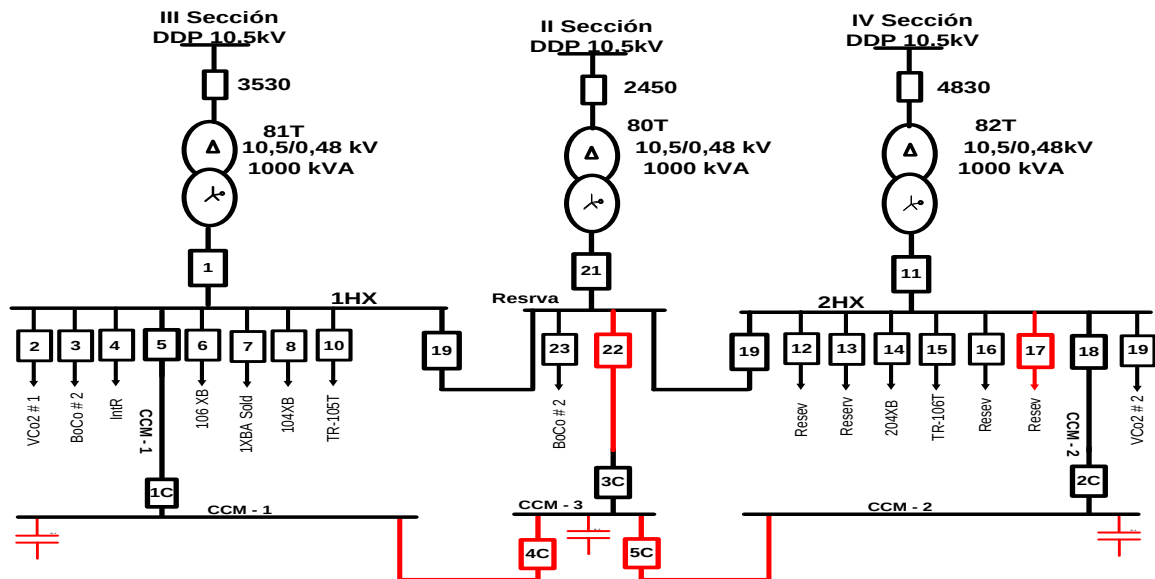


Figura. 3.1 Esquema monolineal de la subestación con los cambios

En el esquema monolineal de la subestación se hicieron los siguientes cambios: El centro de control de motores que se alimentaba desde el interruptor 17 en la segunda sección pasa a alimentarse desde la sección de reserva desde el interruptor 22 y el interruptor 17 pasa a ser de reserva. Se hace un enlace desde el centro de control de motores 3 a través del interruptor 4C con el centro de control de motores 1 y a través del interruptor 5C con el centro de control de motores 2 de esta forma nos da la posibilidad de un enlace entre los centro de control de motores desde cualquiera de los 3 y como se puede apreciar queda montado 1 banco de condensadores en cada una de las barras de centro de control de motores, CCM 1 – 140kVAR, CCM 2 120kVAR, CCM 3 – 20kVAR.

