

Facultad Metalurgia- Electromecánica

Departamento de Eléctrica

*Trabajo de Diploma En opción al Título de
Ingeniero Eléctrico*

Título: *Diagnóstico energético en el parque infantil “Para un Príncipe Enano” del municipio Moa.*

Autor: *Guillermo Galano Fernández.*

2018-2019

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

*Trabajo de Diploma En opción al título de
ingeniero eléctrico*

***Título:** Diagnóstico energético en el parque infantil “Para un Príncipe Enano” del municipio Moa.*

***Autor:** Guillermo Galano Fernández.*

***Tutores:** Dr. C Reyneris Montero Laurencio.*

Ing. Alberto García Labrada.

Declaración de autoridad.

Yo Guillermo Galano Fernández

Autor de este Trabajo de Diploma tutorado por el Ing. Alberto García Labrada, certifico la propiedad intelectual a favor de la universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, la cual podrá hacer el uso que estime conveniente con los resultados por lo cual plasmamos nuestra firma.

Guillermo Galano Fernández.

(Diplomante)

Dr. Reyneris Montero laurencio

(Tutor)

Ing. Alberto García Labrada

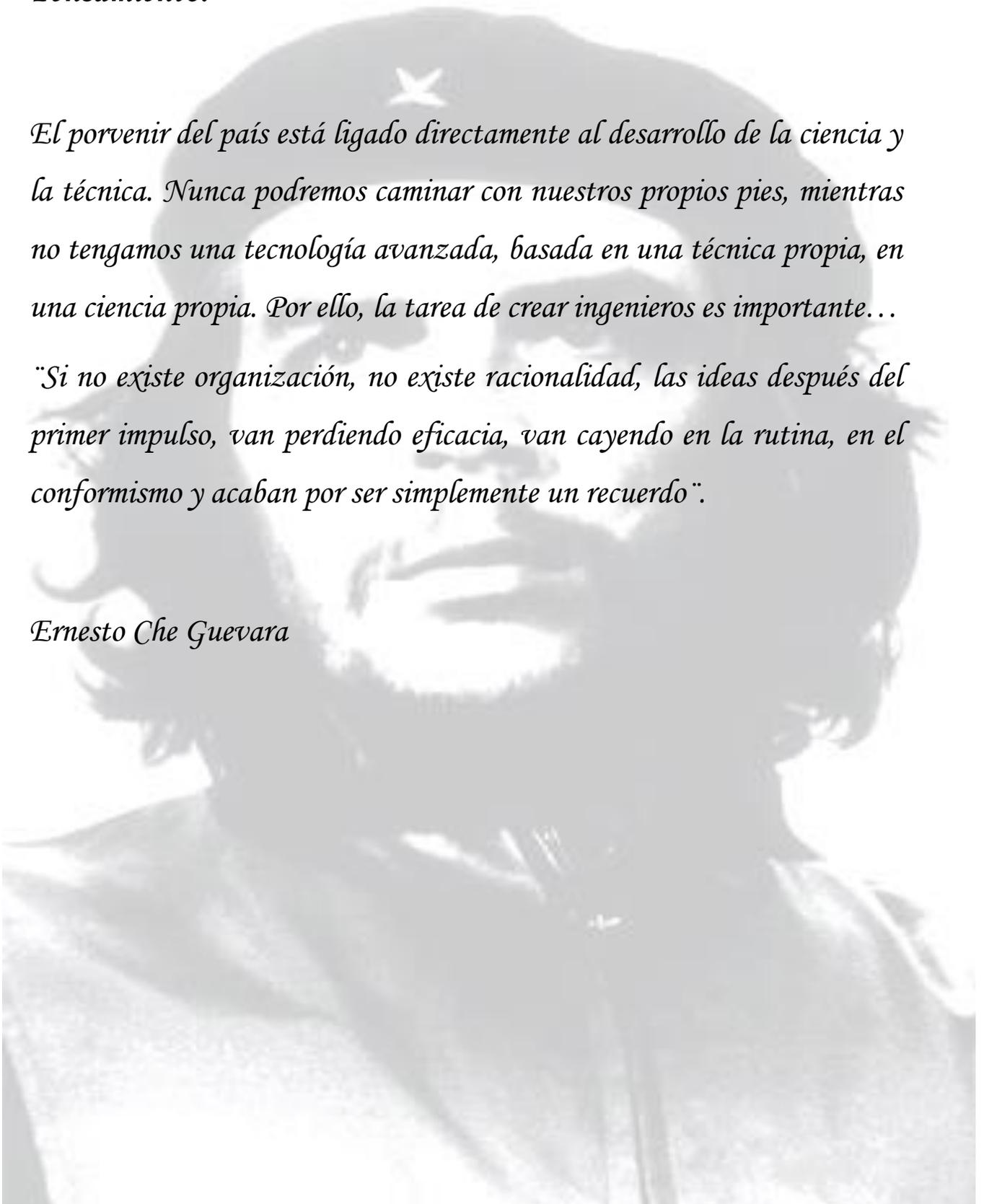
(Tutor)

Pensamiento.

El porvenir del país está ligado directamente al desarrollo de la ciencia y la técnica. Nunca podremos caminar con nuestros propios pies, mientras no tengamos una tecnología avanzada, basada en una técnica propia, en una ciencia propia. Por ello, la tarea de crear ingenieros es importante...

“Si no existe organización, no existe racionalidad, las ideas después del primer impulso, van perdiendo eficacia, van cayendo en la rutina, en el conformismo y acaban por ser simplemente un recuerdo”.

Ernesto Che Guevara



Dedicatoria.

- *A mis padres María Victoria Fernández León y Guillermo Galano Leyva*
- *A mi hermano Ever Galano Matos por ayudar en este proceso.*
- *A mi hermana por su cariño y preocupación, además de ayudarme cuando lo necesitaba.*
- *A mis abuelos Ramón Agustín Fernández Rivera y Milagros León Hardy.*
- *A mis tíos Justo Galano Leyva y Eneyda por su continuo apoyo.*
- *A la memoria de mis abuelos (Justo y Margarita).*
- *A todos los profesores, que durante 5 años me dotaron de conocimiento.*
- *A toda mi familia en general y amistades, que depositaron su confianza en mí, y me dieron su apoyo en cada situación presentada.*
- *A mi tutor Alberto García Labrada que me apoyo y asesoro siempre.*
- *A la revolución cubana.*

Agradecimientos.

Agradezco a todos aquellos que de una u otra forma han estado vinculados a este triunfo que ahora se materializa, de forma especial a mi familia que fueron el principal motor para llegar hasta aquí, a mis amigos y compañeros no solo los de la universidad sino los que a lo largo de esta carrera han estado a mi lado en los momentos buenos y malos. A todos aquellos que me han servido de apoyo para el desarrollo de esta investigación. A mi tutor Alberto Labrada gracias por su ayuda incondicional siempre. Pero sobre todo a mi madre y mi padre que son la razón por la que hoy llego a estas instancias. A todos y a cada uno de ustedes mi eterno agradecimiento.

Gracias

RESUMEN

En este trabajo se realiza un diagnóstico energético del sistema de suministro eléctrico del parque infantil "Para un príncipe enano " de la localidad de Moa, donde se realiza un análisis de las principales variables eléctricas que determinan el correcto funcionamiento del parque para contribuir con la política de la eficiencia energética que se ha trazado el país desde octubre del 2006.

Abstract

In this paper, an energy diagnosis of the electrical supply system of the playground for a dwarf prince is made in the town of Moa where an analysis of the main electrical variables that determine the optimal functioning of the park to contribute to the policy is made of the energy efficiency that the country has drawn since October 2006.

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Revisión de los trabajos precedentes.....	7
1.3. Base teórica de la investigación	10
1.4. Tipos de diagnósticos energéticos empleados.	12
1.5. Calidad de la energía y normas	13
1.6. Compensación de potencia reactiva	17
1.7. Régimen de trabajo económico de los transformadores	24
1.8. Análisis de confiabilidad	25
1.9. Conclusiones del capítulo	28
CAPÍTULO 2. Materiales y métodos para el diagnóstico energético	29
2.1 Introducción.	29
2.2. Importancia social del parque infantil.	29
2.3. Descripción del sistema de suministro eléctrico del parque.	30
2.4. Esquemas monolineal del parque infantil y deficiencias encontradas.	31
2.5. Software e instrumento utilizado.	32
2.6. Mediciones de Potencias.	37
2.7. Resultados de la simulación del flujo de potencia en el parque en las condiciones actuales en Power Factory.	39
2.8. Conclusiones del capítulo.	41
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	42
3.1 Introducción.	42
3.2 Análisis de las mediciones.....	42
3.3. Medidas para mejorar la eficiencia energética del sistema eléctrico.	46
3.4. Cálculo de la capacidad del banco de capacitores necesario para la compensación individual.....	48
3.5 Evaluación económica del trabajo.	51
3.6 Conclusiones parciales.	55
CONCLUSIONES GENERALES	57
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59

ANEXOS.....	61
-------------	----

INTRODUCCIÓN.

La electricidad, imprescindible hoy, ha recorrido un largo camino desde el principio de los tiempos, siendo muchos los hombres que con su reflexión y duro trabajo la han ido moldeando y adaptando a cada una de las necesidades. El surgimiento de los sistemas eléctricos, encargados de generar, transportar y consumir la energía eléctrica se remonta a la segunda mitad del siglo XIX (Martínez, 1997).

Los primeros sistemas eléctricos fueron de corriente directa. En 1879 surge la lámpara incandescente (Edison, US) que diversifica el empleo de los sistemas de corriente directa con fines de alumbrado. A inicios de la década de los 80 del siglo XIX, se produce la invención del transformador eléctrico (Stanley, US) y del motor de inducción (Tesla, US); lo que dio paso al surgimiento de los sistemas de corriente alterna monofásicos. A partir del surgimiento de los sistemas, la energía eléctrica se ha ido convirtiendo en el recurso energético que mayor aplicación tiene. El crecimiento de su consumo constituye un indicativo del progreso alcanzado y de la complejidad de la organización social en la que se vive.

Con el uso cada vez mayor de nuevas y avanzadas tecnologías, se ha incrementado la demanda de la energía eléctrica; por lo cual, numerosos científicos y profesionales se han dado a la tarea de investigar los fenómenos que ocurren en los sistemas eléctricos para hacerlos más eficientes, siendo uno de los más importantes la compensación de la **potencia reactiva (Q)**. No solo con el objetivo de reducir las pérdidas en la transferencia de energía, sino también vinculado a la solución de este problema, está la regulación de la tensión, así como el aumento de la capacidad de reserva de las fuentes de alimentación de los receptores eléctricos, entre otras conocidas ventajas. Además, es sabido que el reactivo generado por las grandes centrales eléctricas no satisface la demanda, por lo que es necesario tomar medidas tanto organizativas como técnicas para garantizar la potencia reactiva necesaria en los receptores.

