



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

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de Ingeniero Eléctrico

*Título: Mejoras en el Sistema Eléctrico de la Empresa de
Logística Agropecuaria 1ro de Mayo de Holguín*

Autor: Alejandro Rafael Basulto Peña.

Tutor: M.Sc. Odalys Robles Laurencio.

Consultantes: Ing. Aniutka Soriano Hijuelos

M.Sc. Ramón Remedios Leyva

*“Año 55 de la Revolución”
Moá, 2013*



DECLARACION DE AUTORIDAD

Yo Alejandro Rafael Basulto Peña autor del trabajo de diploma **Mejoras en el Sistema Eléctrico de la Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de MAYO de Holguín** certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes, educativos e investigativos.

Alejandro R. Basulto Peña
(Diplomante)

M.Sc. Odalys Robles Laurencio
(Tutor)



PENSAMIENTO

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein.



AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a la Revolución: por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional.
- A mi tutora Odalys Robles Laurencio, a mis consultantes Aniutka Soriano Hijuelos y Ramón Remedios Leyva por ayudarme en este momento tan importante de mi vida y por darme el apoyo incondicional en la confección de este trabajo.
- Quiero agradecer a los compañeros Anelys Borjas Hernández y Armando Augier Prieto de la empresa INEL Holguín por ayudarme en el desarrollo del trabajo.
- A mis padres y abuelos: por ser los mejores padres del mundo, por darnos la excelente educación que nos dieron a mi hermana y a mí por la entrega y dedicación que han tenido a lo largo de los años y por ayudarme en los momentos difíciles.
- A mi novia por estar a mi lado en todo momento y por darme las fuerzas necesarias para la creación de este proyecto.
- Al colectivo de eléctricos de la empresa CEDAI de Holguín por brindarnos su apoyo.
- A Fernando Perasmo Heredia le agradezco la experiencia adquirida laboralmente que siempre ha estado cerca de mí transmitiéndome sus conocimientos.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

- A mi padre por ser mi fiel amigo y a mi madre por ser la mujer que más quiero en la vida. Juntos me dieron la vida, la fuerza, el apoyo, la confianza, la voluntad, y me guiaron para luchar por lograr mis sueños. A los cuales agradezco por existir, por confiar en mí, por no cansarse, por estar siempre, por ser sencillamente especiales. Aunque toda una vida no alcanzara para recompensarlos, quisiera que alcanzara al menos para hacerlos sentir orgullosos, para agradecerles y demostrarles que cuanto soy y tengo es gracias a ustedes porque este maravilloso sueño es de ustedes también. Los quiero mucho.
- A mi hermana que siempre fue mi guía y estuvo cerca de mí en todo momento para poder cumplir el sueño de nuestros padres.
- A mis abuelos maternos y abuela paterna que siempre están presente en mi corazón.
- A la familia maravillosa que tengo por creer siempre en mí e incitarme a seguir adelante
- A mis amigos y compañeros de mi centro laboral que sin ellos no hubiese sido posible la realización de este trabajo.



RESUMEN

En el presente trabajo se observa la necesidad de investigar sobre la eficiencia energética en los sistemas eléctricos con el objetivo de conocer el comportamiento de las variables eléctricas en los mismos y evaluar esencialmente las pérdidas de potencia y tensión, así como el factor de potencia. Esta es una tarea vital en todos los sistemas en general y el país en su programa de ahorro de energía estimula a entender que no es solo una necesidad, es una obligación.

En el Capítulo I, se establece el Marco Teórico de la Investigación; se realiza una caracterización de la empresa, de su sistema eléctrico y de los conocimientos base para el desarrollo de la misma.

En el capítulo II, se determinan las variables que mas incidencia tienen en la eficiencia de un sistema eléctrico con el uso de software como Excel y EasyPower sobre la base de la metodología que se detalla en la tesis, se evalúan las mismas y se proponen medidas con el objetivo de disminuir las pérdidas y compensar el factor de potencia que se comporta muy fluctuante.

En el Capítulo III, se hace una valoración técnica y económica para saber si es factible lo que se propone. También se muestra una valoración de la influencia del trabajo en lo social y medioambiental.



SUMMARY

In the present work is observed the necessity to investigate about the energy efficiency in the electric systems with the objective of to know the behaviour of the electric variables in the same ones and to evaluate the losses of power and tension essentially, as well as the power factor. This is a vital task in all the systems in general and the country in its energy saving program stimulates to understand that it is not alone a necessity, is an obligation.

In the Chapter I, the Theoretical Marco of the Investigation settles down. It is carried out a characterization of the company, of their electric system and of the knowledge base for the development of the same one.

In the chapter II, the variables are determined that but incidence has in the efficiency of an electric system with the software use like Excel and EasyPower on the base of the methodology that is detailed in the thesis, the same ones they are evaluated and they intend measures with the objective of to diminish the losses and to compensate the power factor that behaves very fluctuating.

In the Chapter III, a technical and economic valuation is made to know if it is feasible what intends. A valuation of the influence of the work is also shown in the social and environmental.



Índice

INTRODUCCION GENERAL.....	1
Situación Problemática.....	3
Problema.....	3
Hipótesis.....	3
Objetivo General.	3
Tareas Específicas.....	3
Resultados esperados.....	4
CAPÍTULO 1: Marco Teórico.	5
1.1 Introducción.	6
1.2 Estado del arte. Trabajos relacionados con el tema.	6
1.3 Caracterización de la Empresa.	8
1.3.1 Caracterización del sistema eléctrico de la empresa.	9
1.3.2 Régimen de trabajo del transformador de distribución.	10
1.3.3 Levantamiento de la carga.	11
1.4.1 Características del Analizador de redes utilizado.....	13
1.4.2 Fundamentación teórica utilizada.....	15
1.5 Conclusiones del capítulo.....	18
CAPÍTULO 2: Análisis de las pérdidas eléctricas y propuesta de mejoras. ..	19
2.1 Introducción.	20
2.2 Comportamiento de la carga. Cálculo de las pérdidas eléctricas y otros parámetros en el sistema.	20
2.2.1 Cálculo de las pérdidas eléctricas y otros parámetros en el sistema.	25
2.3 Análisis de las pérdidas eléctricas y otros parámetros en el sistema.	27
2.4 Mejoras para minimizar las pérdidas en un sistema eléctrico.	28
2.4.1 Uso de condensadores en los sistemas eléctricos de una empresa.	28
2.5 Propuesta de medidas para minimizar las pérdidas eléctricas en el sistema en estudio.....	30
2.5.1 Análisis histórico del comportamiento del factor de potencia. Año 2012 y Mayo 2013	31
2.5.2 Análisis del comportamiento de las potencias y el factor de potencia.....	33
2.5.3 Equipos que más afectan el factor de potencia.....	33
2.5.4 Determinación de la potencia reactiva para el cálculo del banco de capacitores.....	36
2.5.5 Análisis del comportamiento de los armónicos.	37
2.5.6 Gráficos del comportamiento horario de la potencia reactiva consumida con compensación.	40
2.5.7 Especificaciones de la propuesta del banco a utilizar.	41
2.5.8 Conclusiones de la compensación.	41
2.6 Conclusiones del capítulo.....	42
CAPÍTULO 3: Valoración Técnica y Económica.	43
3.1. Introducción.	44
3.2 Valoración económica del trabajo.	44
3.3 Impacto socio-medioambiental.....	46
3.4 Conclusiones del capítulo.....	47
Conclusiones Generales	48



Recomendaciones	49
Bibliografía	50
Anexos	53



INTRODUCCION GENERAL

Los recursos energéticos son el conjunto de medios con los que los países del mundo intentan cubrir sus necesidades de energía eléctrica. La energía es la base de la civilización industrial; sin ella la vida moderna dejaría de existir. Durante la década del setenta, el mundo empezó a ser consciente de la vulnerabilidad de los recursos energéticos. A largo plazo es posible que las prácticas de conservación de energía proporcionen el tiempo suficiente para explorar nuevas posibilidades tecnológicas. Mientras tanto, el mundo seguirá siendo vulnerable a trastornos en el suministro de petróleo, que después de la II Guerra Mundial se ha convertido en la principal fuente de energía en Cuba y al igual que la mayoría de los países insulares, carece de recursos energéticos y satisfacen la mayor parte de sus necesidades para el transporte, siendo la transformación en menor medida para la producción de electricidad con la importación de combustibles fósiles. Esta dependencia de los combustibles fósiles es general en el mundo contemporáneo.