Esquema con acomodo de carga de la CCM # 1

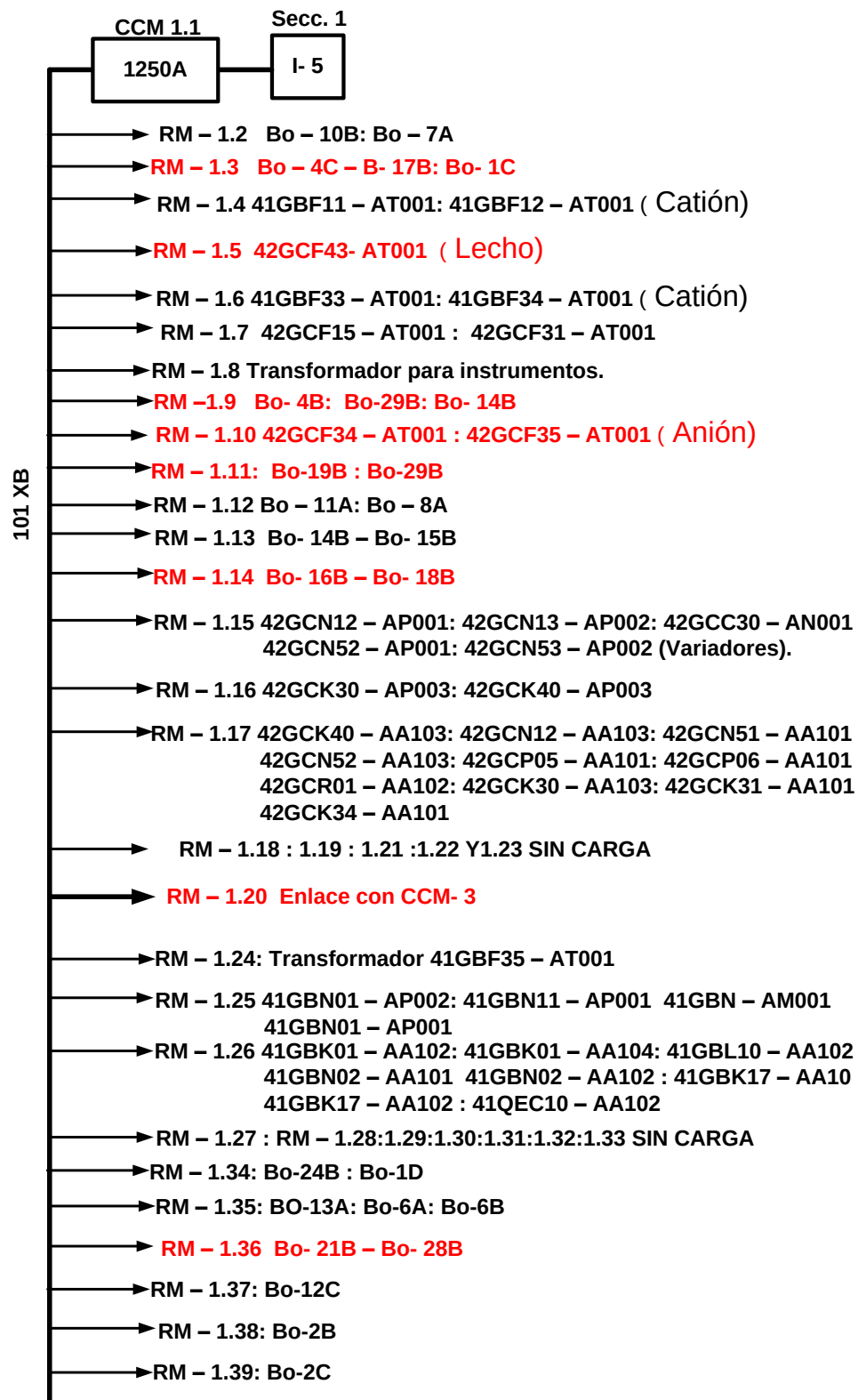


Figura. 3.2 Esquema del centro de control de motores # 1

Esquema con acomodo de carga de la CCM # 2

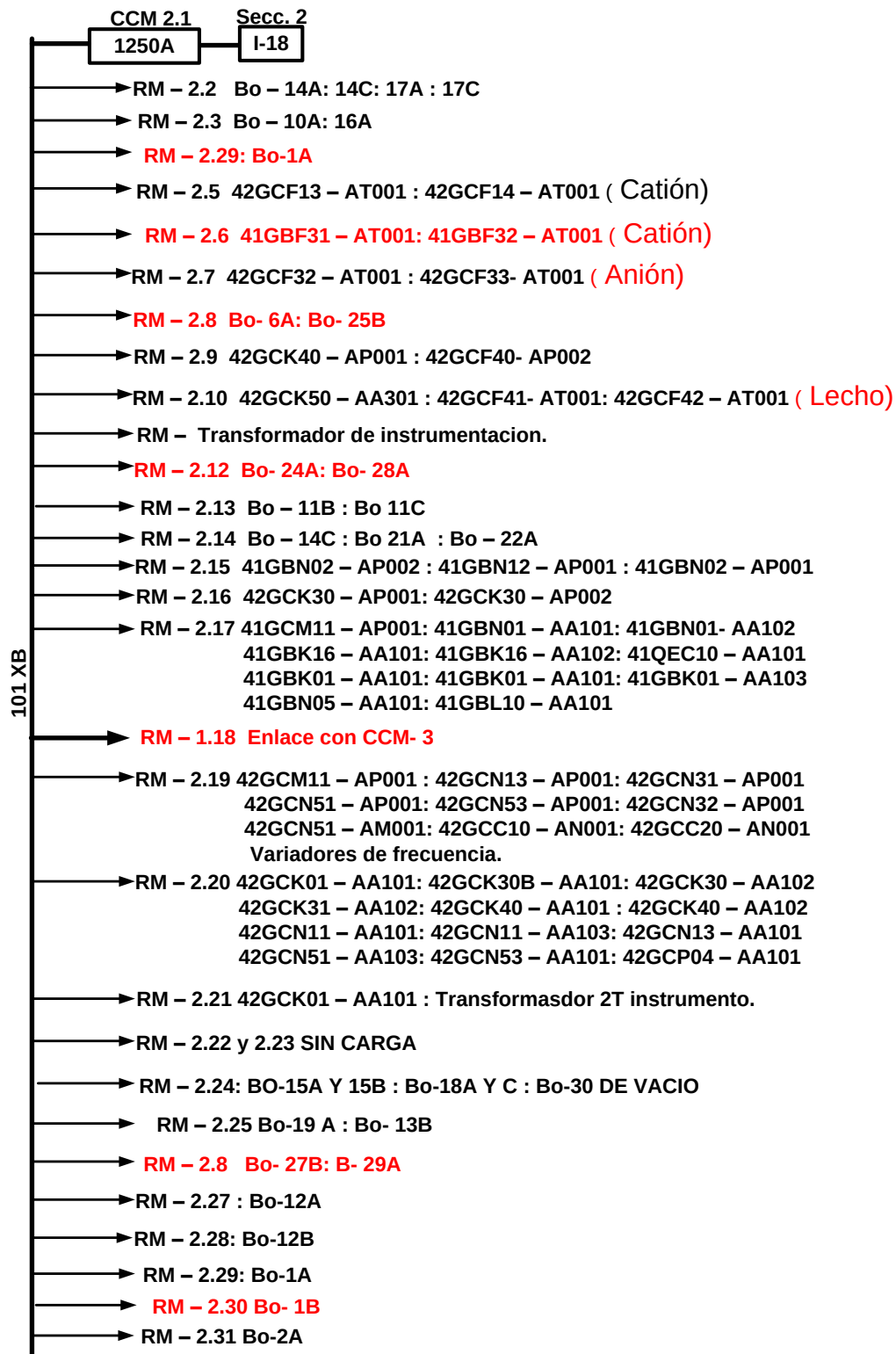


Figura. 3.3 Esquema del centro de control de motores # 2

Esquema con acomodo de carga de la CCM # 3

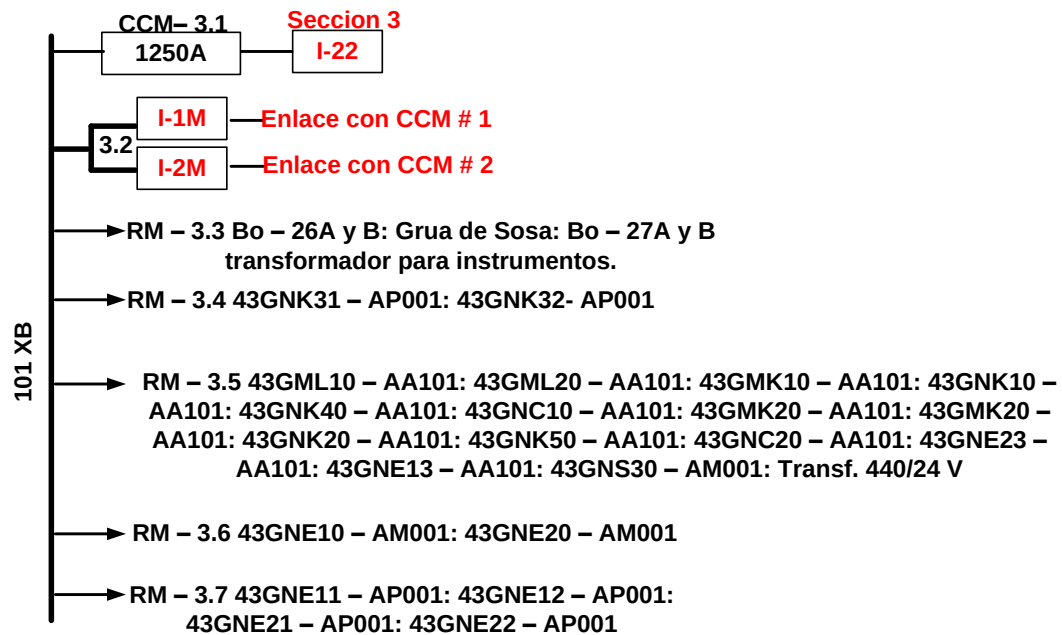


Figura. 3.4 Esquema del centro de control de motores # 3

Como se observa en los centro de control de motores los que están señalado en rojo son los cambios que se hicieron para lograr un balance de carga adecuado, logrando distribuir las etapas de desmineralización, suavizamiento, neutralización y lecho mezclado entre el centro de control de motores uno y dos quedando distribuidas las principales cargas equitativamente.

3.3. 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 estuvieran distribuido equitativamente en cada sección de barras tanto en la subestación como el CCM, ya que estos son los mayores consumidores tanto de potencia activa como de reactiva, Para mejorar el factor de potencia se determinó instalar tres bancos de condensadores, lo más 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 1.5, 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:

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

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

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

Sustituyendo:

$$Qc_1 = 290 * (\tan(\cos^{-1}(0.803)) - \tan(\cos^{-1}(0.95))) \approx 120 \text{ kVAr}$$

$$Qc_2 = 330 * (\tan(\cos^{-1}(0.80)) - \tan(\cos^{-1}(0.95))) \approx 140 \text{ kVAr}$$

$$Qc_3 = 63 * (\tan(\cos^{-1}(0.84)) - \tan(\cos^{-1}(0.95))) \approx 20 \text{ kVAr}$$

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 280 kVAr.

La compensación se hará mediante bancos controlados la regulación de los bancos será de forma automática se obtienen valores de Qc 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.