Actualmente dicha compensación se realiza en lo fundamental con dispositivos estáticos, dada las ventajas que poseen. Estos se basan en el empleo de condensadores eléctricos, cuyo fundamento teórico práctico se desarrolló en 1745, con el experimento de la botella de Leyden por E. G. Von Kleist (1700-1748) y Pieter Van Musschenbroeck (1692-1761) en la Universidad de Leyden. Con este experimento se logró el almacenamiento de carga estática.

En las condiciones de Cuba, el sistema eléctrico es uno solo, interconectado entre sí que se extiende por toda la Isla y se define como sistema Electroenergético nacional. Existen otros pequeños sistemas aislados en la Isla de la Juventud, así como otras cayerías al norte, que han surgido principalmente para fomentar el desarrollo turístico en las regiones.

Dentro de los sistemas eléctricos, el suministro eléctrico constituye un subsistema definido con cualidades propias dentro del sistema Electroenergético nacional, caracterizados entre otros por operar como entidades económicas independientes que se relacionan contractualmente con las empresas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

Todo lo anterior provoca que la compensación de la potencia reactiva en un sistema de suministro eléctrico se realice con el objetivo de optimizar la energía, estimulada en lo fundamental por una normativa estatal de facturación del servicio, que establece a través de la cláusula del factor de potencia, un sistema de penalización-bonificación en límites establecidos.

El procedimiento de compensación de la potencia reactiva en los sistemas de suministro eléctrico, a través de dispositivos, incluye tres aspectos esenciales:

- ✓ La selección de las magnitudes de la compensación, que determina la potencia de compensación necesaria del dispositivo (en kVAr C).
- ✓ La selección del tipo de compensación, que determina el tipo de dispositivo a utilizar (fijo o variable) con los parámetros técnicos necesarios.

- ✓ La ubicación óptima de la compensación, que determina la localización de los dispositivos de compensación.

El incremento de la oferta de energía eléctrica por encima de la demanda de consumo constituye uno de los objetivos trascendentales de la Revolución Energética en Cuba. En este sentido, se han logrado transformaciones radicales del sistema Electroenergético nacional, con un nuevo modelo de producción de la energía eléctrica a base de grupos electrógenos, interconectados e independientes por regiones. A esto se añade el cambio a la población de los equipos electrodomésticos altos consumidores de energía y la distribución de otros ahorradores.

Sin embargo, el sector privado y estatal debe contribuir aún más con una correcta administración de la energía, tendiente a identificar y materializar oportunidades de ahorro.

La compensación óptima de la potencia reactiva teniendo en cuenta las asimetrías, constituye una oportunidad para el ahorro de energía eléctrica en el sector estatal, por su manifestación general en este sector y por las ventajas que se pueden lograr para el programa de ahorro de portadores energéticos.

El indicador fundamental de eficiencia en las empresas de transmisión y distribución de energía eléctrica son las pérdidas que tienen lugar en los circuitos. Estas pérdidas se desglosan en técnicas y comerciales según la naturaleza de las mismas, y de manera global, en Cuba todavía alcanzan valores del 17 %. En este sentido se han realizado diversos esfuerzos encaminados a reducirlas, siendo uno de los más importantes la remodelación de las redes existentes (Julio Gómez Sarduy; Noxoly Díaz Stable, 2011).

Una parte de las pérdidas técnicas se debe a la circulación de energía reactiva demandada por las cargas lo que es sin dudas un problema muy serio a tener en cuenta. Si se parte del punto de vista de que cuando se ubica un banco de condensadores con el objetivo de mejorar el perfil de tensión o el factor de potencia de una instalación o sistema eléctrico se está contribuyendo a la vez a que la energía reactiva que circula por las líneas desde el Sistema Electro Energético Nacional (SEN)

sea de menor magnitud, entonces se logra que las pérdidas disminuyan, permitiendo también una disminución del costo por este concepto.

A escala industrial este tema no deja de tratarse con la importancia que se merece por lo cual se han llevado a cabo proyectos e investigaciones al respecto para mantener los niveles más adecuados posibles de potencia reactiva y es por esa razón que este estudio se basa en su compensación.

La producción de energía utilizando menos recursos y su ahorro es de vital importancia para un país como el nuestro que no tiene grandes reservas de petróleo, que cada vez es mayor el precio del petróleo en el mercado internacional, y que llevamos más de 45 años bajo un bloqueo económico impuesto por la mayor potencia imperialista de todos los tiempos.

El término eficiencia ha sido desde siempre parte de la ingeniería en todos sus campos, sin embargo, ahora que ya iniciamos el tercer milenio ha adquirido una mayor importancia. La disponibilidad de recursos naturales y energéticos, que es cada vez menor, la necesidad de un proceso de desarrollo sostenible para nuestra sociedad, así como la toma de conciencia que somos parte de un gran ecosistema, han hecho que en toda actividad que desarrollemos busquemos aumentar la eficiencia y disminuir las pérdidas.

El 37 % de los combustibles derivados del petróleo que se consumen en el país se destinan a la generación de energía eléctrica, lo que ha llegado a representar más de 400 millones de dólares anuales.

Trabajar para disminuir este costo mediante el incremento de la eficiencia en la producción del kWh generado en las Termoeléctricas Cubanas, es un objetivo del Programa Nacional de Desarrollo de las Fuentes de Energía en el país. Esto puede lograrse a través de la reducción de las pérdidas en la conducción eléctrica, reduciendo el costo de los distintos ciclos de mantenimiento, disminuyendo las fallas imprevistas, aumentando la disponibilidad y confiabilidad de las instalaciones energéticas. De aquí es posible predecir los incrementos de energía eléctrica usada que se producirán al

augmentar 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.

Situación Problémica:

En el sistema de suministro eléctrico del parque infantil "Para un Príncipe Enano" de la localidad municipal de Moa, se hace necesario realizar un diagnóstico energético que lo caracterice técnicamente para determinar su estado de operación

Problema de investigación:

¿Con qué nivel de eficiencia energética trabaja el sistema de suministro eléctrico del parque infantil de Moa?

Hipótesis:

Si se realiza un diagnóstico del Sistema de Suministro Eléctrico del Parque Infantil de Moa; entonces se pueden proponer medidas de carácter organizativas, de pequeña inversión y de gran inversión que mejoren dicho sistema.

Objetivo General:

Evaluar el comportamiento del Sistema de Suministro Eléctrico del Parque Infantil de Moa que permita determinar y proponer soluciones a las insuficiencias presentadas.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar el consumo de Energía Eléctrica del Parque Infantil de Moa mediante el uso de Herramientas de la Gestión Energética.
- Analizar del Sistema de Suministro Eléctrico del Parque Infantil de Moa.
- Evaluar del consumo de Potencia Reactiva para determinar variantes de solución para la compensación del Reactivo.

Objeto de investigación:

Sistema de suministro eléctrico del parque infantil "Para un Príncipe Enano" de la localidad de Moa.

Campo de acción:

Eficiencia energética.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

La fundamentación científica y su organización de la investigación es de vital 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 sobre el estado del arte de las redes industriales de suministro donde se abordarán las principales características y problemas del suministro de pequeñas empresas de importancia social, así como las principales normas y parámetros de calidad por las cuales se 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 se pretende realizar una recopilación de información de las principales bibliografías consultadas.

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

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

Los motores sobredimensionados repercuten negativamente sobre el grado de eficiencia, el factor de potencia y por tanto, sobre la economía de la empresa y los costos de la inversión.

(Palma, 2006) 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).

(A., 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.

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

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.

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

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

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

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.

(Gonzales, 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.

(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.

(Estrada, 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.

1.3. 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 este 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

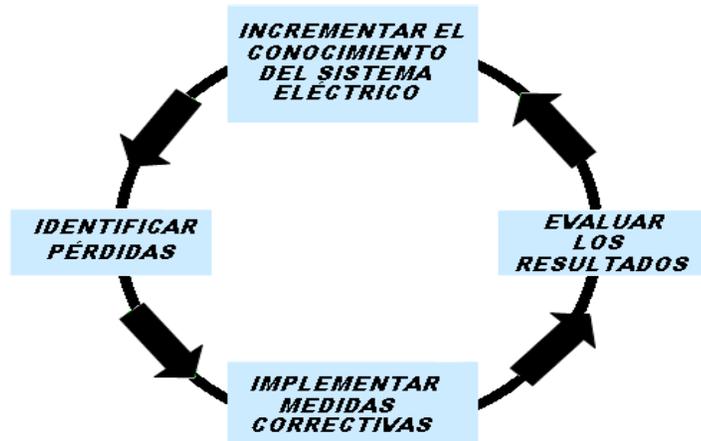


Figura 1.1 Eficiencia en el consumo de energía.

1.4. 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 determinadas.

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.

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.

1.5. Calidad de la energía y normas

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 de tensión:
 - Desviaciones de la tensión nominal o del 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):

Tabla 1.1 niveles de inmunidad por equipos

Perturbación	Clase1	Clase2	Clase3
Variación de tensión $\Delta U/U_n$	+/- 8%	+/-10%	+10% -15%
$\Delta U/U_n$	10%-100%	10%-100%	10%-100%
Δt (cantidad de semiciclos)	1	1-300	1-300
Interrupciones cortas	ninguna	-	≤ 60
Desbalances (U_2/U_1)	2%	2%	3%
Variaciones de frecuencia. F/f_n +	-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*”(IEEE, 1992). 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.

$$THD(\%) = \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{h \max} (V_h)^2} \quad (0.1)$$

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 y como lo muestra en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Límites de los niveles de distorsión de tensión.

Voltaje	Armónicos Individuales (%)	THD (%)
V < 69kV	3	5
69 < V < 161 kV	1.5	2.5
V < 161 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.

$$TDD(\%) = \frac{100}{I_L} \sqrt{\sum_{h=2}^{h \max} (I_h)^2} \quad (0.2)$$

Dónde:

I_h : Corrientes armónicas, (A).

I_L : Corriente máxima demandada, (A).

1.6. 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.

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.

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.

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.

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 contactares 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.

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.

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).

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.