Aún cuando se alcancen altos niveles de participación de las fuentes nacionales de energía en el balance energético nacional, los combustibles convencionales (gas y petróleo) mantendrán su aporte determinante dentro del contexto nacional y seguirá la dependencia de combustibles importados para determinados sectores. Por el papel que para el crecimiento del país tiene el desarrollo del sector energético, por las implicaciones que para el medio ambiente tiene el uso de los combustibles fósiles, por su agotabilidad y por la dependencia económica que cada día es mayor debido a la subida de los precios de los combustibles importados, es de vital importancia para el país la formación de una cultura general en la población que favorezca, unido al incremento de la eficiencia energética y del uso de las fuentes renovables de energía, la sostenibilidad del crecimiento del país.

En Cuba, como la mayor parte de los países de nuestro continente, enfrenta varios desafíos, siendo probablemente el más importante el referido a su integración en la economía mundial, para lo cual requiere elevar cada vez más, su nivel de competitividad.



Durante los últimos años, el estado cubano ha efectuado una reforma económica, que viene empujando la modernización de nuestro país. Una de esas medidas ha consistido en el desarrollo del mercado energético, teniéndose en la actualidad los precios y las tarifas en sus valores reales. Esto, sumado al logro de una menor inflación y devaluación, permite que la población y los agentes productivos y de servicios puedan realizar acciones de ahorro de energía, y ver los frutos de sus esfuerzos, que de no haber una estabilidad económica no podrían percibirse.

Desde el año 2000, el Ministerio de industria básica (MINBAS) viene desarrollando una campaña informativa de ahorro de energía muy intensa a nivel del sector residencial, que tiene como objetivo la mejora de los hábitos de consumo de la población y la inducción al uso de equipos eficientemente energéticos, habiéndose obtenido hasta la fecha resultados muy favorables para el país.

A nivel del sector productivo y de servicios, el objetivo es lograr el desarrollo de los programas de ahorro de energía a través de la formación y dinamización de un mercado de eficiencia energética. En ese mercado, el lado de la demanda de servicios de eficiencia energética lo constituyen las empresas industriales, comerciales, esencialmente.



FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Situación Problemática.

Hace 20 años aproximadamente que la **Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de MAYO de Holguín** se ha estado penalizando dicha entidad por parte de la empresa eléctrica, debido a su bajo factor de potencia, esto está condicionado desde sus inicios por la compensación fija de un banco de capacitores y la existencia de motores asincrónicos subcargados, contribuyendo a la existencia de notables pérdidas de energía. También la base técnica es prácticamente nula.

Problema.

Existencia de notables pérdidas de potencia eléctrica y bajo factor de potencia en la **Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de MAYO de Holguín**.

Hipótesis.

Si se caracterizan adecuadamente las cargas y se analizan los parámetros eléctricos, se pueden conocer las pérdidas de potencia eléctricas y causas del bajo factor de potencia en la Empresa y proponer medidas para su disminución y lograr el mejoramiento del sistema eléctrico en la **Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de MAYO de Holguín**.

Objetivo General.

Lograr mejoras en el Sistema Eléctrico en la **Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de MAYO de Holguín**.

Para lograr el objetivo general que se propone en el trabajo, se deben desarrollar las siguientes tareas específicas.

Tareas Específicas.

1. Caracterizar las cargas y sistema eléctrico en general de la empresa.
2. Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos del sistema en estudio.
3. Proponer medidas que minimicen los elementos que influyen en la eficiencia del sistema en estudio.



4. Evaluar técnica y económicamente las mejoras a implementar.
5. Hacer uso de técnicas computacionales como el Excel, el EasyPower y otros.

Resultados esperados.

Los resultados esperados al introducir mejoras en el sistema eléctrico en estudio, serían:

- **Diagrama monolineal de la empresa**

Realización de un arduo trabajo de campo que contemple el levantamiento de todas las cargas con sus datos nominales que conduzca a la obtención del diagrama monolineal eléctrico como base para este trabajo y otros, útil para el personal interno y externo de la empresa.

- **Disminución de pérdidas de potencia en el sistema eléctrico.**

Al aplicar determinadas mejoras en el sistema, traería consigo la disminución de la potencia reactiva que circula por las líneas y con ello la disminución de la corriente inductiva que pasa a través de los conductores, logrando así una disminución en las pérdidas de energía en los mismos.

- **Un menor costo de energía eléctrica.**

Al disminuir la corriente en las líneas eléctricas, se mejora el factor de potencia, se eliminarían las penalizaciones por mantener un bajo factor de potencia, revirtiéndose en la bonificación por parte de la empresa eléctrica hacia la empresa.



CAPÍTULO 1: Marco Teórico.

- 1.1 Introducción.
- 1.2 Estado del arte. Trabajos relacionados con el tema.
- 1.3 Caracterización de la empresa.
- 1.4 Métodos para la determinación de las pérdidas de potencia en una instalación.
- 1.5 Conclusiones del capítulo.

1.1 Introducción.

La reducción de la demanda, del consumo de energía, de los costos asociados con ellos y con las inversiones capitales en los equipos eléctricos utilizados en las instalaciones industriales y de servicio, resulta imprescindible en la situación actual de la economía de nuestro país. Esta necesidad resulta potenciada por el impacto medioambiental de las tecnologías energéticas.

Reducir la factura mensual de energía eléctrica debe ser un desafío continuo. Para muchas plantas industriales reducir costes eléctricos significa limitar el pico de demanda o instalar sistemas de ahorro de energía, varias son las medidas para el ahorro en sistemas eléctricos de empresas industriales, pero hay una parte de la factura que puede ser reducida sin alterar la utilización de la energía.

Es importante caracterizar los componentes del sistema eléctrico estudiado, para el cual se debe conocer los datos nominales, realizar mediciones de los diferentes parámetros eléctricos, así como tener el conocimiento tecnológico de las instalaciones involucradas.

1.2 Estado del arte. Trabajos relacionados con el tema.

Entre los trabajos revisados en esta temática se encuentran:

Estrada y Tovar (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. Técnicamente, una acción de compensación se acepta cuando reduce las pérdidas. El aspecto económico restringe cada acción aceptada técnicamente para que esta sea rentable. Para evitar soluciones no aplicables y considerar costos reales de bancos, sólo capacidades comerciales de estos son consideradas en este trabajo. Para evaluar las diferentes alternativas económicas, se hace uso del método de valor presente. Se presentan ejemplos con sistemas de distribución de diferente tamaño a fin de discutir la metodología propuesta.

Viego y Armas (2006) expone los factores que influyen en la calidad de la energía y como prevenirlos, se abarca un capítulo completo para el mejoramiento del factor

de potencia, pues este es uno de los factores que más problemas ocasiona en la industria y es el más fácil de corregir, en él se abordan varios métodos para corregir el factor de potencia pero no se tiene en cuenta a la hora de realizar el balance económico el gasto por la mano de obra en la instalación del elemento compensador.

Romeu y de la Fe (2008) propone una metodología para la selección óptima de capacitores y su ubicación para la mejora del factor de potencia pero por medio de la inteligencia artificial, usando algoritmos genéticos, el cual resuelve problemas con un alto grado de complejidad pero con un resultado excelente. En él se tiene en cuenta la disminución de las pérdidas, el costo de los capacitores y de la mano de obra, propone 2 variantes en diferentes circuitos, obteniendo resultados excelentes.

López (2004) expone las causas, efectos y soluciones del factor de potencia, este aborda el efecto de los convertidores electrónicos y cargas no lineales en específico, no aborda mucho las cargas lineales sino que se centra en los convertidores electrónicos, los cuales son muy usados en la industria y causan un efecto indeseado en el sistema de distribución de la energía de la empresa.