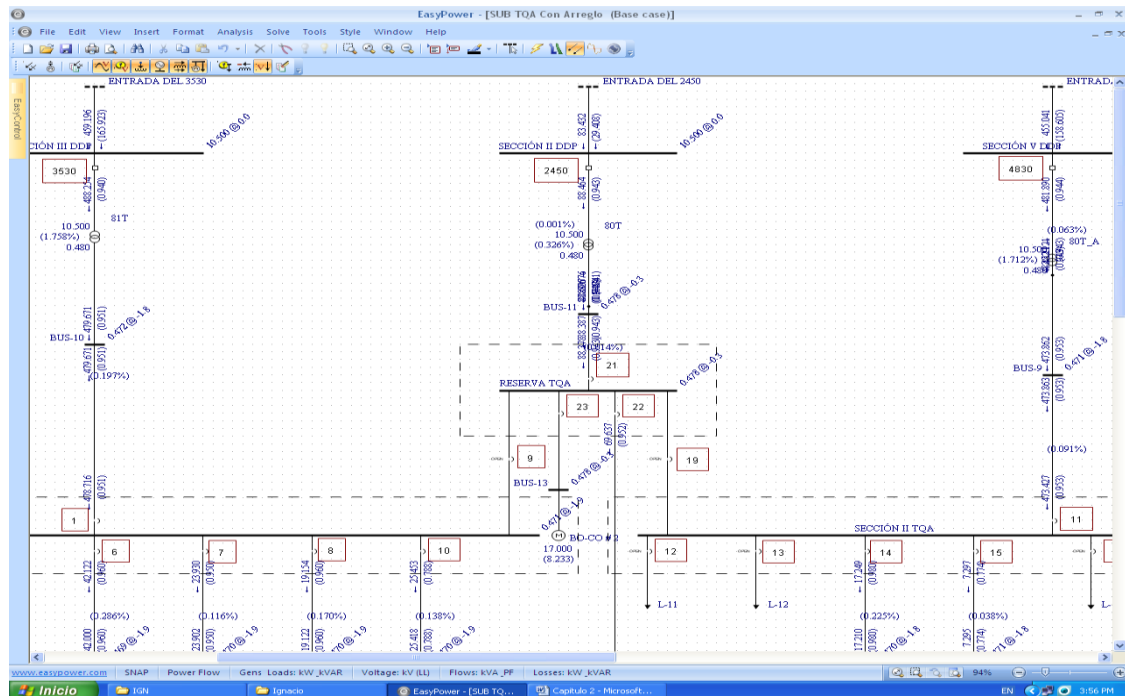


Figura 3.5: Simulación del flujo de potencia después del acomodo de carga y compensación Easy Power.

Tabla 3.1: Resumen del reporte del sistema.

Resumen de Reporte del Sistema				
Total	kW	kVAR	kVA	PF
Generación del Sistema	998	354	1059	0.942
Carga del Sistema	989	474	1096	0.922
Derivación del Sistema	0	-154		
Pérdidas del Sistema	9	35		
Monitoreo del Balance	0	0		

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 20 kW a 9 kW, es decir, se logró disminuir 11 kW por las pérdidas en el sistema, se redujo en 96 kW el consumo tomado desde el SEN, se logró mejorar el factor de potencia de 0.80 a 0.94 y finalmente quedo en 317 kVA por transferencia a los transformadores.

Tabla 3.2: Resumen del reporte de los generadores.

Generador	Solución			
Nombre	kW	kVAR	kVA	Pf
Entrada 1HX del 3510	459	166	488	0.940
Entrada 2HX del 4830	455	159	482	0.944
Entrada 3HX del 2450	83	29	88	0.943

Tabla 3.3: Potencia en la subestación con acomodo de carga y compensación.

Sección	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	FP
1HX	459	166	488	0.940
2HX	455	159	482	0.944
3HX	83	29	88	0.943
Total	997	354	1058	0.942

En la tabla 3.3: Se observan los principales parámetros eléctricos por cada una de las secciones según se corre la simulación, se puede apreciar como mediante el balance de carga y la compensación de la energía 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 el sistema.

3.4. 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.

- Se tiene la ventaja de tener un enlace de barra entre los CCM que permite el enlace entre ellos y cualquiera de las tres secciones de barra de la subestación.
- Los filtros de la misma etapa de suavizamiento y desmineralización se distribuyeron entre las CCM (1y2).
- Los lechos mezclados se distribuyeron entre las CCM (1y2).
- La alimentación de los motores de las bombas quedaron distribuidos equitativamente en las CCM.
- El Transformador 80T aunque continua siendo de reserva ahora con mejor uso alimentando la CCM-3 y deja de estar subcargados todo el tiempo.
- Liberación de potencia aparente.
- Liberación de potencia activa.
- Disminución de la corriente demandada.

Para la realización de esta variante de acomodo de carga, no es necesaria la sustitución o compra de conductores debido a que solo es desconectar en los armarios donde se encuentran actualmente instalados los equipos a mover y conectarlos en los armarios propuestos que están al lado uno del otro, para lo cual éstos presentan suficiente longitud, además ninguna presenta una caída de tensión superior a lo estipulado por lo que no es necesario el cambio de la sección de conductores, los interruptores para el enlace de barra en los CCM se encuentran en la tabla 3.5.

3.5. 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 capacitores para la compensación del factor de potencia en el sistema de suministro de media tensión de la planta de Tratamiento Químico de Agua.

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 capacitores 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 0.94, lográndose una disminución de las pérdidas de potencia activa en el sistema, equivalentes a 96kWh, que en un año representen un total de 840.96 MWh, ahorrados.

3.6. Valoración económica.

El análisis del trabajo está basado en el acomodo de cargas y la posible 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	140/0.48	1	5226	5226
	120/0.48	1	4480	4480
	20/0.48	1	746	746
Regulador.		3	210	630
Flete marítimo y otros gastos.				1152.5
Seguro				215.6
Total.				12450.1

- 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 enlace de barra de los CCM.

No.	Descripción	U/M	Cantidad	Costo Unitario (CUC)	Costo (CUC)
1	Cable de cobre con recubrimiento de PVC de 3x120+ 1x70	m	20	27	540
2	Cinta aislante (Teype plástico)	u	10	0.87	8.70
3	Interruptor Magneto térmico, 3 polos, 250 A, 600V, tipo: NS250SX-MA220, fab MG.	u	4	935	3740
4	Interruptor ABB Ir-1250A SC-1000A Max-4500A.	u	2	1525	3050
5	Terminales de cobre para cable de 70 mm ² , con agujeros para tornillos M12, material cobre estañado.	u	12	0.44	5.28
6	Terminales de cobre para cable de 120 mm ² , con agujeros para tornillos M12, material cobre estañado	u	36	0.93	33.48
Costo de los materiales					7377.46
Imprevistos (5%)					297.373
Costo total de los materiales					7674.83

- 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 5 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	76.05
2	Técnico Medio	1	11.83	59.15
3	Electricista (Categoría B)	3	10.80	162.00
4	Merienda	50	6.00	30.00
Costo de salario				327.20
Imprevistos (5%)				16.36
Costo total de salario				343.56

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

$$C_m = C_e + C_a + C_s \quad (3.1)$$

Donde:

C_m : Costo de montaje.