Cálculo para la compensación de potencia reactiva

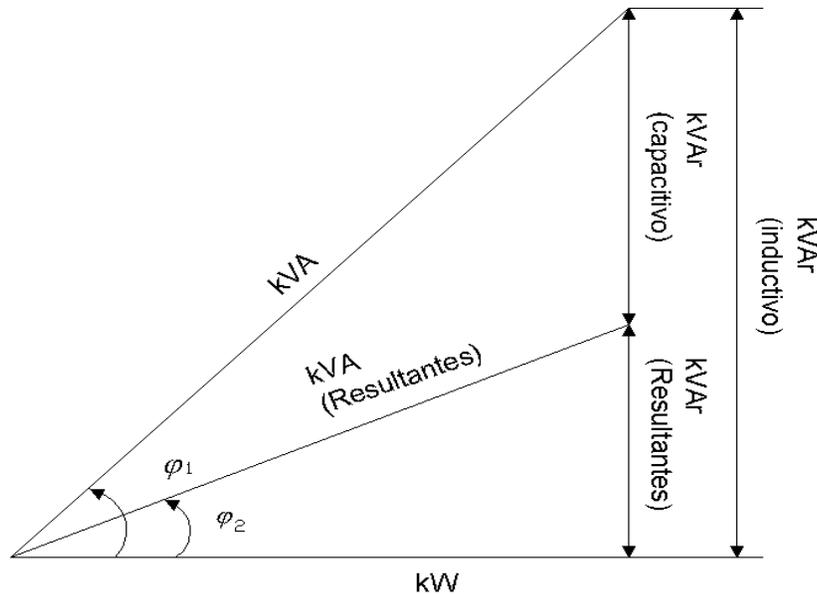


Figura 1.2 Reducción del ángulo ϕ mediante la conexión de una cantidad. En este caso: determinada de potencia reactiva capacitiva al circuito.

$$\tan \phi_1' = \frac{Q_1}{P} \quad (0.3)$$

y para el nuevo ángulo luego de la corrección:

$$\tan \phi_2' = \frac{Q_2}{P} \quad (0.4)$$

Para conocer la potencia reactiva capacitiva que mejore el valor del factor de potencia de $\cos\phi_1$ a $\cos\phi_2$ se utilizará la fórmula:

$$Q_c = P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \quad (0.5)$$

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)

$$s_2 = s(\cos \phi_1 / \cos \phi_2) \quad (0.6)$$

$$s_L = s_1 - s_2$$

Potencia activa liberada (PL).

$$P_2 = P_1(\cos_1 / \cos_2) \quad (0.7)$$

$$P_L = P_1 P_2 \quad (0.8)$$

Reducción de corriente (IL).

$$P_1 = \sqrt{3}UI \cos \phi_1 \quad (0.9)$$

$$P_2 = \sqrt{3}UI \cos \phi_2 \quad (0.10)$$

$$I_L = I_1 - I_2 \quad (0.11)$$

1.7. 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 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:

$$\Delta P'_t = \Delta P'_{sc} + Kc^2 \Delta P'_{cc} \quad (0.12)$$

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.

$$K = \frac{Sc}{Sn} \quad (0.13)$$

Donde:

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

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

$$\Delta Q_{sc} = S_n(I_{sc}\% / 100) \quad (0.14)$$

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).

$$\Delta P'_{cc} = \Delta P_{cc} + K_{ip} * \Delta Q_{cc} \quad (0.15)$$

Donde:

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

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

$$\Delta Q_{cc} = S_n(V_{cc}\% / 100) \quad (0.16)$$

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).

1.8. 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 ampolletas 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. 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:

- 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.
- 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.
- 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.

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 ininterrumpibles.

1.9. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se han 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 mostraron 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 2. Materiales y métodos para el diagnóstico energético

2.1 Introducción.

En el presente capítulo se expone todo lo relacionado con la instalación objeto de estudio donde se realizará una caracterización de la misma, se lleva a cabo 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 DigSilent Power Factory, y se determinarán las medidas necesarias para el mejoramiento de factor de potencia, las vías de compensación y las propuestas técnicas organizativas para contribuir con la eficiencia energética del parque.

2.2. Importancia social del parque infantil.

Los parques infantiles además de ser un elemento de diversión para los más pequeños de casa, también les ayuda a su desarrollo personal y social. Estos lugares están especialmente diseñados para ellos y son el sitio perfecto para dejar volar su imaginación y creatividad, y además de ser el punto de encuentro con otros niños, les ayudará a sociabilizarse. En estos pueden mejorar sus capacidades comunicativas y verbales, su salud, su capacidad visual y espacial debido al movimiento horizontal y vertical de los equipos y es que al aprender a manejarse en diferentes alturas, espacios y entornos les ayuda a comprender la naturaleza forma y tamaño de las cosas, por lo que les ayuda a dominar sus movimientos. Estos sitios son un clásico de cada generación y gracias al avance de la tecnología y la aparición de nuevos materiales de construcción no se han quedado atrás ahora en vez de columpios que debían ser empujados, suelos de tierra y arena, tenemos suelos seguros, mobiliarios que aguantan la caída de los más pequeños y hasta aparatos que pueden columpiar y hasta rotar sin necesidad de la fuerza humana. El parque infantil " Para un príncipe enano" fue creado con esa finalidad y por lo tanto es necesario su conservación y cuidado.

2.3. Descripción del sistema de suministro eléctrico del parque.

EL sistema de suministro eléctrico del parque infantil está alimentado por un banco de 3 transformadores monofásico alimentado con un nivel de tensión 13.8 kV y suministrando 440 V, 220 V y 110V directamente a una pizarra general que distribuye a los distintos consumidores del parque los cuales se clasifican en casa de cumpleaños, oficina de administración y los aparatos, para este caso solo representa cargas significativas los aparatos. El parque infantil tiene un total de 11 aparatos, Lancha, Estrella Chiquita, Avión, Botes, Carrusel el Avión, Estrella Grande, Carrusel Pony, Sillas Voladoras, Carrusel Caballitos, Avión Oscilante, Montaña Rusa; los cuales trabajan continuamente durante el periodo de 2 minutos, y los tiques que se venden para montarse en ellos son de 6 papeletas. De estos aparatos 3 no están en funcionamiento desde hace más de un año, ellos son: Estrella Grande, Botes, Avión, por lo que no se tomara en cuenta para su análisis. Estos aparatos se constituyen de motores, accionamientos y acoples para su funcionamiento. Los motores de cada aparato poseen en común, algunas características eléctricas; por ejemplo, estos son trifásicos, con nivel de tensión de 440 V, una frecuencia eléctrica de 60Hz, pero en su funcionamiento debido al accionamiento presente en ellos, necesitan de una mayor potencia para sobrepasar el par eléctrico que tenga el equipo en ese momento. Por ejemplo, la lancha rápida, por la ayuda del agua, no necesita de mucha potencia para moverse con toda facilidad. La estrella chiquita, la cual mueve por cadenas una polea que es la que hace girar este aparato y a la ves a otra polea para disminuir el par y poder mantener una velocidad moderadamente constante, necesita de una mayor potencia pues aparte de las condiciones mecánicas está también en los tiempos de parada para subir o bajar a cada niño que este en ella.

2.4. Esquemas monolineal del parque infantil y deficiencias encontradas.

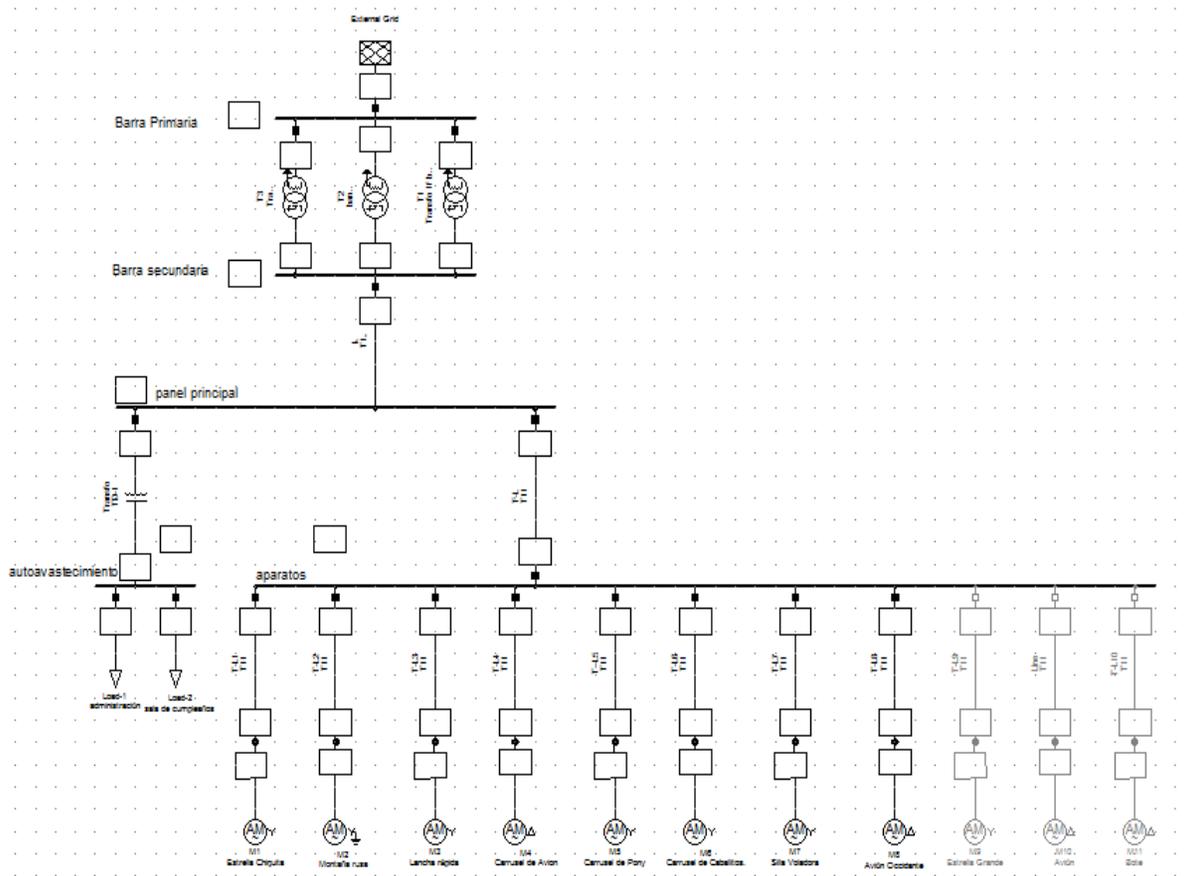


Figura 2.1 Esquema monolineal actual del Parque Infantil y deficiencias encontradas.

Deficiencias encontradas en el recorrido.

Como parte del estudio se realizó un levantamiento de las deficiencias en todas las áreas del Parque, el que permitió determinar las deficiencias que se muestran a continuación.

En el banco de transformadores solo se encontró como deficiencia que no abastece solo el parque, además brinda servicio al sector residencial de la zona lo que se atribuye a aprovechar su capacidad para no tenerlo trabajando prácticamente en vacío.

El principal problema que se encuentra en el parque es que casi todas las cargas son de carácter inductivo, **11 motores de inducción** que se encargan de suministrarle potencia mecánica a los aparatos de diversión, pero este exceso de motores en cualquier sistema lo que trae consigo es un incremento en el consumo de energía para

crear los campos magnéticos necesarios para su funcionamiento por lo que se incrementa las pérdidas técnicas de energías eléctrica y tiende a caerse el factor de potencia en lo general.

2.5. Software e instrumento utilizado.

El instrumento principal que se utilizó para las mediciones fue el analizador de redes Power Q Plus y el multímetro de gancho PCE-UT232 y el software que se usó DigSilent Power Factory herramientas de primer nivel manejadas en varias partes del mundo por su exactitud.