Viego y Armas (2006) expone los problemas que causa un bajo factor de potencia sobre los conductores y transformadores; además expone el problema de los motores asíncronos sobre este, aborda el tema de la tarifa eléctrica y de como esta se ve afectada por el factor de potencia.

Carrillo y Gabriel (2001) propone una metodología mediante algoritmos genéticos para la selección de capacitores, además expone el efecto de la potencia reactiva sobre conductores y transformadores. En este trabajo no se tienen en cuenta elementos como las variaciones de voltajes, sino que se centra en la mejora del factor de potencia solo con fines de la bonificación por parte de la empresa eléctrica.

En general todos los trabajos relacionados expresan como mejorar los indicadores



de eficiencia, disminuir las pérdidas de potencia y de tensión, ubicar los capacitores en sistemas de distribución de manera que compensen la potencia reactiva que es tan útil, pero a la vez delicada para controlar el estado estable en un sistema eléctrico.

En todo este análisis y el que sigue en la tesis se utilizaron algunos métodos investigativos tales como:

Análisis y Síntesis: En el análisis del comportamiento del sistema de la empresa de Logística Agropecuaria 1ro de Mayo de Holguín, se tomaron en cuenta los antecedentes en la misma y la influencia de trabajos precedentes en otras empresas con una situación problemática parecida a la nuestra.

Histórico-Lógico: En el análisis y la comprensión de la estadística histórica de la empresa en cuanto al consumo de energía y al uso eficiente que se le ha dado a la instalación y como ha influido en los indicadores desde hace 20 años atrás.

1.3 Caracterización de la Empresa.

La Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de Mayo de Holguín, subordinada al Grupo Empresarial de Logística del ministerio de la agricultura, se encuentra ubicada en la carretera Central No 231 (vía Bayamo) municipio de Holguín, Provincia Holguín.

Geográficamente ocupa un área de fabricación ascendente a 18637,41 metros cuadrados, colinda por el este con la línea de ferrocarril Holguín Cacocun, vía a Bayamo y el DIVEP-SIME; por el norte con viviendas particulares y una pequeña calle sin nombre; y por el sur con la empresa de comercio, el Servicentro Oro Negro y viviendas particulares.

Esta instalación antes del triunfo de la Revolución pertenecían a la compañía norteamericana "POWER EQUIPMENTS COMPANY", la cual fue nacionalizada mediante la resolución # 3 del poder ejecutivo de fecha 24 de Octubre de 1960 y terrenos propiedad de los señores José Muñoz Fernández y Gloria María Cuadren Martí. Una vez confiscada, se subordina al departamento de Industria del Instituto

Nacional de Reforma Agraria como empresa de servicio y distribución (ESD-11). Posteriormente comenzó a denominarse Empresa de servicios de maquinaria agrícola de Oriente (ESMAO) y se denomina más tarde Centro de Servicios Técnicos Automotores (CSTA), en el año 1968 adopta el nombre de planta “PRIMERO de MAYO”, subordinado al ministerio de la Agricultura y el 15 de diciembre de 1976 inicia sus funciones como Empresa Central de Talleres Agropecuarios “Primero de Mayo”.

El 9 de diciembre del año 2008, por la resolución No. 625, el Ministro de Economía y Planificación José Luís Rodríguez García acordó realizar el cambio del objeto social de la empresa (Empresa Central de Talleres Agropecuarios) ECTA “1ro de mayo”, la cual está integrada al grupo empresarial de logística, subordinado al Ministerio de la Agricultura, por **Empresa de logística Agropecuaria 1ro de Mayo de Holguín**.

La misión de la empresa es como sigue:

Misión: Satisfacer las necesidades de producción metalmecánica y de servicios técnicos especializados a entidades agropecuarias e industriales con alta calidad, eficiencia y eficacia.

1.3.1 Caracterización del sistema eléctrico de la empresa.

Antes de realizar el análisis de cualquier circuito eléctrico y de buscar alternativas de ahorro de energía se hace necesario, caracterizar de manera global el suministro de energía eléctrica en la instalación objeto de análisis. La Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de Mayo, es un cliente que se incluye en la 2da categoría, teniendo en cuenta que la ausencia de electricidad implicaría pérdidas a la economía del país. La energía eléctrica proviene de un solo punto de alimentación, del Circuito de distribución primaria número 17 del municipio Holguín, llega a la subestación de la empresa y es transformada por un banco de transformadores de 500 kVA, sumergido en aceite, el cual es el encargado de garantizar el suministro a los 3 ramales fundamentales en los que divide el sistema dentro de la empresa. La entidad tiene contratada a la empresa eléctrica una

demanda de 95 kW, pero su demanda máxima oscila entre 24 y 80 kW.

El sistema eléctrico de la empresa se muestra a través de los anexos 1, 2, 3 y 4, definiéndose como: el esquema monolineal principal del sistema eléctrico de la empresa, el circuito de maquinado, el circuito de soldadura, desarrollo y mantenimiento y el circuito de administración, respectivamente.

1.3.2 Régimen de trabajo del transformador de distribución.

El transformador es uno de los dispositivos eléctricos más utilizados, fundamentalmente en relación con la transmisión y distribución de la energía eléctrica. La transportación de la energía eléctrica a grandes distancias requiere de voltajes elevados para lograr una alta eficiencia. No obstante, es necesario reducir considerablemente tales niveles de voltajes a magnitudes que permitan su utilización práctica sin que exista riesgo para la vida de los consumidores. En varias ocasiones no se dispone de un transformador trifásico o no se justifica su uso y para el servicio trifásico se emplean tres transformadores monofásicos que pueden ser de iguales o diferentes características.

El transformador de la empresa tiene una conexión estrella-delta ($Y\Delta$), según se muestra en la figura 1.1.

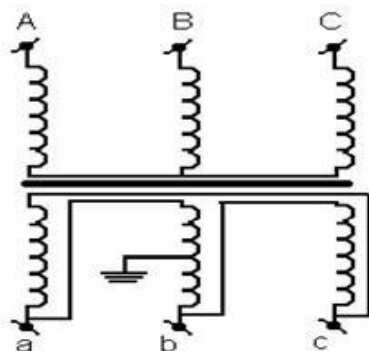


Figura 1.1- Esquema de conexión del banco de transformadores de la empresa de logística de la agricultura de Holguín.

Es un banco de tres transformadores monofásicos de 167kVA, formando un banco de transformadores trifásico, alimentado por el circuito primario de 13.2kV. En el secundario, el banco de transformadores tienen una particularidad, poseen una



derivación central de 115 V cada devanado, la derivación central del transformador de la fase b esta puesta a tierra por lo que en el secundario tenemos dos voltajes diferentes, 230 V entre fases y 115 V entre fase y neutro.

Desde la fundación de la entidad existieron cargas que no están brindando servicio actualmente, por el deterioro de la mismas, tales como: Máquinas de Herramientas (Tornos horizontales, Taladros verticales, rectificadoras de cigüeñal y magnéticas, etc.), compresores y máquinas de soldar, contribuyendo a que el transformador tenga una carga inferior a la que existía anteriormente. No obstante, en los proyectos futuros de nuestra empresa se piensa poner en marcha un departamento de prueba de motores de combustión interna con una carga (dinamómetro) de 40 kW.

1.3.3 Levantamiento de la carga.

Cada usuario de la energía eléctrica(independientemente de la magnitud de la carga que tenga instalada) hace uso de la misma de acuerdo a sus necesidades, y como estas no permanecen constantes a lo largo del día, es evidente que se produzcan variaciones en la demanda por lo que las instalaciones eléctricas deben estar adecuadamente diseñadas para hacer frente a las disímiles condiciones, de operación a la vez que deben ser racionalmente proyectadas y construidas en forma que los costos de instalación no resulten excesivos.

El sistema eléctrico se divide en 3 circuitos fundamentales:

1. Soldadura, desarrollo y mantenimiento.
2. Sala de Maquinado.
3. Administración.

1) El área de soldadura y desarrollo se encuentra a 200 m del banco de transformadores con una potencia instalada de 20 kW (incluyendo el área de mantenimiento), los principales consumidores son:

- Generador de soldar.
- Ventiladores.



- Prensa.