C_e : Costo total del equipamiento

C_a : Costo total de los accesorios.

C_s : Costo total de salarios.

Sustituyendo:

$$C_m = 12450.1 + 7674.83 + 343.56 = 17418.49 \$ \text{ (CUC)}$$

➤ Gastos de reparación parcial:

Tabla 3.7. Costos de salario para reparación parcial.

No.	Descripción	Cantidad	Costo Diario (CUC)	Costo Total (CUC)
1	Técnico Superior, especialista en Mediciones Eléctricas.	1	15.21	7.60
2	Electricista (Categoría B)	1	10.80	5.40
Costo de salario				13.00
Imprevistos (5%)				0.65
Costo total de salario				13.65

Tabla 3.8. Costos de salario para reparación parcial.

No.	Descripción	U/M	Cantidad	Costo Unitario (CUC)	Costo (CUC)
2	Cinta aislante (Teype plástico)	u	3	0.87	2.61
3	Limpiador de contactos (Spray)	u	2	3.24	6.48
4	Estopa	kg	0.25	0.097	0.097
Costo de los materiales					9.09
Imprevistos (5%)					0.45
Costo total de los materiales					9.54

Para garantizar el buen funcionamiento en la instalación de los bancos de condensadores es necesario realizar un mantenimiento preventivo, este mantenimiento debe ser planificado para un tiempo mínimo de funcionamiento de 6 meses. El total de los costos por reparación está dado por la ecuación 3.2.

$$C_{rep} = C_{mat} + C_{sal} \quad (3.2)$$

Donde:

C_{rep} : Costo de las reparaciones.

C_{mat} : Costo de materiales para la reparación.

C_{sal} : Costo de salario para la reparación.

Sustituyendo:

$$C_{rep} = 9.54 + 13.65 = \$ 23.19 \text{ (CUC)}$$

Inversión Total.

El costo general de la inversión para un año de explotación se determina a partir de la sumatoria de todos los gastos anteriores, para ello se aplica la ecuación 3.3.

$$I_{TOTAL} = C_m + C_{rep} \quad (3.3)$$

Sustituyendo:

$$I_{TOTAL} = 20468.49 + 23.19 = \$ 20491.68 \text{ (CUC)}.$$

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

Según los reportes obtenidos después de la corrida del flujo de potencia son de:

Reducción de pérdidas: 0.096 MW/h.

Reducción de pérdidas en un año: $0.096 \times (8760 \text{ h/año} - 24 \text{ h/año por mtto}) = 838.656 \text{ MW/Año}$.

Teniendo en cuenta que el consumo de 1 MW/h le cuesta a la Empresa \$ 180.913 CUC, el ahorro por concepto de energía dejado de consumir del SEN en un año es aproximadamente igual a $838.656 \text{ MW/Año} \times \$ 180.913 \text{ CUC} = \$ 151723.77 \text{ CUC}$

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

$$T_{AI} = I_{Total} / \text{Ahorro por año.} \quad (3.4)$$

Sustituyendo:

$$T_{AI} = 20491.68 / 151723.77 = 0.13 \text{ años}$$

$$T_{AI} = 1.56 \text{ meses}$$

3.7. 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 calidad de suministro de la subestación logrando un sistema más operativo, flexible y confiable.

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

Se demostró los resultados efectivos de la propuesta de las mejoras, al comparar las mediciones realizadas con respecto a los resultados de la simulación.

Se cuantificaron las pérdidas de potencia activa, producto al bajo factor de potencia y a los desbalance de cargas trayendo consigo un ahorro de 838.656 MW/Año x \$ 180.913 CUC = \$ 151723.772928 CUC por lo que el tiempo de amortización es de 1.56 meses.

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] Lopez, 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 asíncronos 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