Instrumento utilizado para las mediciones:

Multímetro de gancho

El multímetro de gancho PCE-UT232 (Ver Figura 2.2) mejor conocido como Juncómetro fue utilizado para realizar mediciones puntuales en cada una de las fases de los paneles correspondientes a cada edificio del docente. El mismo puede medir el voltaje, la corriente, la potencia aparente, la potencia activa, la potencia reactiva, el factor de potencia, la frecuencia, el ángulo de fase, la energía activa, etc. Este instrumento consta con cuatro conductores de colores rojo, azul, amarillo y negro con su respectiva pinza cada uno las cuales son utilizadas para realizar mediciones del voltaje existente en cada una de las fases conectándose directamente a la fase A, B, C y al Neutro.



Figura 2.2 Multímetro de Gancho

Además, está equipado con una tenaza ubicada en la parte superior destinada a medir la intensidad de la corriente, dicha tenaza cuenta con un sensor encargado de detectar el campo magnético que genera la circulación de la corriente por el conductor por lo que no necesitamos tocarlo directamente con la tenaza, sino que simplemente colocando el conductor dentro de la de la tenaza obtenemos buenas mediciones. El operario solo puede colocar un conductor a la vez porque si coloca más de uno la corriente resultante será la suma vectorial de las corrientes que circulan por los conductores y que depende de la relación de fase.

Analizador de redes.

El analizador de redes Power Q Plus (Ver figura 2.3) es un instrumento de multifunción portátil para el análisis de la calidad de la energía y las mediciones de eficiencia energética, fue utilizado para realizar mediciones en los diferentes paneles principalmente en el panel principal con intervalos de 15 min. Este instrumento es capaz de medir tensión, corriente, frecuencia, potencia activa (P), potencia reactiva (Q), potencia aparente (S), energía (E), etc; además grafica todas estas magnitudes y el diagrama de fases. El mismo posee las siguientes características:

- 1) 4 canales de tensión con una amplia escala de medición: $0 \div 1000$ Vrms, CAT III/1000V.
- 2) 4 canales de tensión con posibilidad de reconocimiento automático de pinzas y selección de escala "en el instrumento".
- 3) Conformidad con la normativa de calidad de la energía IEC 61000-4-30 Clase S.
- 4) Perfil del registrador predefinido para inspecciones según la norma EN 50160.
- 5) Mediciones de potencia conforme a las normas IEC 61557-12 e IEEE 1448.
- 6) 8 canales simultáneos - conversión AD de 16 bit para obtener unas mediciones de potencia precisas (error mínimo de variación de fase).
- 7) Registrador potente y fácil de utilizar con 8MB de memoria y posibilidad para registrar 524 firmas de calidad de energía diferente.
- 8) Medición y registro de interarmónicos y señalización de red.



Figura 2.3 Analizador de Redes Power Q Plus

Selección de software para la simulación.

Para poder realizar la simulación de las variantes planteadas se pueden emplear diversos softwares como son:

Radial: software hecho por la Universidad de Villa Clara cuya función es modelar redes de Distribución, también puede simular redes monofásicas y trifásicas, pero presenta limitantes como, la no realización de lazos y no puede modelar en un mismo fichero varios niveles de tensión. (Darroman, 2016)

PSX: (Power System Explorer) software hecho por la Universidad de Villa Clara para modelar las redes de transmisión, trabaja sistemas trifásicos balanceados, puede realizar estudios de corridas de flujo, cálculos de cortocircuito, estabilidad de tensión, estabilidad dinámica, modela algunas protecciones y se pueden obtener gráficos del comportamiento de algunos parámetros en el tiempo, aunque también posee una limitante, no se pueden simular redes monofásicas.

ETAP: software hecho en Estados Unidos para estudios de redes eléctricas, solo se encuentra en idioma inglés, pero es muy potente y permite hacer diversos tipos de estudios, contiene librerías con todo tipo de elementos que a su vez son actualizables

y posee algunos elementos que se pueden editar, permite gráficos muy detallados, entre otros elementos.(Darroman, 2016)

Dig-SILENT Power Factory: software originario de Alemania el cual posee varios idiomas: alemán, inglés y español entre otros. Es una herramienta computarizada de asistencia ingenieril para el análisis de sistemas eléctricos de potencias industriales, comerciales y a gran escala. Está previsto de varios módulos en los cuales se encuentra: flujo de potencia, cortocircuitos y herramientas para el análisis de estabilidad de sistemas eléctricos. Ha sido diseñado para lograr los objetivos principales de planificación y operación del sistema eléctrico de potencia.(Alfajarrín, 2016)

Descripción del software utilizado.

El software empleado para realizar el análisis de las redes de subtransmisión es el DigSILENT Power Factory, ya que es una herramienta integrada de análisis de sistemas de potencia que combina la modelación confiable y flexible del sistema con algoritmos de solución en el estado del arte y un concepto único del manejo de base de datos. Puede acomodar todo dentro de un esquema integrado y una base de datos integrada. Además, es utilizada en entidades encargadas de la operación y estudio de los sistemas de potencia. Incorpora algoritmos de solución mejorados y tecnología de programación avanzada incorporada a una base de datos orientada a objetos. Los modelos matemáticos bajo los cuales se efectúan los cálculos están basados en normas y teorías mundialmente aceptadas como son la ANSI, IEEE y la IEC, es un conjunto de nuevos estándares en integración funcional, por la incorporación de características que pueden ser mejor descritas como documentación activa. Esta característica flexible permite al usuario crear modelos detallados de los sistemas de potencia en una simple base de datos diseñada previamente o durante la realización de un proyecto.(Alfajarrín, 2016; digSILENT, 2013; iniciación, 2015)

Características relevantes del programa.

- Funciones centrales del DigSILENT: definición, modificación y organización de casos, rutinas numéricas, funciones de salida y documentación.

- Manejos de los datos y diagramas de casos, integrado e interactivo.
- Base de datos de casos y elementos de sistemas de potencia.
- Funciones de cálculo (ejemplo: cálculo de parámetros de líneas y maquinas basado en la ingeniería o información de placas).
- Sistemas configurados de redes con sistemas interactivos a acceso en línea “on line” o sistema ESCADA.
- Interfaz genérica para sistemas computacionales basados en mapeo.
- Opera con otras herramientas de simulación como SIMULINK y ASPENTECH.(guevara, 2016)

Los módulos probados y disponibles en Power Factory son:

- ❖ Flujo de potencia.
- ❖ Despacho de potencia activa y reactiva.
- ❖ Cortocircuitos.
- ❖ Estabilidad.
- ❖ Transitorios electromagnéticos.
- ❖ Protecciones.
- ❖ Armónicos.
- ❖ Confiabilidad.
- ❖ DPL (Dig-SILENT Programming Language).

Con el uso de una sola base de datos, la cual contiene los datos necesarios de todas las piezas de equipo dentro del sistema de potencia (datos de línea, datos de generador, datos de armónicos, datos de controladores), DigSILENT permite la ejecución de todas las funciones disponibles dentro del mismo ambiente del programa con facilidad. Algunas de esas funciones son el análisis del flujo de potencia, cortocircuitos y armónicos, también la coordinación de protecciones, cálculo de estabilidad y análisis modal. Para el caso de este estudio se utiliza el módulo de trabajo de Flujo de Potencia.

2.6. Mediciones de Potencias.

Mediciones de Potencia Activa.

En las figuras 6 y se representan gráficamente las mediciones de potencia activa por fase, pertenecientes a los aparatos principales, los cuales son: Carrusel Avión, Carrusel Caballitos, Avión Oscilante, Montaña Rusa, Avión, Silla Voladora.

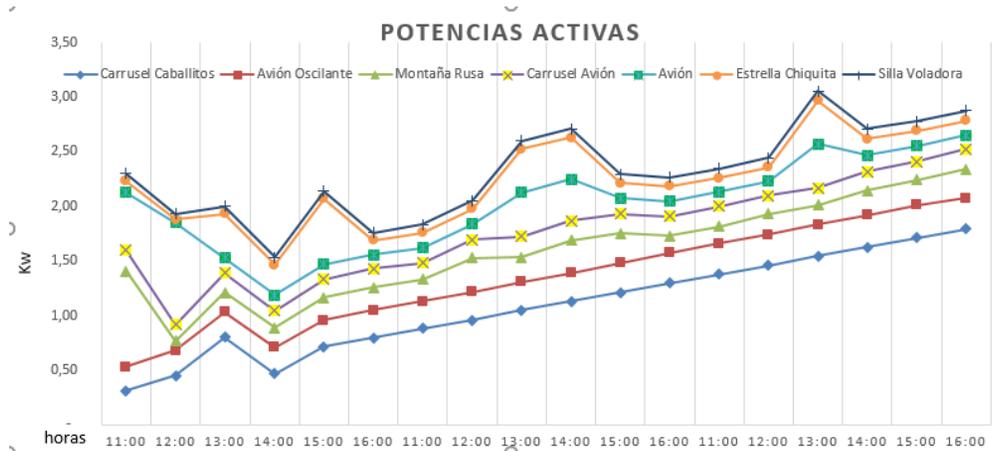


Figura 2.4 Gráfico de Potencias Activas de los aparatos.

En la Figura 2.5 se observa los máximos valores por carga en kW que alcanza la potencia activa de cada aparato.

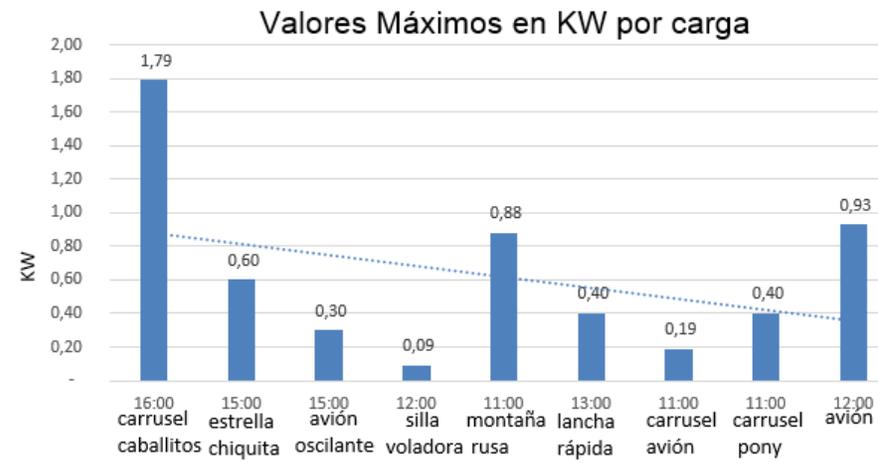


Figura 2.6 Valores máximos de la potencia activa por carga.

En la figura 2.6 se muestran los valores máximos de tensión y corriente alcanzados durante el funcionamiento de los aparatos con carga.