El área de mantenimiento se encuentra a unos 150 m del banco de transformadores tiene una potencia instalada de 106 kW y el mismo está dividido en varios departamentos:

- Dpto. eléctrico: Principales consumidores (horno eléctrico, ventilador y alumbrado).
- Dpto. enrollado: Principales consumidores (alumbrado y ventilador).
- Laboratorio de bombas de inyección (banco de prueba de bomba de inyección).
- Dpto. de Maquinado: Principales consumidores (alumbrado, maquinado, herramientas y ventilación).

2) El circuito de la sala de maquinado se encuentra a unos 50 m del banco con una potencia instalada de 194,5 kW y se divide de la siguiente forma:

- Área de sobre esteras.
 - Área de Maquinado.
 - Área de reparación de motores se divide en: Desarme y Mandrilado.
- Parte administrativa y almacén de la Empresa (LABIOFAM).

3) El circuito de administración se encuentra a 150 m del banco de transformadores con una potencia instalada de 7,6 kW y está conformado por diferentes áreas:

- Área de oficinas.
- Área de cocina y comedor.

En el área de oficinas los principales consumidores son: computadoras, alumbrado y ventilación.

En el área de cocina los principales consumidores son: alumbrado, máquina de moler carne y ventilador y en el comedor la principal carga es el alumbrado.

Para la realización del estudio sobre pérdidas y eficiencia se debe tener en cuenta el esquema monolineal de la empresa en cuestión. En este caso en el departamento técnico de la empresa no existían las informaciones necesarias tales como: diagrama monolineal general y específico. Por lo que la primera tarea fue

hacer un levantamiento desde los paneles de los talleres y áreas hasta la pizarra general de distribución (PGD) teniendo en cuenta las cargas, los conductores y elementos de medición y protección.

1.4 Métodos para la determinación de las pérdidas de potencia en una instalación.

Muchos son los índices que se pueden tomar en cuenta para la caracterización de un sistema eléctrico: niveles de pérdidas, factor de potencia, caídas de tensión, reservas de capacidad de alimentación, desbalance, niveles de armónicos, pero en este capítulo solo se analizarán los cuatro primeros aspectos.

Para conocer el comportamiento de los parámetros eléctricos fue necesario comenzar haciendo un análisis de las cargas eléctricas, el cual estuvo dirigido a la subestación y las diferentes áreas de la empresa, teniendo presente los siguientes parámetros: potencia activa P , potencia reactiva Q , potencia aparente S , corriente I , tensión U , frecuencia F , factor de potencia $F.P$ y energía E . Es importante conocer las características de los instrumentos de mediciones utilizados y la fundamentación teórica necesaria para el análisis del comportamiento del sistema eléctrico.

1.4.1 Características del Analizador de redes utilizado.

Los analizadores de redes se han incorporado al mercado con gran aceptación por su sencillez, maniobrabilidad, precisión, efectividad y el número de opciones que brinda. Este tipo de instrumento incorpora al menos cinco funciones principales.

- Registrador de datos.
- Analizador de demanda.
- Analizador de armónicos.
- Analizador de perturbaciones.
- Visualizador de formas de onda.

Sus funciones son potenciadas por opciones de auto chequeo, ajuste de relaciones, modos de medición, análisis de ciclos, etc. Cuando se conecta el analizador a una PC con el software apropiado, se realizan funciones auxiliares como variar el zoom, análisis de composición armónica, etc.

Este tipo de instrumento es útil en una extensa variedad de casos aunque posee una sensibilidad limitada para analizar determinadas perturbaciones, fundamentalmente, transitorios impulsivos y oscilatorios y variaciones de corta duración.

En este caso el estudio se realizó con un analizador de redes trifásico de la firma CIRCUTOR y de la serie AR5-I, NS: 408504011 INV: 8504011.



Figura 1.2- Analizador de redes trifásico CIRCUTOR AR5-I.

En esta figura 1.2 se muestra el analizador utilizado para la realización de las medidas de las variables eléctricas en la Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de Mayo de Holguín, obteniendo una gran precisión en las medidas tomadas por dicho instrumento.

Una de las características que distinguen a este analizador de redes, es que este se conecta con el Kit 3 C-FLEX, el cual corresponde a una gama portátil de sistemas de medidas para corrientes alternas. Gracias a la flexibilidad de sus sensores de corriente, podemos encerrar uno o varios conductores, independientemente de su forma (barras, tubos, porta cables, etc.) y de su accesibilidad.

Características de los sensores de corriente C-FLEX.

- Alta precisión.
- Conexión directa al analizador, sin la necesidad de transformadores de corriente.
- Amplia gama de medidas (5A- 20kA).
- Efecto de saturación inexistente.

- Desfasaje mínimo, ideal para medidas de potencia.
- No sensibles a corriente continua.
- Sistema de cierre precintable.
- Muy ligero (no presenta circuito magnético).
- Alimentación tanto externa como por baterías.
- Salida adaptada a los niveles de medida.
- Medida simultanea de las tres fases.



Figura 1.3: Sistema portátil para medir corriente alterna tipo Kit 3 C- FLEX.

1.4.2 Fundamentación teórica utilizada.

Para el cálculo de las pérdidas eléctricas en el sistema de estudio se puede utilizar los siguientes sistemas de conocimientos.

Pérdidas en los transformadores.

A continuación se muestra como se calculan las pérdidas en los transformadores:

$$\Delta P = \Delta P_v + k_c^2 \cdot \Delta P_c \quad (\text{kW}) \quad (1.1)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_v + k_c^2 \cdot \Delta Q_c \quad (\text{kVAr}) \quad (1.2)$$

Donde:

ΔP_v : Pérdida activa durante el trabajo del transformador en vacío ($V = V_n$) en (kW).

ΔQ_v : Pérdida reactiva durante el trabajo del transformador en vacío (kVAr).

k_c : Coeficiente de carga del transformador (%).

ΔP_c : Pérdida de potencia activa en el cobre del transformador con carga nominal (kW) .

ΔQ_C : Pérdida de potencia reactiva en el cobre del transformador con carga nominal (kVAr).

ΔP_V y ΔP_C : Se determinan por catálogos.

ΔQ_V y ΔQ_C : Se determinan a partir de los datos del catalogo.

$$\Delta Q_V = \sqrt{\frac{(I_V \cdot S_n)^2}{100} - \Delta P_V^2} \approx \frac{I_V \cdot S_n}{100}, \text{ Puede despreciarse } \Delta P_V \quad (1.3)$$

Donde:

S_n : Potencia del transformador nominal, (kVA).

I_V : Corriente del transformador en vacío (%) se determina por catálogos.

En los transformadores la resistencia eléctrica es mucho menor que la reactancia, es decir, $r \ll x$, por lo que pueden despreciarse de ahí que:

$$\Delta Q_C = 3I_n^2 \cdot X_C \cdot 10^{-3} \quad (\text{kVA}) \quad (1.4)$$

$$X_C = \frac{V_{CC} \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot I_n \cdot 100} \quad (\Omega/\text{Fase}) \quad (1.5)$$

Donde:

X_C : Inductancia del enrollado del transformador.

V_{CC} : Tensión del corto circuito (%).

V_N : Tensión nominal (V).

I_N : Corriente nominal del transformador (A).

También se pueden calcular como:

$$\Delta Q_c = \frac{V_{cc} (\%) \cdot S_n}{100}$$

Las pérdidas de energía activa y reactiva con carga variable

$$\Delta W_a = \Delta P_v \cdot T + k_C^2 \max \cdot \Delta P_C \cdot T \quad (1.6)$$

$$\Delta W_r = \Delta Q_v \cdot T + k_C^2 \max \cdot \Delta Q_C \cdot T \quad (1.7)$$

Donde:

T: Número de horas de trabajo del transformador durante el período analizado (día, mes, año).

Kcmax : Coeficiente de carga máxima del transformador.

$$k_C = \frac{I_m}{I_n} \quad (1.8)$$

Donde:

I_m : Corriente media durante el periodo analizado.

Para el k_{Cmax} entonces I_m debe sustituirse por la corriente máxima.