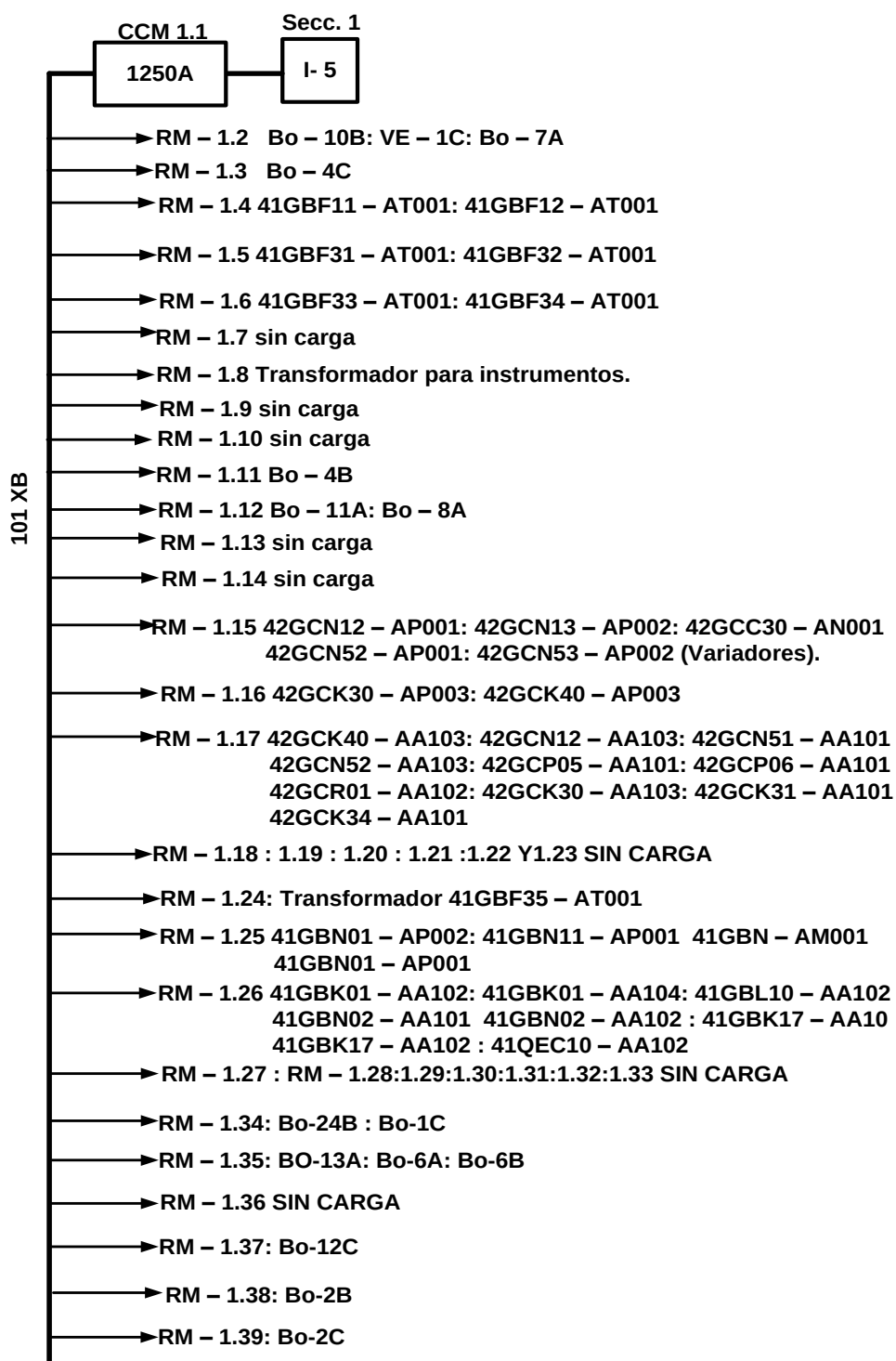
www.ecamectecnologia.com

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



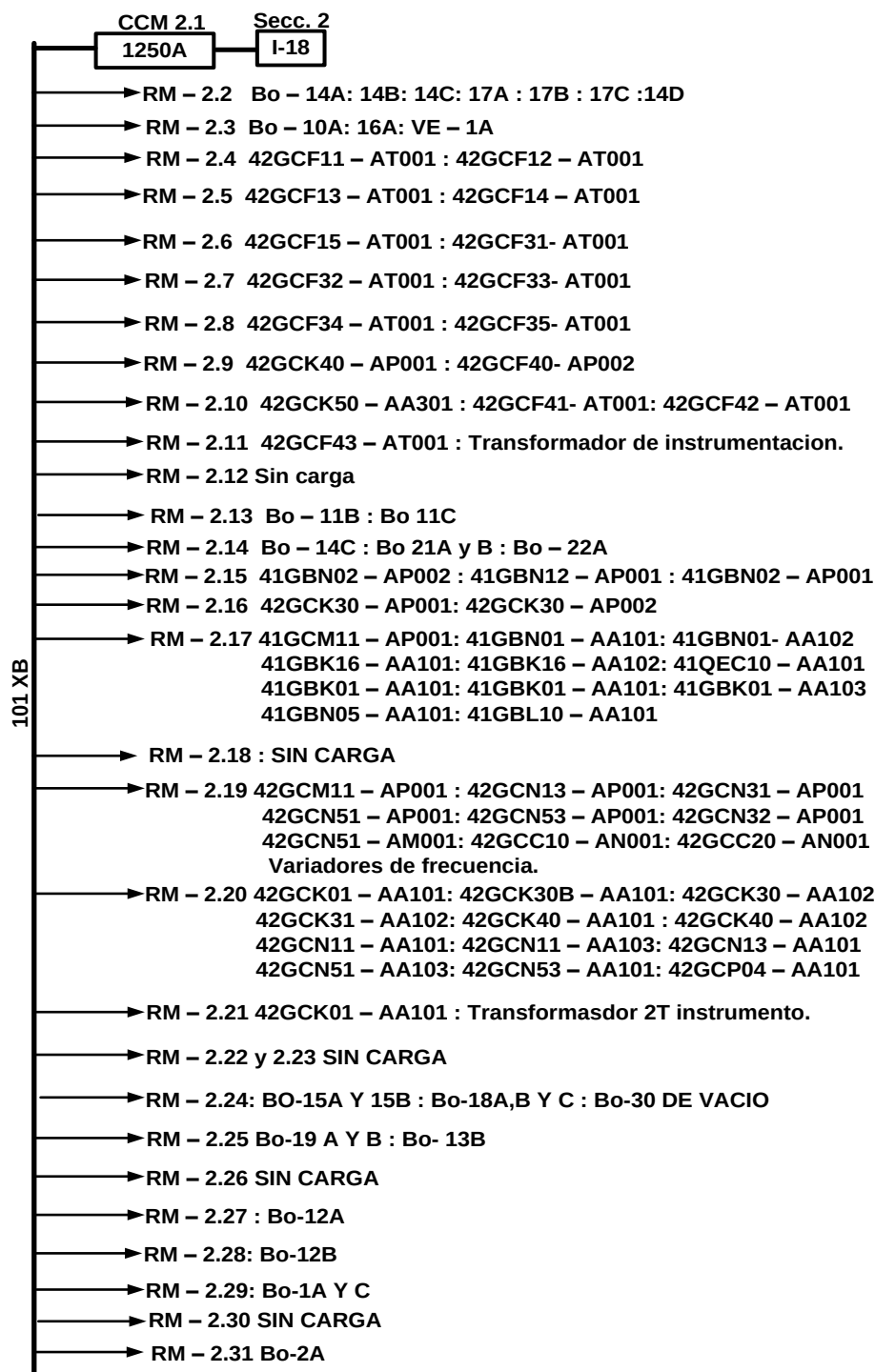
Anexos

- 1 - Esquema de distribución del CCM # 1.
- 2 - Esquema de distribución del CCM # 2.
- 3 - Esquema de distribución del CCM # 3.
- 4 - Tabla 4. Motores eléctricos en Tratamiento Químico de agua.
- 5 - Tabla 5. Carga de la Subestación 10BJA TQA.
- 6 - Tabla 6. Factor de potencia en el mes de Abril.

Esquema 1 Descripción del CCM # 1.



Esquema 2 Descripción del CCM # 2.



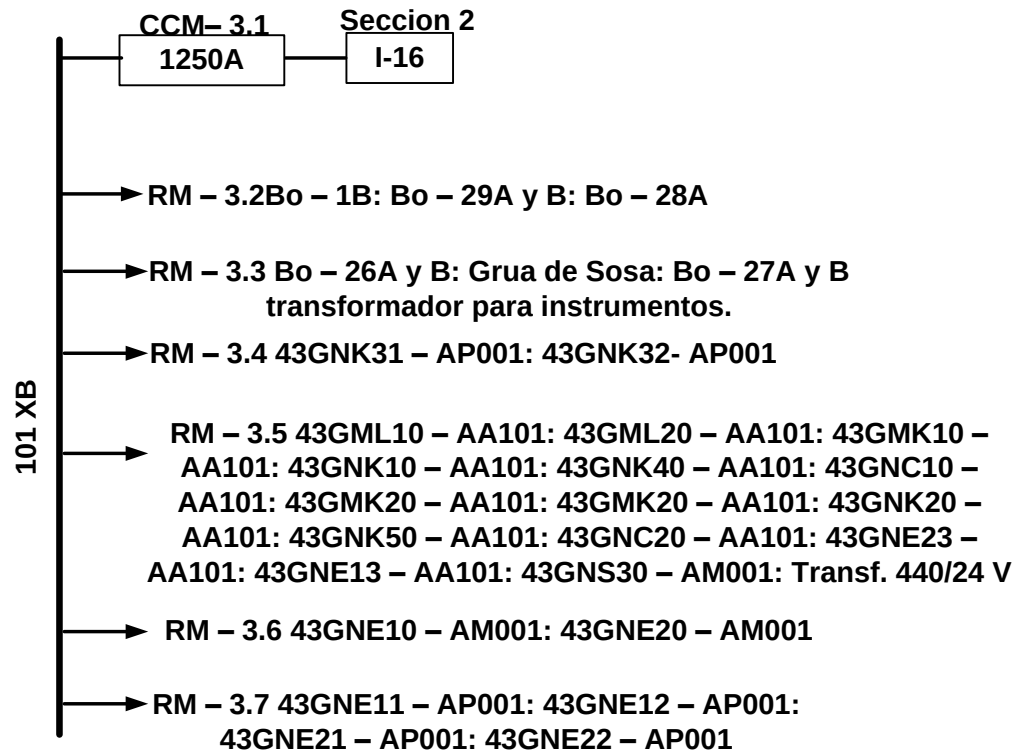
Esquema 3 Descripción del CCM # 3.

Tabla 4. Motores eléctricos en Tratamiento Químico de agua.

Nro	Denominación	RM	Kw	In	r.p.m
1	Bomba Bo -1A	2.29	36	61	1760
2	Bomba Bo -1B	2.29	36	61	1760
3	Bomba Bo -1C	2.24	36	61	1760
4	Bomba Bo -1D	1.34	36	61	1760
5	Bomba Bo - 2A	2.31	120	189	1780