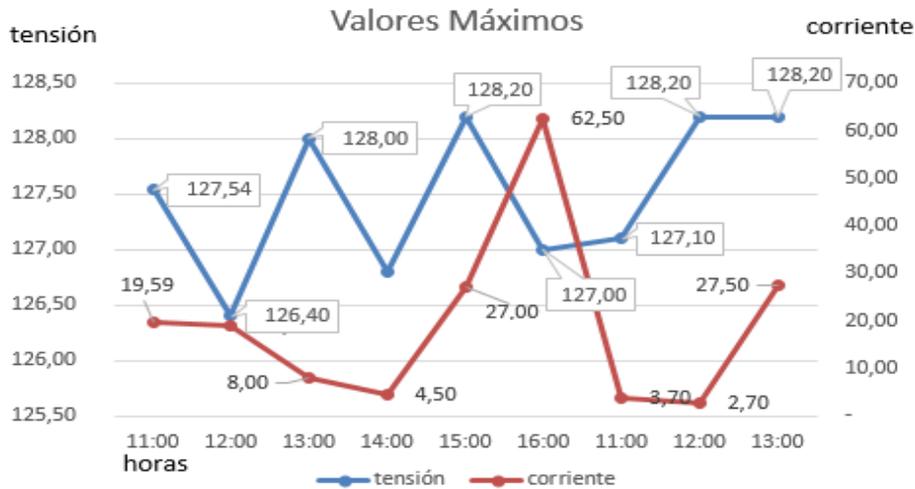


Figura 2 7 Mediciones de tensión y corriente

Gráfico de carga promedio de los aparatos en régimen de trabajo.

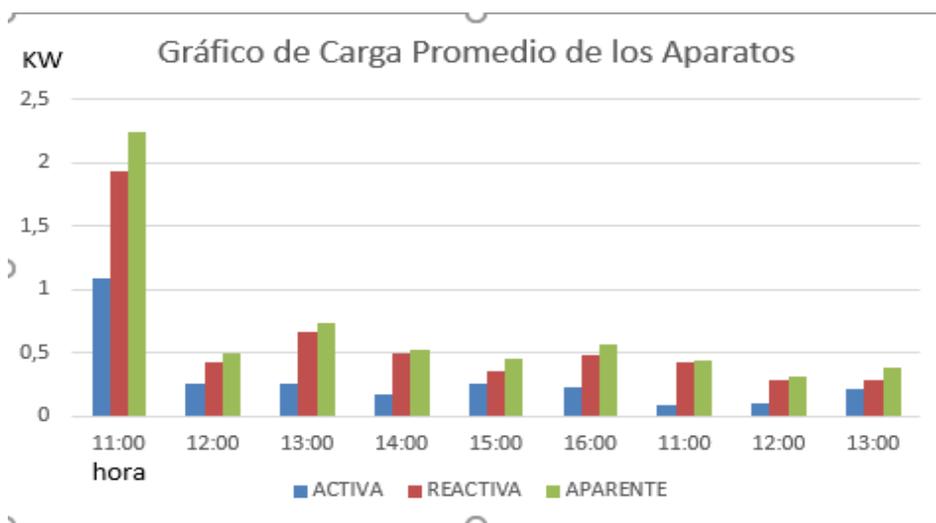


Figura 2.8 Promedio de las mediciones de potencia efectuadas.

De manera resumida se muestra las cargas en condiciones actuales de operación del sistema de suministro eléctrico del parque y se observa que solamente el consumo de

potencia reactiva de los aparatos es muy superior al de potencia activa de los equipos, como es de imaginar ya que poseen motores de inducción, pero, además, es cercano al valor de la potencia aparente.

Todo esto denota que existe un acelerado consumo de energía reactiva en el sistema de suministro eléctrico del parque infantil “Para un Príncipe Enano” y por tanto un bajo factor de potencia, producto a todos esos motores pertenecientes a los aparatos.

En la figura 2.8 se muestra un bajo factor de potencia en el sistema de suministro eléctrico del parque infantil “Para un Príncipe Enano”. Lo que demuestra una gran pérdida por transferencia de potencia reactiva desde los transformadores hasta los consumidores, ver [anexo](#).

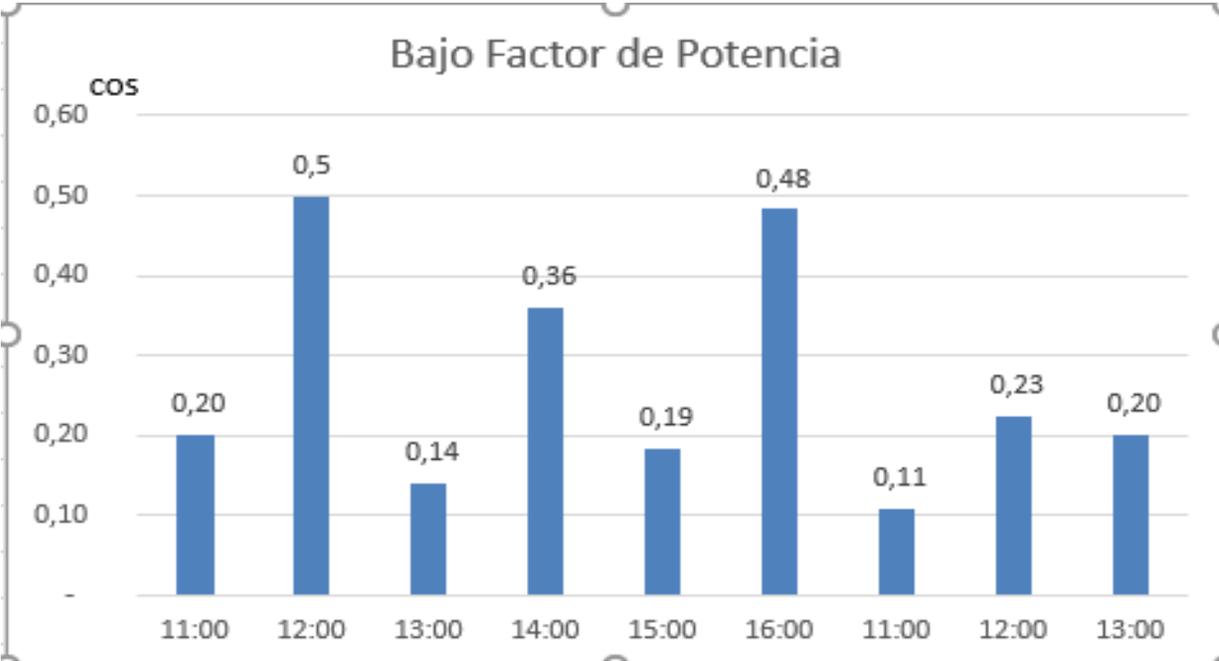


Figura 2.9 Bajo factor de potencia

2.7. Resultados de la simulación del flujo de potencia en el parque en las condiciones actuales en Power Factory.

Tabla 2.2 Resumen del reporte individual parte alta del transformador.

Reporte individual				
Nombre	kW	kVAr	kVA	PF
UTIL-3 Entrada	692.77	562.37	839.77	0.83
Mediciones	691.48	575.34	899.53	0.832
Diferencia	1.29	12.97	-59.76	-0.002

Se puede observar en la tabla 2.2. que sólo existe una diferencia de 1.29 kW entre los consumos por la parte de alta de las mediciones emitida por el PQM con respecto a los resultados emitidos por el software referente al transformador de entrada a la subestación.

Tabla 2.2. Resumen del reporte del Sistema.

Resumen del Sistema				
Total	kW	kVAR	kVA	PF
Carga total	693	474	840	0.826
Carga del Sistema	680	464	823	0.826
Pérdidas del Sistema.	14	10		

2.8. Conclusiones del capítulo.

En el presente capítulo se caracterizó el sistema eléctrico de la planta, se ilustraron 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 realizó el monolineal y la propuesta de un nuevo esquema con sus cargas instaladas. Con las mediciones realizadas se determinó que existe bajo factor de potencia, y la necesidad de compensar la potencia reactiva en la subestación.

Para el montaje y simulación del esquema en el software Power Factory, fueron necesarios los datos de cargas que fueron tomados a través de las mediciones en diferentes puntos del sistema.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA.

3.1 Introducción.

En este capítulo se plantean los resultados para mejorar el factor de potencia en el sistema de suministro eléctrico del parque infantil de Moa. Para esto se realiza un análisis técnico económico de la propuesta. También se determina si la inversión a realizar será factible o no considerando los principales costos relacionados con la adquisición y montaje de los rectificadores. Además de establecer una comparación entre el comportamiento de la eficiencia, confiabilidad y disponibilidad con el sistema anterior trabajando bajo condiciones nominales de trabajo.

3.2 Análisis de las mediciones.

A continuación, se realiza un análisis de las mediciones realizadas sobre cada uno de los aparatos de diversión representa el comportamiento de los parámetros eléctricos en los circuitos que alimentan las distintas áreas del parque infantil (valores medios).

En conformidad con las mediciones realizadas en los distintos aparatos, se puede ver que no existe problemas de desbalance de tensión ni de corriente y además que en todos los aparatos existe bajo factor de potencia y que todos los equipos trabajan en régimen intermitente por lo que es necesario analizar la compensación de potencia reactiva de forma individual debido a que un banco de capacitores automático sería muy caro para esta institución puesto que debería tener al menos 11 pasos y mediante la instalación de uno fijo sería inevitable caer en sobrecompensación por lo que no se resolvería el problema, a continuación se muestra desde la tabla 3.1 hasta la tabla 3.11, un fragmento de las mediciones realizadas para cada uno de los equipos en cuestión

Tabla 3.1 Fragmento del comportamiento de los parámetros eléctricos analizados en la Estrella chiquita.

Estrella chiquita	A	B	C
I(A)	7,8	7	8,1
U(V)	121,01	120,5	122,1
P(kW)	0,16	0,24	0,41
Q(kVAr)	0,97	0,66	0,91
Fp	0,21	0,32	0,42

Tabla 3.2. Fragmento del comportamiento de los parámetros eléctricos analizados en la Lancha Rápida.

Lancha rápida	A	B	C
I(A)	4,3	3,9	4,3
U(V)	126,1	120,5	126,5
P(kW)	0,32	0,3	0,37
Q(kVAr)	0,45	0,36	0,4
Fp	0,56	0,65	0,68

Tabla 3.3. Fragmento del comportamiento de los parámetros eléctricos analizados en el Avión Oscilante.

Avión Oscilante	A	B	C
I(A)	3	2,6	2,9
U(V)	126,5	120,4	126,3
P(kW)	0,07	0,07	0,09
Q(kVAr)	0,36	0,32	0,36
Fp	0,18	0,26	0,25

Tabla 3.4. Fragmento del comportamiento de los parámetros eléctricos analizados en el Carrusel de caballitos.

Carrusel Caballito	A	B	C
I(A)	14,2	11,7	13,4
U(V)	126	120,1	120,5
P(kW)	0,3	0,26	0,6
Q(kVAr)	1,77	1,41	1,58
Fp	0,17	0,17	0,36

Tabla 3.5. Fragmento del comportamiento de los parámetros eléctricos analizados en la Silla Voladora.