ΔP_v o ΔP_{SC} (sin carga): Se toman igual o son las mismas pérdidas en el núcleo del transformador o en el acero.

$\Delta P_{CC} = \Delta P_C$: Son las pérdidas de cortocircuito que son iguales a las pérdidas en el cobre; son las pérdidas activas en el cobre del transformador para la carga.

Pérdidas eléctricas en las líneas.

Cuando se analiza la eficiencia en los sistemas eléctricos y se determinan las pérdidas eléctricas en estos, influyen en estas las potencias activa y reactiva solamente, vista a través de la corriente porque así lo toma en cuenta el método convencional.

Estas pérdidas se expresan de la siguiente forma.

$$p = I^2 R$$

$$q = I^2 X$$

$$R = r L.$$

$$X = x L.$$

Dónde:

p: Es pérdida de potencia activa dada en Watt (W).

q: Es pérdida de potencia reactiva dada en Volt-Ampere reactivo (VAR).

R: Es la resistencia de la línea dada Ohm (Ω).

X: Es la reactancia de la línea dada Ohm (Ω).

L: Es la longitud de la línea dada en metros (m).

I: Es la corriente en la línea dada en Ampere (A).

Para los circuitos analizados la corriente se expresa como sigue.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U}.$$

Dónde:

S: Es la potencia aparente dada en Volt-Ampere (VA).

U: Es la tensión de línea dada en Voltios (V).

P: Es la potencia activa dada en Watt (W).

Q: Es la potencia reactiva dada en Volt - Ampere reactivo (VAR).

Es objetivo en este capítulo dejar expuesto de que otros factores u otras potencias depende la corriente y de la misma forma que se compensa la potencia reactiva para disminuir las pérdidas eléctricas en un sistema eléctrico, analizar como pudieran compensarse estas otras potencias o factores prácticamente no tenidas en cuenta en los estudios de eficiencia eléctrica para lograr el resultado anteriormente mencionado.

1.5 Conclusiones del capítulo.

En este capítulo de forma general se muestra una introducción general del trabajo, la caracterización de la empresa, así como de su sistema eléctrico, los equipos utilizados para la realización de las mediciones y la base teórica para determinar las pérdidas de potencia en el sistema eléctrico.



CAPÍTULO 2: Análisis de las pérdidas eléctricas y propuesta de mejoras.

2.1 Introducción.

2.2 Comportamiento de la carga. Cálculo de las pérdidas eléctricas y otros parámetros en el sistema.

2.3 Análisis de las pérdidas eléctricas y otros parámetros en el sistema.

2.4 Mejoras para minimizar las pérdidas en un sistema eléctrico.

2.5 Propuesta de medidas para minimizar las pérdidas eléctricas en el sistema en estudio.

2.6 Conclusiones del capítulo.

2.1 Introducción.

Las pérdidas de potencia y energía en transformadores, cables y otros elementos del sistema dependen de la circulación por dichos elementos, tanto de la potencia activa como reactiva de las cargas, de ahí el control y supervisión que debe tenerse sobre las mismas. En este capítulo se calcularán las pérdidas de potencia en el sistema en estudio.

2.2 Comportamiento de la carga. Cálculo de las pérdidas eléctricas y otros parámetros en el sistema.

Comportamiento de la carga.

Las formas más adecuada de ver el comportamiento de la carga y hacer algún análisis de la variación del consumo de energía eléctrica, es por medio de una representación gráfica donde en el eje de las ordenadas se sitúa el consumo de las potencias y en el eje de las abscisas el tiempo.

A continuación se representa la variación de varios parámetros del sistema eléctrico de la empresa correspondiente a 24 horas de medición con el analizador AR-5L en su mayoría. A continuación se representan mediante gráficos de carga, la potencia activa, reactiva (inductiva y capacitiva), aparente y el factor de potencia. En el Anexo 2.1 aparecen los datos por los cuales se obtienen estos gráficos.

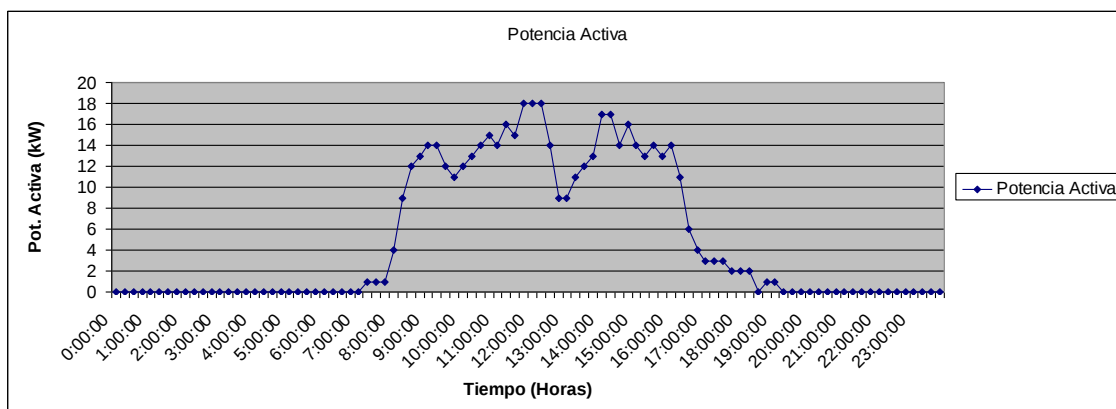


Figura 2.1a. Variación de la potencia activa (día 11/04/2013).

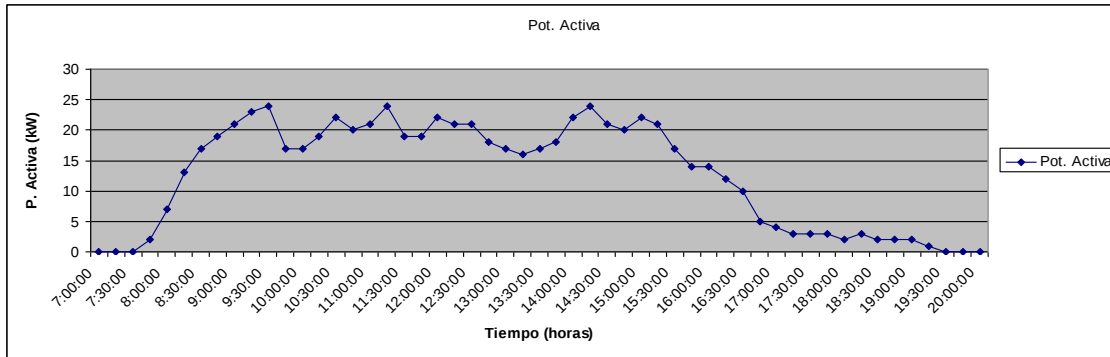


Figura 2.1b. Variación de la potencia activa (día 12/04/2013).

En los dos gráficos anteriores se representa la potencia activa durante 24 y 12 horas de medición, respectivamente, se observa que el horario de trabajo es de 7:30 am a las 7:30 pm, aproximadamente, se notan valores de demanda máxima entre 18 y 24 kW en los casos analizados.

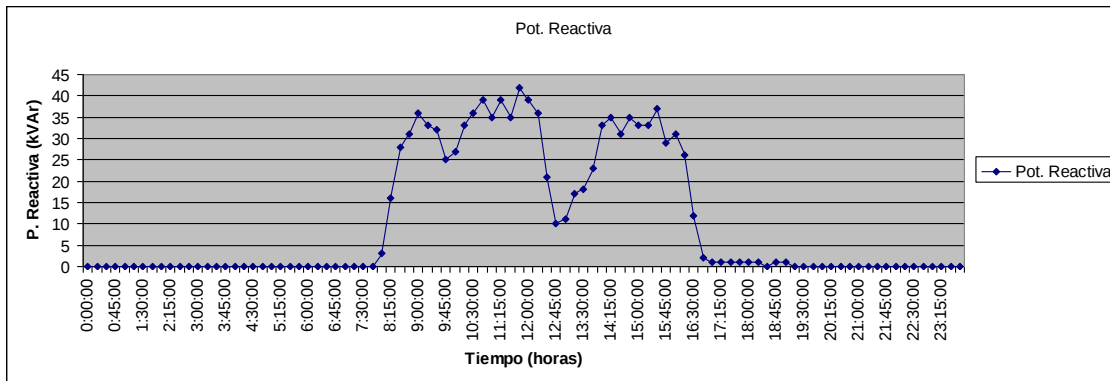


Figura 2.2a. Variación de la potencia reactiva (día 11/04/2013).