6	Bomba Bo - 2B	1.38	120	189	1780
7	Bomba Bo - 2C	1.39	120	189	1780
8	Bomba Bo - 4A	1.3	13.2	1.6	1740
9	Bomba Bo - 4B	1.11	13.2	1.6	1740
10	Bomba Bo - 4C		13.2	1.6	1740
11	Bomba Bo - 6A	1.35	3.4	6.2	3460
12	Bomba Bo - 6B	1.35	3.4	6.2	3460
13	Bomba Bo - 7A	1.2	2.5	5,4	3420
14	Bomba Bo - 8A	1.12	3,4	7,4	3420
15	Bomba Bo -10A	2.3	36	61	1760
16	Bomba Bo -10B	1.2	18	31,5	1750
17	Bomba Bo - 11A	1.12	36	61	1760
18	Bomba Bo - 11B	2.13	36	61	1760
19	Bomba Bo - 11C	2.13	36	61	1760
20	Bomba Bo - 12A	2.27	120	189	1180
21	Bomba Bo - 12B	2.28	120	189	1180
22	Bomba Bo - 12C	1.37	120	189	1180
23	Bomba Bo - 13A	1.35	0.13	1.6	1800
24	Bomba Bo - 13B	2.28	0.13	1.6	1800
25	Bomba Bo - 14A	2.2	7.5	4.4	1740
26	Bomba Bo - 14B	2.2	7.5	4.4	1740
27	Bomba Bo - 14C	2.14	7.5	4.4	1740
28	Bomba Bo - 15A	2.24	5.5	9.9	3575
29	Bomba Bo - 15B	2.24	5.5	9.9	3575
30	Bomba Bo- 16A	2.3	0,75	1,7	1725