Silla Voladora	A	B	C
I(A)	3,1	2,4	2,8
U(V)	126,2	120,1	125,8
P(kW)	0,06	0,05	0,12
Q(kVAr)	0,38	0,29	0,33
Fp	0,17	0,17	0,35

Tabla 3.6. Fragmento del comportamiento de los parámetros eléctricos analizados en la Estrella Grande.

Estrella Grande	A	B	C
I(A)	7,7	6,8	7,1
U(V)	125,9	120,1	125,4
P(kW)	0,4	0,33	0,43
Q(kVAr)	0,91	0,74	0,76
Fp	0,4	0,36	0,4

Tabla 3.7. Fragmento del comportamiento de los parámetros eléctricos analizados en los Barquitos Voladores.

Barquitos Voladores	A	B	C
I(A)	9	7,4	8,5
U(V)	125,9	120,2	125,9
P(kW)	0,21	0,19	0,35
Q(kVAr)	1,11	0,88	1,02
Fp	0,19	0,2	0,3

Tabla 3.8. Fragmento del comportamiento de los parámetros eléctricos analizados en la Avioncitos Voladores.

Avioncitos Voladores	A	B	C
I(A)	7	5,5	6,3
U(V)	126	120,2	126
P(kW)	0,17	0,1	0,25
Q(kVAr)	0,87	0,66	0,77
Fp	0,12	0,16	0,3

Tabla 3.9. Fragmento del comportamiento de los parámetros eléctricos analizados en el interruptor principal.

General	1	2	3
I(A)	60,6	61	56,4
U(V)	124,3	118	124
P(kW)	1,97	2,1	2,97
Q(kVAr)	7,31	5,65	6,3
Fp	0,25	0,29	0,41

3.3. Medidas para mejorar la eficiencia energética del sistema eléctrico.

Una vez identificados los principales problemas y analizado el comportamiento de los parámetros eléctricos en los diferentes circuitos con mayores demandas de potencias activas y reactivas y las pérdidas de transformación. A continuación, se proponen las siguientes medidas para mejorar la eficiencia energética del sistema de suministro eléctrico de la empresa en estudio.

Elevado número de motores con bajo rendimiento y potencia.

Con base en el estudio efectuado, se evidencio que los motores utilizados en los aparatos tienen factores de potencia que incluso llegan estar en 0.1 y 0.2. Motores con estas características tienen influencia por bajo factor de potencia en el sistema de suministro eléctrico de la empresa, esto por el hecho de que, una buena parte de la energía eléctrica no es transformada en trabajo útil, pero para generar su campo-magnético, solicitando del sistema eléctrico bastante energía reactiva para su funcionamiento. Este problema puede ser minimizado adoptando algunas medidas preventivas tales como:

- Redimensionar los motores de tal forma que funcionen entre 75% y 90% de sus potencias nominales;
- Certificar que los mismos están instalados en el ambiente y régimen de trabajos adecuados;
- Verificar el alineamiento y eliminar posibles ruidos y vibraciones en los mismo
- Realizar mantenimiento preventivo, a fin de eliminar pérdidas, disminuir costos y aumentar la vida útil de los equipamientos;

Bajo factor de potencia del sistema ($\cos\phi = 0.826$)

Se sabe que un factor de potencia bajo, demuestra que la energía eléctrica está siendo mal aprovechada por la unidad consumidora. Las principales causas del bajo factor de potencia son:

- Todo el equipamiento que exige energía reactiva para su funcionamiento, tales como:

- Motores que trabajan en vacío durante grande parte tiempo;
- Motores no dimensionados para las respectivas cargas;
- Grandes transformadores alimentando pequeñas cargas por mucho tiempo;
- Grande cantidad de motores de pequeña potencia subcargados;

- Pérdidas elevadas en el sistema eléctrico.

Las pérdidas de energía eléctrica ocurren en forma de calor y son proporcionales al cuadrado de la corriente total. Como esa corriente cresce con el exceso de energía reactiva, se establece una relación entre el incremento de las pérdidas y el bajo fator de potencia, provocando el aumento del calentamiento de conductores y equipamientos.

Portanto, para evitar el desperdicio de dinero, de energía y también riesgos eventuales de corrientes por bajo fator de potencia en la empresa en estudio, se proponen las siguientes medidas:

- Certificarse que los motores y equipamientos están dimencionados correctamente;
- Utilizar y operar convenientemente los equipamientos;
- Instalar capacitores donde sea necesario;
- Verficar se existen eventuales falso contactos en los dispositivos de maniobra de protección, remiendos y empalmes mal realizadas en cables y conductores eléctricos. Reparándolos rápidamente o sustituirlos por otros en buenas condiciones.

Resultados esperados si se implementan las medidas propuestas.

Se podrá haber corregido el fator de potencia de 0,17 del sistema eléctrico para valores entre 0,92 y un valor más próximo la unidad, con los siguientes beneficios por la corrección del fator de potencia:

- Los conductores se calientan menos;
- Las pérdidas de energía son reducidas;
- La capacidad de los transformadores alcanza mejor aprovechamiento;
- Aumento de vida útil de los equipamientos;
- Utilización racional de la energía consumida;
- Desaparecimiento de la penalización por el bajo factor de potencia y del consumo de energía reactiva excedente.

Pero es importante que se certifique si hubo mejora en el factor de potencia y la reducción de las pérdidas en el sistema después de implementadas las medidas propuestas por este trabajo, realizándose mediciones para el efecto. De lo contrario se piensa en la corrección del factor de potencia instalando un condensador en los terminales de los devanados del estator de los motores.

Corrección individual del factor de potencia.

En el presente trabajo se propone la corrección individual, eso porque en el parque en estudio tiene instalado solo 11 motores con régimen de trabajo de forma intermitente por lo que el factor de diversidad en el parque es considerablemente alto y esto puede traer consigo sobrecompensación del factor de potencia, es decir, que las cargas son maniobradas durante el proceso productivo a medidas que los niños se montan, lo que hace con que el valor de factor de potencia se altere constantemente. Por esta razón, se propone instalación de un sistema de corrección de factor de potencia individual.

3.4. Cálculo de la capacidad del banco de capacitores necesario para la compensación individual.

Para la compensación de forma individual de motores asíncronos es necesario limitar la potencia reactiva del condensador al 90% de su capacidad para limitar el fenómeno de autoexcitación que el condensador puede provocar en el motor asíncrono provocando sobretensiones en los bornes del estator.

Para determinar la capacidad del banco, se calcula por la fórmula 3.1 con datos nominales del motor a compensar en la instalación en estudio, el consumo depende en gran medida del cliente (los niños), por lo que hace difícil de predecir cuándo va a operar con exactitud un aparato determinado. Para evitar errores en el cálculo se considerarán los valores de chapa de potencia activa, tensión y corriente obtenidos durante la operación del sistema. Los valores podrán diferir sustancialmente de los valores nominales, por causa de las cargas de accionamientos controlados existentes en la instalación.

$$Q_c = 0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_0 \quad 3.1$$

Donde:

Q_c - Capacidad del condensador

I_0 - Corriente de magnetización del motor en vacío

V_n - Tensión nominal del motor

Datos nominales de los motores en el parque infantil.

Para el caso de los motores de los aparatos del **carrusel de pony, Bote, carrusel de aviones, y lancha rápida** todos son iguales en características de chapa, con el siguiente pasaporte.

2.2 kW

E/D 440/255 V, 4.1/7.1 A

Fp=0.87

Por lo tanto, aplicando la ecuación 3.1 se obtiene la capacidad del banco a instalar en estos equipos para su compensación

$$Q_c = 0,9 * \sqrt{3} * 440 * 4,1 = 2.812 \text{ kcVAr} \quad 3.2$$

Por lo tanto, estos motores necesitan un condensador con una capacidad de 2.812 kcVAr

Para el caso de la **Estrella Chiquita** con el siguiente pasaporte

3.5 kW

E/D 440 V, 7 A

Fp= 0,80

Por lo tanto, aplicando la ecuación 3.1 se obtiene la capacidad del banco a instalar en estos equipos para su compensación

$$Q_c = 0,9 * \sqrt{3} * 440 * 7 * 1 = 4,801 \text{ kcVAr} \quad \mathbf{3.3}$$

Por lo tanto, estos motores necesitan un condensador con una capacidad de 4,801 kcVAr

Para el caso de la **Montaña Rusa** con los datos de chapa siguientes

5,5 kW

E/D 440, 7,6

Fp= 0,91

Por lo tanto, aplicando la ecuación 3.1 se obtiene la capacidad del banco a instalar en estos equipos para su compensación

$$Q_c = 0,9 * \sqrt{3} * 440 * 7,6 = 5,206 \text{ kcVAr} \quad \mathbf{3.4}$$

Por lo tanto, estos motores necesitan un condensador con una capacidad de 52,602 kcVAr.

Para el caso de las **sillas voladoras y el avión oscilante** con el pasaporte

5,6 KW

E/D 440, 3,9

Fp= 0,9

Aplicando la ecuación 3.1 para el cálculo de la capacidad del banco capacitor a instalar en los equipos para su compensación.

$$Q_c = 0,9 * \sqrt{3} * 440 * 3,9 = 2,672 \text{ kcVAr} \quad \mathbf{3.5}$$

Por lo tanto, estos motores necesitan un condensador con una capacidad de 2,672 kcVAr

Para el caso del **carrusel caballitos** con el pasaporte

6,2 KW

E/D 440, 17,5

Fp= 0,91

Por lo tanto, aplicando la ecuación 3.1 se obtiene la capacidad del banco a instalar en estos equipos para su compensación

$$Q_c = 0,9 * \sqrt{3} * 440 * 17,5 = 12,003 \text{ kcVAr} \quad \mathbf{3.6}$$

Por lo tanto, estos motores necesitan un condensador con una capacidad de 12,003 kcVAr

3.5 Evaluación económica del trabajo.

El análisis del trabajo está basado en la instalación de condensadores en los terminales de los motores del parque para disminuir en gran medida la transferencia

de potencia reactiva y así, mejorar el factor de potencia y minimizar las pérdidas existentes en la institución.

La instalación de los bancos de condensadores es uno de los métodos más utilizados en la industria, pues disminuye las pérdidas por transferencia de potencia reactiva desde la subestación hasta los consumidores, trayendo considerables ahorros a la economía de la Empresa, lo cual se demuestra a continuación:

➤ **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 3.12. Gastos de adquisición.

Descripción.	kcVAr.	Cantidad	Pecio (CUC)	Total (CUC)
condensadores.	2.812	4	350	3936,8
	4,801	1	87,5	420,09
Firma ERKA	5,206	1	87,5	455,525
	2,672	1	87,5	233,8
	10,276	1	87,5	899,15
Total.				5945,365

Nota: El proveedor de los bancos de condensadores es la firma ERKA

➤ **Gastos de materiales.**

Tabla 3.5 Costos de los accesorios para la instalación de los condensadores.