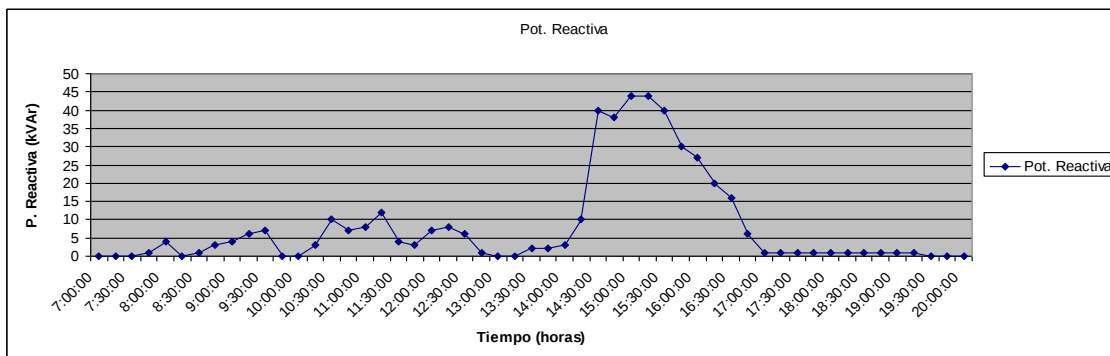


Figura 2.2b. Variación de la potencia reactiva (día 12/04/2013).

En los gráficos 2.2 a y b se representan la potencia reactiva correspondiente a un tiempo de 24 horas de medición y 12 horas de medición, respectivamente, se observan valores de demanda máxima que oscilan alrededor de 44 kVAr, esto quiere decir que en ocasiones en el tiempo analizado la potencia reactiva supera a la potencia activa y esto conlleva a que las líneas estén saturadas de potencia no útil. Existe también una potencia reactiva capacitiva que proviene de un banco fijo, el cual está conectado en momentos que realmente no hace falta, como se muestra en la figura 2.3, influyendo negativamente en el sistema y hace que el factor de potencia varíe tan bruscamente que en el intervalo de tiempo analizado se comporte de forma inductiva y capacitiva, pudiéndose ver en la figura 2.4.

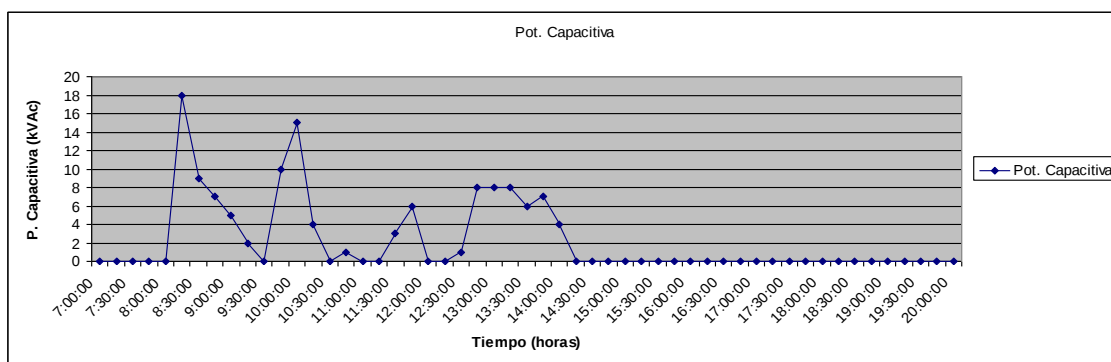


Figura 2.3. Variación de la potencia reactiva capacitiva (día 12/04/2013).

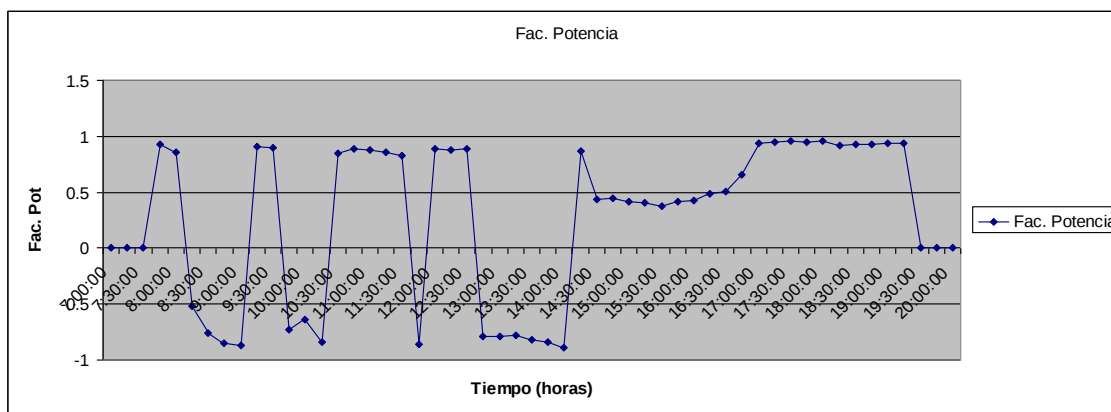


Figura 2.4. Variación del Factor de potencia (día 12/04/2013).

Una de las áreas que tiene mayor potencia instalada es el área de Maquinado, es por ello que se mostrará en lo que sigue el comportamiento de varios parámetros

eléctricos como: las potencias activa, reactiva inductiva, reactiva capacitiva, aparente y el factor de potencia, vistos en las figuras del 2.5 a la figura 2.9, que a continuación se muestran. Las potencias se expresan en kW, kVAr, CkVAr y kV, respectivamente.

Se observa en los gráficos 2.5, 2.6, 2.7 que hasta la hora 15:15, el comportamiento de la carga funciona adecuadamente, la potencia del condensador atenúa el reactivo de las líneas, mejorando el factor de potencia. Entre las 15:30 y las 17:00 horas prácticamente no hay consumo y al mantenerse conectado el banco de condensadores fijo provoca que el factor de potencia sea negativo, según se puede ver en los gráficos 2.7 y 2.9, siendo uno de los inconvenientes de mantener un banco en estas condiciones. Estos gráficos han sido confeccionados basados en los datos mostrados en el anexo 2.2.

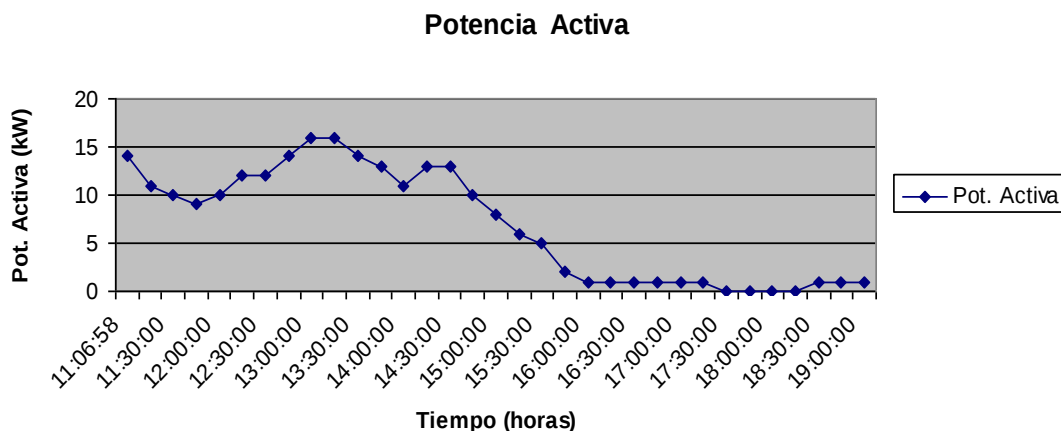


Figura 2.5. Variación de la Potencia Activa en Maquinado.