Tabla 4. Continuación

Nro	Denominación	RM	Kw	In	r.p.m	
31	Bomba Bo - 16B	2.3	0,75	1,7	1725	
32	Bomba Bo - 18A	2.24	5.5	9,6	1745	
33	Bomba Bo -18B	2.24	5.5	9,6	1745	
34	Bomba Bo -18C	2.24	5.5	9,6	1745	
35	Bomba Bo -19A	2.28	3	4,4	3470	
36	Bomba Bo -19B	2.28	3	4,4	3470	
37	Bomba Bo - 20	2.3	1.1	2.8	1700	
38	Bomba Bo- 21A	2.14	3	5.8	1690	
39	Bomba Bo - 21B	2.14	3	5.8	1690	
40	Bomba Bo - 24A	3.2	26,5	43.6	1760	
41	Bomba Bo - 24B	1.34	26,5	43.6	1760	
42	Bomba Bo - 25A	3.4	36	61	1760	
43	Bomba Bo - 25B	3.4	36	61	1760	
44	Bomba Bo - 27A	3.3	2,2	4,1	3470	
45	Bomba Bo - 27B	3.3	2,2	4,1	3470	
46	Bomba Bo - 28A	3.2	2,2	4,4	1720	
47	Bomba Bo - 28B	3.2	2,2	4,4	1720	
48	Bomba Bo - 29A	3.2	5,5	9,6	3480	
49	Bomba Bo - 29B	3.2	5,5	9,6	3480	
50	Ventilador VE.1A	2.3	2,2	4.1	1720	
51	Ventilador VE.1B		2,2	4.1	1720	
52	Ventilador VE.1C		2,2	4,1	1720	



Tabla 5. Carga de la Subestación 10BJA TQA

Tabla de carga de la sección 1HX de TQA				Tabla de carga de la sección 2 HX de TQA				Tabla de carga de la sección 3 HX de TQA			
Horas	P(W)	Q(VAr)	S(VA)	Horas	P(W)	Q(VAr)	S(VA)	Horas	P(W)	Q(VAr)	S(VA)
6:00 AM	295	231	375	6:00 AM	295	231	375	6:00 AM	295	231	375
12:00PM	295	231	375	12:00PM	295	231	375	12:00PM	295	231	375
6:00 PM	294	230	374	6:00 PM	294	230	374	6:00 PM	294	230	374
12:00 AM	296	235	375	12:00 AM	296	235	375	12:00 AM	296	235	375
6:00 AM	298	234	374	6:00 AM	298	234	374	6:00 AM	298	234	374
12:00PM	297	233	378	12:00PM	297	233	378	12:00PM	297	233	378
6:00 PM	303	239	380	6:00 PM	303	239	380	6:00 PM	303	239	380
12:00 AM	296	232	376	12:00 AM	296	232	376	12:00 AM	296	232	376
6:00 AM	294	230	374	6:00 AM	294	230	374	6:00 AM	294	230	374
12:00PM	298	230	375	12:00PM	298	230	375	12:00PM	298	230	375
6:00 PM	288	221	363	6:00 PM	288	221	363	6:00 PM	288	221	363
12:00 AM	295	222	365	12:00 AM	295	222	365	12:00 AM	295	222	365
6:00 AM	299	235	378	6:00 AM	299	235	378	6:00 AM	299	235	378
12:00PM	298	234	377	12:00PM	298	234	377	12:00PM	298	234	377
6:00 PM	295	231	375	6:00 PM	295	231	375	6:00 PM	295	231	375
12:00 AM	295	231	374	12:00 AM	295	231	374	12:00 AM	295	231	374
6:00 AM	293	229	374	6:00 AM	293	229	374	6:00 AM	293	229	374
12:00PM	293	228	372	12:00PM	293	228	372	12:00PM	293	228	372
6:00 PM	295	231	370	6:00 PM	295	231	370	6:00 PM	295	231	370
12:00 AM	292	228	371	12:00 AM	292	228	371	12:00 AM	292	228	371

Tabla 6. Factor de potencia en el mes de Abril.

Días	Sección I HX	Sección 2HX	Sección 3 HX
1	0.78	0.79	0.86
2	0.76	0.78	0.86
3	0.77	0.78	0.87
4	0.78	0.8	0.88
5	0.76	0.8	0.86
6	0.75	0.81	0.87
7	0.78	0.79	0.85
8	0.79	0.78	0.86
9	0.78	0.79	0.84
10	0.8	0.78	0.86
11	0.8	0.78	0.85
12	0.78	0.79	0.88
13	0.79	0.8	0.89
14	0.8	0.78	0.86
15	0.78	0.79	0.86
16	0.78	0.78	0.86
17	0.78	0.79	0.85
18	0.75	0.81	0.84
19	0.77	0.8	0.86
20	0.76	0.79	0.86
21	0.78	0.79	0.85
22	0.78	0.78	0.86
23	0.78	0.77	0.86
24	0.76	0.8	0.87
25	0.75	0.8	0.88
26	0.78	0.79	0.86
27	0.78	0.79	0.86
28	0.76	0.8	0.87
29	0.77	0.79	0.86
30	0.78	0.77	0.87