No.	Descripción	U/M	Cantidad	Costo (CUP)	Costo (CUC)	Costo Total (CUC)
1	Cable de cobre Flex 4X35MM ² aislamiento XLPE cubierta PVC temperatura 90° RV-K 0.6/1KV	M	15	7.45	16.213	354.95
2	Cinta aislante (Teype de goma)	U	1	1.43	6.577	8.01
3	Cinta aislante (Teype eléctrico)	U	2	0.33	0.83	2.32
4	Terminales de 120 mm ²	U	16	5.71	0	91.36
Costo de los materiales						456.63
Imprevistos (5%)						22.83
Costo total de los materiales.						479.47

➤ **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 2trabajadores. La tabla 3.6 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	C. Diario (CUC)	C. Total (CUC)
1	Técnico Medio	1	11.83	106.47
3	Electricista (Categoría B)	1	10.80	97.2
4	Merienda(Total)	20	0.60	12
Costo de salario				215.67
Imprevistos (5%)				10.80
Costo total de salario				226.45

El cálculo de la inversión parcial se determina por la ecuación 3.4.

$$C_m = C_e + C_a + C_s$$

Dónde:

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:

$$C_m = 5945,365 + 479.47 + 226.45 = 6651,285 \text{ (CUC)}$$

➤ Ahorro por concepto de reducción de pérdidas en la institución:

El parque infantil es una instalación pequeña de gran importancia social donde prevalece la utilización de motores para accionamientos de equipos mecánicos para la diversión de los niños del municipio, pero precisamente estos motores necesitan crear campos magnéticos para su funcionamiento energía que no existe

compensación en la institución debe demandar de la red, en la mediciones realizadas se evidencia que el parque demanda más energía reactiva que activa, energía reactiva que con la compensación propuesta no tendrá que demandar por lo que se liberará un 40% de la capacidad del sistema lo que equivale a 800 kWh mensuales dejados de consumir al mes más la penalización por parte de la empresa eléctrica por bajo factor de potencia

Reducción de pérdidas en un año: $(800\text{kWh}) \times 12\text{meses} = (9.6 \text{ MW/Año})$

El consumo promedio de 1 MW/h le cuesta a la institución 180 CUC como tarifa fija para el año 2019.

Ahorro de consumo de MW/año/CUC = $9.6 \times 180 = (1728 \text{ CUC})$

Por lo que:

Ahorro total en un año: (1728 CUC)

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

$$T_{AI} = \frac{\text{Inversión Total}}{\text{Ahorro por año}} \quad 3.2$$

Sustituyendo: $T_{AI} = \frac{3500}{1728}$

$$T_{AI} = 2.025 \text{ años}$$

3.6 Conclusiones parciales.

En el presente capítulo se propuso la organización de las mejoras. Estas 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 cargas si fuera necesario, además, estos trabajarían con temperatura más baja, lo que tendrían un respaldo de respuesta más seguro ante los eventos transitorios en el sistema.

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 en poco tiempo de trabajo

CONCLUSIONES GENERALES

- Se logra caracterizar el consumo de Energía Eléctrica del Parque Infantil de Moa mediante el uso de Herramientas de la Gestión Energética identificándose que el bajo nivel de carga de los motores lo que conlleva a que el factor de potencia de la instalación sea de 0.826, requiriéndose compensarlo de forma individual debido a las características de funcionamiento de los equipos.
- Se estudia el consumo de Potencia Reactiva para determinar variantes de solución para la compensación del reactivo determinándose que para este caso la compensación individual es la más factible, estableciéndose la capacidad de compensación a instalar para cada equipo.

- .

RECOMENDACIONES

- Profundizar el estudio de cargabilidad de motores y el banco de transformadores del parque infantil.
- Con la compensación se debe bajar el ajuste al térmico de los motores debido a que con la compensación individual tiende a disminuir la temperatura en los devanados del estator.
- Queda pendientes para futuras investigaciones el nivel de armónico de tensión y de corrientes en la institución pertinente.

BIBLIOGRAFÍA.

- A., de Queada Martínez. (1988). Optimización de reactivo en circuitos eléctricos industriales. *Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1988.*
- Alfajarrín, Félix Ramón. (2016). Instructivo metodológico para la implementación del software Power Factory.
- Campo A, J; Gómez D, R; Santos M, L. . (1999). La eficiencia energética en la gestión empresarial., *Edit. Universidad de Cienfuegos. 1999.*
- Darroman, Adrian Prades. (2016). Reconfiguración de las redes de 34.5kV y 13.8kV para la implementación de lazos automáticos en los niveles de tensión del municipio Moa.
- dlgSILENT. (2013). tutorial.
- Estrada, G. H; Tovar, J. H. . (2005). Metodología para la localización óptima de condensadores Mediante Sensibilidades Lineales., *Revista del IEEE América Latina. 2005. .*
- Gonzales. (2001). la gestión de la energía.
- guevara, Yuri ladron de. (2016). Reconfiguración de las redes de 34.5kV y 13.8kV para la implementación de lazos automáticos en el municipio de Mayarí.
- Hernández, Ramírez, Gabriel. (2000). Eficiencia en los suministros eléctricos industriales de baja tensión. . *Tesis maestría. ISMM, 2000.*
- IEEE, Instituto de Ingenieros de Electricidad y electronica. (1992). Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia. *IEEE519-1992*
- iniciación, curso de. (2015). Alternativas de reducción de corrientes cortocircuito en subestaciones de media tensión.
- Julio Gómez Sarduy; Noxoly Díaz Stable. (2011). Solución del problema de localización de condensadores en circuitos de distribución primaria mediante algoritmo genético. *Revista Ingeniería Energética. XXXII(3) p 65-74. Cuba.*
- Marrero, Ramírez, Secundino. . (2000). Gestión energética en el sector industrial y de los servicios.
- Martínez, Vicente León. (1997). Método integral para la mejora de la eficiencia y la calidad en el suministro de la energía eléctrica en baja tensión, Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Valencia.
- Mazorra, Soto J. (1986). Metodología para la minimización técnico económica de las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos industriales., *Revista Energía. No 1, 1986.*

P.I, González. (1999). Compensación de la potencia reactiva en sistemas eléctricos., *Geología y Minería*. 1999.

Palma. (2006). Influencia de la carga de los motores asíncronos y su influencia sobre la potencia reactiva.

ANEXOS

Avión Oscilante	F.P	S	P	Q	V	I
11:00	- 0,71	0,37	0,22	- 0,30	123,10	17,10
12:00	- 0,70	0,39	0,23	- 0,32	126,40	3,20
13:00	- 0,69	0,40	0,23	- 0,33	125,00	3,40
14:00	- 0,64	0,42	0,24	- 0,35	124,00	16,20
15:00	- 0,63	0,44	0,24	- 0,36	124,00	17,50
16:00	- 0,62	0,45	0,25	- 0,38	124,32	16,30
11:00	- 0,62	0,46	0,25	- 0,39	124,26	17,20
12:00	- 0,62	0,48	0,26	- 0,41	124,20	17,25
13:00	- 0,60	0,50	0,26	- 0,42	124,14	17,43
14:00	- 0,59	0,51	0,26	- 0,44	124,08	17,61
15:00	- 0,59	0,53	0,27	- 0,45	124,02	17,79
16:00	- 0,58	0,54	0,28	- 0,47	123,96	17,97
11:00	- 0,58	0,56	0,28	- 0,48	123,90	18,15
12:00	- 0,57	0,57	0,28	- 0,50	123,84	18,33
13:00	- 0,55	0,59	0,29	- 0,51	123,78	18,51
14:00	- 0,54	0,60	0,29	- 0,53	123,72	18,69
15:00	- 0,52	0,62	0,30	- 0,54	123,66	18,87
16:00	- 0,50	0,62	0,28	- 0,56	123,60	19,05
Avión	F.P	S	P	Q	V	I
11:00	- 0,19	0,82	0,53	- 0,63	123,00	7,60
12:00	- 0,20	1,29	0,93	- 0,90	123,80	7,50
13:00	- 0,21	0,37	0,14	- 0,34	125,70	3,50
14:00	- 0,22	0,38	0,14	- 0,35	124,47	3,67
15:00	- 0,22	0,35	0,14	- 0,32	125,70	4,00
16:00	- 0,23	0,36	0,13	- 0,34	125,60	3,55
11:00	- 0,24	0,38	0,14	- 0,35	126,40	3,60
12:00	- 0,24	0,37	0,14	- 0,34	125,60	3,54
13:00	- 0,25	0,41	0,40	- 0,11	128,20	25,60
14:00	- 0,25	0,40	0,38	- 0,11	127,00	6,20
15:00	- 0,26	0,36	0,14	- 0,33	127,30	3,90
16:00	- 0,26	0,35	0,14	- 0,32	126,80	4,00
11:00	- 0,26	0,35	0,13	- 0,33	124,00	3,50
12:00	- 0,27	0,36	0,13	- 0,34	127,20	5,00
13:00	- 0,28	0,41	0,40	- 0,11	127,30	27,00
14:00	- 0,29	0,38	0,15	- 0,35	127,00	3,70
15:00	- 0,29	0,38	0,14	- 0,35	126,70	3,60
16:00	- 0,65	0,37	0,13	- 0,35	125,00	3,60

Carrusel Avión	F.P	S	P	Q	V	I
11:00	- 0,36	0,52	0,19	- 0,48	124,70	4,30
12:00	- 0,38	0,51	0,15	- 0,49	126,00	4,30
13:00	- 0,38	0,56	0,18	- 0,53	126,80	4,30
14:00	- 0,38	0,55	0,16	- 0,53	126,00	4,20
15:00	- 0,38	0,52	0,16	- 0,49	125,60	4,40
16:00	- 0,38	0,56	0,17	- 0,53	125,70	4,40
11:00	- 0,38	0,56	0,15	- 0,54	125,80	4,30
12:00	- 0,38	0,51	0,17	- 0,48	125,50	4,20
13:00	- 0,39	0,51	0,19	- 0,47	125,60	4,30
14:00	- 0,39	0,50	0,18	- 0,47	125,70	4,30
15:00	- 0,39	0,51	0,18	- 0,48	125,80	4,30
16:00	- 0,39	0,52	0,18	- 0,49	125,80	4,40
11:00	- 0,39	0,51	0,18	- 0,48	125,60	4,30
12:00	- 0,40	0,53	0,17	- 0,50	125,80	4,30
13:00	- 0,40	0,51	0,16	- 0,49	125,70	4,30
14:00	- 0,40	0,54	0,17	- 0,51	125,80	4,20
15:00	- 0,40	0,55	0,17	- 0,52	125,80	4,30
16:00	- 0,40	0,56	0,18	- 0,53	125,80	4,50