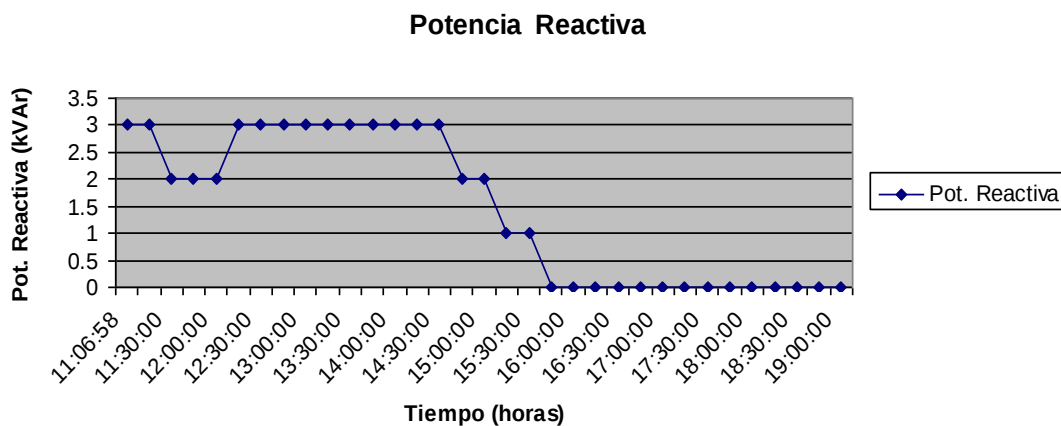


Figura 2.6. Variación de la Potencia Reactiva en Maquinado.

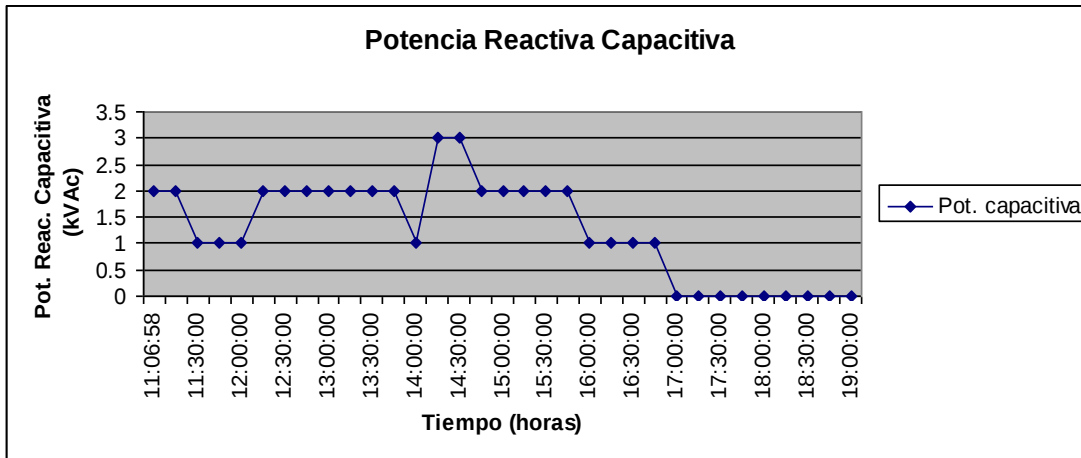


Figura 2.7. Variación de la Potencia Reactiva Capacitiva en Maquinado.

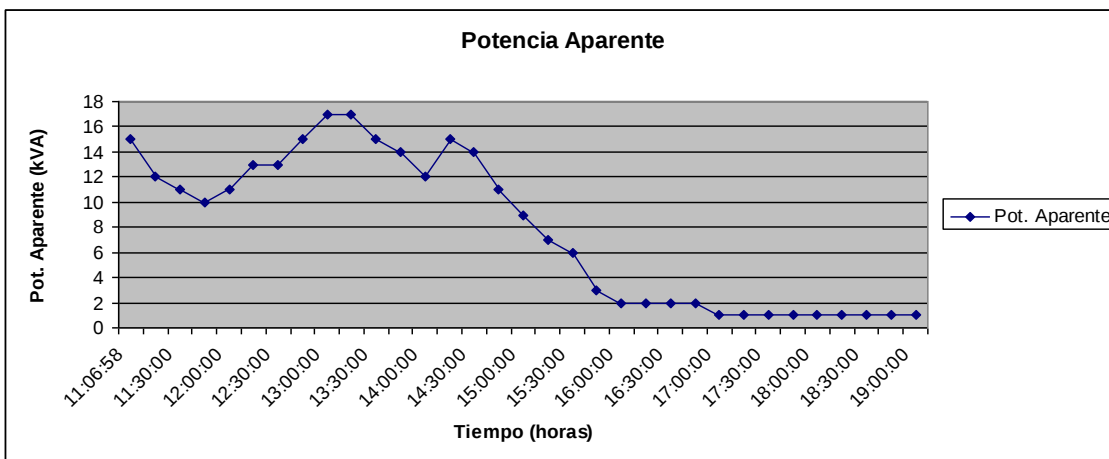


Figura 2.8. Variación de la Potencia Aparente en Maquinado.

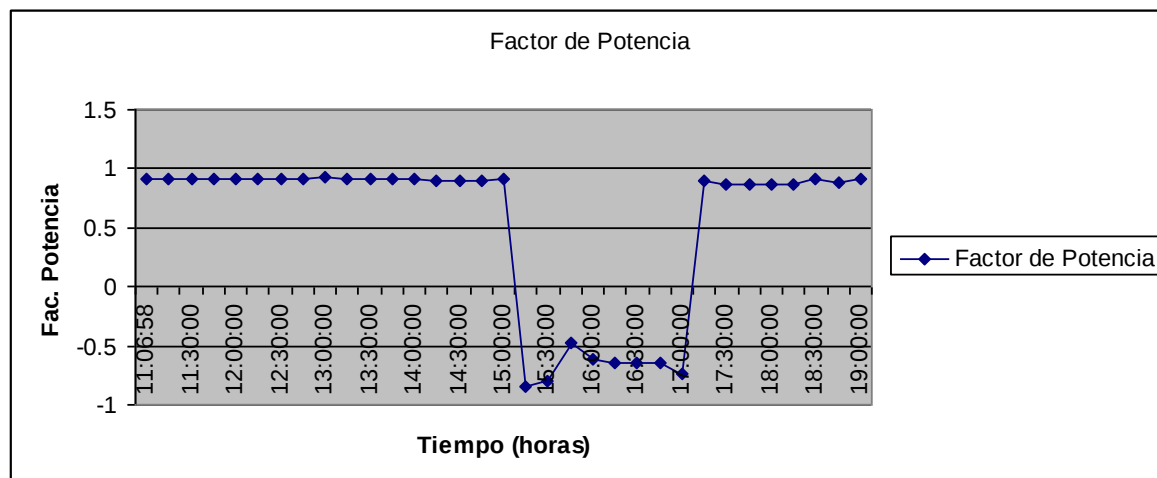


Figura 2.9. Variación del Factor de potencia en Maquinado.

En la figura 2.9 se ve que el factor de potencia inductivo máximo es de 0,91 y el capacitivo es alrededor de 0,81.

Este análisis se hace para las áreas de soldadura, desarrollo y mantenimiento, así como para la de administración, observándose el comportamiento en los anexos 2.5 y 2.6, respectivamente.

En el área de soldadura, desarrollo y mantenimiento se destaca como la potencia reactiva (su valor máximo es de 35 kVAr) es superior en la mayoría del tiempo analizado a la potencia activa (su valor máximo es 14 kW), influyendo notablemente en el factor de potencia, el cual varía de 0,3 hasta 1, según puede notarse en el anexo 2.5.

De forma parecida ocurre con el área de administración, donde el factor de potencia tiene grandes variaciones, provocado por las fluctuaciones en las potencias de las cargas. En el anexo 2.4 se muestran las mediciones realizadas en esta área y en el anexo 2.6 aparece el comportamiento de las potencias activa, reactiva, aparente y factor de potencia de la misma.