Carrusel Caballitos	F.P	S	P	Q	V	I
11:00	0,20	1,94	0,31	1,92	124,00	16,20
12:00	0,22	2,02	0,45	1,97	124,00	17,50
13:00	0,22	2,09	0,80	1,93	122,70	16,30
14:00	0,22	1,99	0,47	1,93	125,20	17,20
15:00	0,23	2,06	0,72	1,94	124,55	17,25
16:00	0,23	2,09	0,80	1,93	124,78	17,43
11:00	0,24	2,12	0,88	1,93	125,01	17,61
12:00	0,24	2,16	0,96	1,93	125,24	17,79
13:00	0,24	2,20	1,05	1,93	125,47	17,97
14:00	0,25	2,24	1,13	1,93	125,70	18,15
15:00	0,25	2,28	1,21	1,93	125,93	18,33
16:00	0,26	2,32	1,30	1,93	126,16	18,51
11:00	0,26	2,37	1,38	1,93	126,39	18,69
12:00	0,26	2,42	1,46	1,93	126,62	18,87
13:00	0,27	2,47	1,55	1,93	126,85	19,05
14:00	0,28	2,52	1,63	1,92	127,08	19,23
15:00	0,29	2,57	1,71	1,92	127,31	19,41
16:00	0,29	2,63	1,79	1,92	127,54	19,59

Carrusel Pony	F.P	S	P	Q	V	I
11:00	- 0,20	0,41	0,40	- 0,10	128,00	27,50
12:00	- 0,21	0,41	0,39	- 0,11	126,60	6,00
13:00	- 0,22	0,37	0,14	- 0,34	125,70	3,50
14:00	- 0,22	0,38	0,14	- 0,35	124,47	3,67
15:00	- 0,23	0,35	0,14	- 0,32	125,70	4,00
16:00	- 0,24	0,36	0,13	- 0,34	125,60	3,55
11:00	- 0,24	0,38	0,14	- 0,35	126,40	3,60
12:00	- 0,25	0,37	0,14	- 0,34	125,60	3,54
13:00	- 0,25	0,41	0,40	- 0,11	128,20	25,60
14:00	- 0,26	0,40	0,38	- 0,11	127,00	6,20
15:00	- 0,26	0,36	0,14	- 0,33	127,30	3,90
16:00	- 0,26	0,35	0,14	- 0,32	126,80	4,00
11:00	- 0,27	0,35	0,13	- 0,33	124,00	3,50
12:00	- 0,28	0,36	0,13	- 0,34	127,20	5,00
13:00	- 0,29	0,41	0,40	- 0,11	127,30	27,00
14:00	- 0,29	0,38	0,15	- 0,35	127,00	3,70
15:00	- 0,96	0,38	0,14	- 0,35	126,70	3,60
16:00	- 0,98	0,37	0,13	- 0,35	125,00	3,60
Estrella Chiquita	F.P	S	P	Q	V	I
11:00	- 6,12	0,88	0,10	- 0,87	121,00	62,50
12:00	- 0,96	1,01	0,03	- 1,01	124,10	7,90
13:00	- 0,93	1,09	0,40	- 1,01	124,60	8,40
14:00	- 0,91	1,08	0,28	- 1,04	127,00	8,50
15:00	- 0,89	1,16	0,60	- 0,99	124,00	9,30
16:00	- 0,88	0,36	0,13	- 0,34	124,80	8,30
11:00	- 0,87	0,38	0,14	- 0,35	124,80	8,20
12:00	- 0,86	0,37	0,14	- 0,34	124,70	8,30
13:00	- 0,85	0,41	0,40	- 0,11	122,00	62,20
14:00	- 0,84	0,40	0,38	- 0,11	124,00	8,00
15:00	- 0,83	0,36	0,14	- 0,33	124,30	7,70
16:00	- 0,79	0,35	0,14	- 0,32	124,60	7,90
11:00	- 0,69	0,35	0,13	- 0,33	124,00	8,00
12:00	- 0,62	0,36	0,13	- 0,34	125,60	8,10
13:00	- 0,62	0,41	0,40	- 0,11	122,00	62,50
14:00	- 0,55	0,38	0,15	- 0,35	126,00	7,50
15:00	- 0,49	0,38	0,14	- 0,35	124,90	9,00
16:00	- 0,48	0,37	0,13	- 0,35	124,90	8,80

Lancha Rápida	F.P	S	P	Q	V	I
11:00	0,23	0,32	0,09	- 0,31	128,20	2,70
12:00	0,23	0,22	0,03	- 0,22	126,00	2,60
13:00	0,23	0,27	0,05	- 0,27	125,00	1,80
14:00	0,23	0,18	0,03	- 0,18	128,20	2,60
15:00	0,23	0,33	0,09	- 0,32	126,00	2,70
16:00	0,18	0,34	0,03	- 0,34	125,00	2,60
11:00	0,18	0,35	0,05	- 0,35	125,00	1,80
12:00	0,14	0,34	0,03	- 0,34	125,60	2,70
13:00	0,14	0,12	0,05	- 0,11	125,00	2,60
14:00	0,14	0,11	0,03	- 0,11	125,00	1,80
15:00	0,14	0,34	0,09	- 0,33	126,00	2,60
16:00	0,14	0,35	0,14	- 0,32	125,00	2,70
11:00	0,14	0,35	0,13	- 0,33	125,00	2,60
12:00	0,05	0,36	0,13	- 0,34	126,00	2,60
13:00	0,05	0,41	0,40	- 0,11	125,00	1,80
14:00	0,05	0,38	0,15	- 0,35	125,00	2,60
15:00	0,05	0,38	0,14	- 0,35	126,00	2,70
16:00	0,05	0,37	0,13	- 0,35	128,10	2,60
Montaña Rusa	F.P	S	P	Q	V	I
11:00	- 0,14	1,11	0,88	0,67	128,00	8,00
12:00	- 0,15	0,69	0,09	0,68	121,40	7,30
13:00	- 0,66	0,67	0,18	0,65	125,80	6,20
14:00	- 0,66	0,68	0,18	0,66	126,00	6,30
15:00	- 0,67	0,68	0,21	0,65	125,60	7,20
16:00	- 0,77	0,70	0,21	0,67	125,70	6,30
11:00	- 0,87	0,71	0,20	0,68	125,80	6,20
12:00	- 0,98	0,74	0,31	0,67	125,50	6,50
13:00	- 1,08	0,73	0,23	0,69	125,60	6,50
14:00	- 1,18	0,72	0,30	0,66	125,70	6,20
15:00	- 1,29	0,72	0,27	0,67	125,80	6,30
16:00	- 1,39	0,70	0,16	0,68	125,80	6,30
11:00	- 1,49	0,69	0,16	0,67	125,60	7,20
12:00	- 1,60	0,73	0,19	0,70	125,80	6,20
13:00	- 1,70	0,71	0,18	0,69	125,70	6,20
14:00	- 1,81	0,72	0,23	0,68	125,80	6,20
15:00	- 1,91	0,72	0,23	0,68	125,80	6,30
16:00	- 2,01	0,73	0,27	0,68	125,80	6,20

Silla Voladora	F.P	S	P	Q	V	I
11:00	- 0,22	0,44	0,07	0,43	126,00	3,50
12:00	- 0,21	0,43	0,05	0,43	125,40	3,60
13:00	- 0,21	0,45	0,07	0,44	125,00	3,60
14:00	- 0,20	0,45	0,07	0,44	127,10	3,60
15:00	- 0,20	0,44	0,07	0,43	124,30	3,70
16:00	- 0,20	0,44	0,07	0,43	126,60	3,50
11:00	- 0,20	0,44	0,07	0,43	126,40	3,60
12:00	- 0,20	0,44	0,07	0,43	125,60	3,60
13:00	- 0,19	0,45	0,08	0,44	126,60	3,70
14:00	- 0,19	0,46	0,08	0,45	125,00	3,50
15:00	- 0,19	0,44	0,08	0,43	127,10	3,50
16:00	- 0,19	0,44	0,08	0,43	124,30	3,60
11:00	- 0,19	0,44	0,08	0,43	126,40	3,60
12:00	- 0,18	0,44	0,09	0,43	125,60	3,60
13:00	- 0,17	0,45	0,09	0,44	126,60	3,70
14:00	- 0,17	0,45	0,09	0,44	125,00	3,50
15:00	- 0,16	0,44	0,09	0,43	127,10	3,60
16:00	- 0,11	0,44	0,09	0,43	125,00	3,60



Ministerio de Energía y Minas

Empresa Eléctrica
CARRETERA CENTRAL # 15
E/MARTI Y HOLGUIN

HOLGUÍN

No. de Factura: OP4199
Factura de Consumo de Electricidad MN

e-mail: yunet@elechol.une.cu
Teléf.: 423702 Fax: 425114
REUP: 104 0 09090

Fecha: 05/2019

Cliente

Empresa: UPR MUNICIPAL DE SERVICIOS COMUNALES MOA
Cuenta Bancaria: 1272742085210014 Cod.Postal:83310
Dirección: AVE CALIXTO GARCIA RPTO CARIBE MOA

CODMLC: 0000
Factor k: 3.8137

Consumo de Energía Eléctrica

Control	Ruta	Folio	Nombre del servicio	Tarifa	Consumo kWH	C Perdida kWH	Cons. Total kWH	Penal. \$	Bonif. \$	Total \$
Moa	M1	0002	Tarja Angel Romero Vidiaux	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M1	0080	OFICINA COMUNALES	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M1	0340	PARQUE C. LAS AURORAS	B1	7	0	7	0.00	0.00	1.57
Moa	M1	0435	PARQUE PISTA PACHO ALONSO	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M1	0450	FUENTE LUMINOSA	B1	35	0	35	0.00	0.00	7.87
Moa	M1	0550	LA FLORERIA	B1	105	0	105	0.00	0.00	23.61
Moa	M1	0601	PARQUE PEDRO SOTO ALBA	B1	7	0	7	0.00	0.00	1.57
Moa	M1	0620	FUNERARIA	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M1	0905	PARQUE ECOLOGICO	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M1	1195	PARQUE EL ENCANTO	B1	14	0	14	0.00	0.00	3.15
Moa	M1	1980	PARQUE INFANTIL	B1	7	0	7	0.00	0.00	1.57
Moa	M1	1990	PARQUE CENTRAL	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M1	2290	EMP COMUNALES	M1C	510	50	560	0.00	0.00	160.08
Moa	M1	2300	TALLER COMUNALES	B1	420	0	420	0.00	0.00	94.45
Moa	M1	2850	PARQUE HATUEY	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M1	2995	ZONA 3 COMUNALES	B1	7	0	7	0.00	0.00	1.57
Moa	M2	0040	PARQUE COMUNALES	B1	210	0	210	0.00	0.00	47.22
Moa	M2	0140	PARQUE COMUNALES	B1	14	0	14	0.00	0.00	3.15
Moa	M2	0250	CEMENTERIO SAN FERNANDO	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M2	0400	PARQUE COMUNALES	B1	14	0	14	0.00	0.00	3.15
Moa	M2	0700	FUENTE LUMINOSA	M1C	151	199	350	0.00	0.00	91.30
Moa	M2	0745	PARQUE ATLANTICO	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M2	0815	PARQUE SAMIÑON	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M2	0840	PARQUE LAS ALMENDRAS	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Moa	M2	1110	SERVICIO COMUNALES	B1	7	0	7	0.00	0.00	1.57
Moa	M2	1320	MALECON PTE LOS LOROS	B1	0	0	0	0.00	0.00	0.00