2.2.1 Cálculo de las pérdidas eléctricas y otros parámetros en el sistema.

Las pérdidas de potencia y energía en transformadores, cables y otros elementos del sistema dependen de la circulación por dichos elementos, tanto de la potencia activa como reactiva de las cargas.

Así, como ya se había planteado anteriormente, las pérdidas de potencia se pueden calcular con el uso de estas relaciones y otras que se describen en la tesis.

$$\begin{aligned}\Delta P &= 3I^2 \cdot R = 3 \left(\frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \right)^2 \cdot R = \frac{P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot R = I^2 \cdot r \cdot L \\ \Delta P &= 3 \left(\frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \right) \cdot R\end{aligned}\tag{2.1}$$

Los resultados del cálculo de las pérdidas en las líneas principales se expresan en la tabla que sigue:

Tabla 2.1. Pérdidas eléctricas en las líneas principales.

Áreas	Calibre	L (km.)	r (Ohm/km.)	x (Ohm/km.)	I (A)	Pérdidas (W)
A. Maquinado	3/0	0.05	0.2275	0.4429	27.73	26.24
A. Sold. y otros	2/0	0.25	0.27	0.423	56.13	637.99
A. Administración	2/0	0.15	0.27	0.423	5.2	3.29
Sist. Global	240 mm ²	0.05	0.13	0.417	131.05	334.89
Pérdidas Totales Líneas						1002.41

En esta tabla 2.1 se refleja por áreas los datos característicos de los conductores que alimentan a las mismas, así como la corriente que circula en operación y las pérdidas eléctricas de potencia activa asociadas, las cuales son de 1 kW aproximadamente y representa el 4,2 % con respecto a la potencia activa de consumo demandada.

El transformador que alimenta a la empresa es un banco de transformadores con una potencia total de 500 kVA donde las pérdidas en vacío y en cortocircuito son de 1,484 y 6,883 kW, respectivamente. La potencia del mismo es grande comparado con la potencia que consume la carga, produciendo pérdidas considerables. A continuación se reflejan en la tabla 2.2 las pérdidas en el mismo y las del sistema en general.

Tabla 2.2. Pérdidas eléctricas en el Sistema Eléctrico global.

Áreas	Kc = f (I Calc.)	Kc = f (I máx.)	Pérdidas (kW)	% P cons	% S cons
Transformador	0,0708 (7%)	0,1043 (10%)	1,558	6,5	2,88
Sistema Global	-	-	2,558	10,66	4,74

En esta tabla 2.2 se muestran las pérdidas de potencia activa del sistema en general y la del transformador, donde las pérdidas en el transformador son superior a las pérdidas en las líneas, representando el 6,5 % respecto a las potencias activa de consumo o demandada.

De forma general cuando las pérdidas eléctricas activas están por encima de un 8 - 10 % de la potencia activa de cálculo o nominal, se sugiere que sean minimizadas por un método determinado.

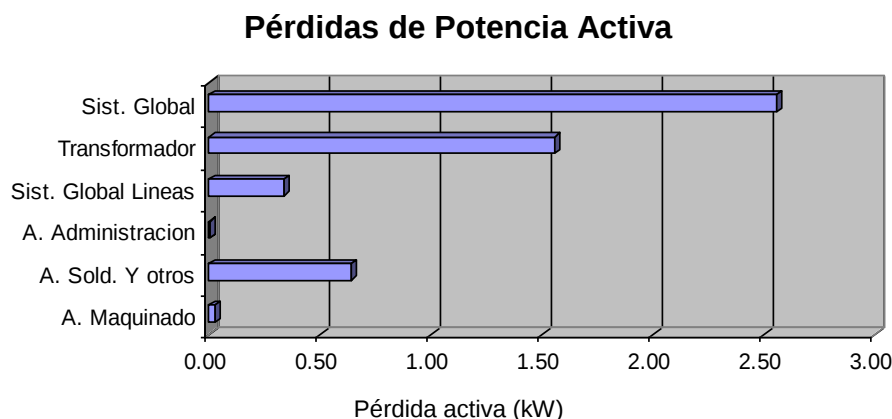


Figura 2.10. Pérdidas de Potencia Activa en el Sistema Eléctrico Global.

En la figura 2.10 se muestra un gráfico de barras para expresar las pérdidas de potencia activa en los diferentes elementos del sistema y el sistema en general

2.3 Análisis de las pérdidas eléctricas y otros parámetros en el sistema.

En el epígrafe 2.1 se realizaron los cálculos de las pérdidas de potencia activa, de los cuales se puede inferir los siguientes aspectos:

- Las pérdidas de potencia en las líneas son alrededor de 1 kW, representando el 4.2 % respecto a la potencia activa demandada en el sistema, siendo aceptables.
- Las pérdidas de potencia en el transformador son de 1,56 kW, representando el 10,66 % respecto a la potencia activa demandada por la carga en la situación actual. Como observamos el factor de carga (K_c) está entre un 7 y un 10,4 %. Esto conduce a grandes pérdidas, la potencia reactiva que consume el transformador para crear el campo magnético no se compensa con la carga útil tan pequeña suplida por el mismo. A pesar de que hay posibilidades de aumentar la carga en el futuro, esta será aun pequeña, por lo que se podría cambiar el mismo por otro de una potencia menor.
- La conexión de un banco de condensador fijo ha provocado en el sistema, la existencia de factor de potencia negativo, factor de potencia inductivo máximo de 0,91, no cumpliendo en ninguno de los casos con las normativas de la UNE al respecto. No se entiende que con un banco de condensadores, existan factor de potencia con valores de alrededor de 0,3 a 0,6 en grandes periodos

de tiempo durante la jornada laboral como se observa en el anexo 2.1 y en la figura 2.4. Por otra parte, existen evidencias de las penalizaciones que recibe mensualmente la empresa por este concepto. Es por ello que se hace un estudio puntual sobre este banco de condensadores.

2.4 Mejoras para minimizar las pérdidas en un sistema eléctrico.

Atendiendo a los aspectos relacionados anteriormente en el análisis de las pérdidas de potencia activa calculada, se proponen las medidas o mejoras que siguen:

1. Conexión de un banco de condensadores con regulación automática.
2. Cambio del transformador de alimentación.
3. Otras como acomodo de carga y sustitución de algún equipamiento por otros más eficientes.

En el trabajo actual se evaluarán las dos primeras medidas mencionadas anteriormente. Y es por ello que seguidamente se esbozará de forma sencilla alguna teoría relacionada con las dos primeras.

2.4.1 Uso de condensadores en los sistemas eléctricos de una empresa.

Como se sabe, la función de los condensadores es compensar la demanda de potencia reactiva que requieran las cargas para su funcionamiento. La compensación no puede ser completamente igual a la unidad, porque esto implicaría que los generadores trabajarían con excitación muy baja, poniendo en peligro la estabilidad del sistema; la potencia reactiva circula desde los generadores a las cargas a través de transformadores y líneas; el factor de potencia más económico será mayor a medida que nos alejemos de las plantas generadoras; la subida de voltaje ocasionada por los condensadores no es de una magnitud tal que pueda ofrecer una solución favorable a aquellos circuitos con voltajes más críticos; las subidas apreciables solo se logran en líneas con relación $\frac{X}{R} > 1$ y con banco de condensadores grandes. La conexión y desconexión de muchos bancos se realiza automáticamente por: señales de control de voltaje, circulación de potencia reactiva, circulación de corriente y por tiempo.

Los condensadores se deben retirar en las horas de mínima demanda y debe realizarse por dos vías fundamentalmente.

- a) Instalación de grandes capacidades en las subestaciones atendidas, donde el operador es el encargado de su conexión y desconexión, este caso se da cuando se requiere controlar el voltaje en niveles superiores al de la distribución.
- b) Mediante la instalación de bancos más pequeños en los circuitos de distribución primaria controlados automáticamente, se corre el riesgo de que su conexión y desconexión no coincidan con las necesidades del sistema.

La potencia activa que consume una carga trifásica es:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad (2.2)$$

Se sabe que el valor del factor de potencia puede variar de 0 a 1. Por tanto, para mantener una potencia constante si el voltaje es constante solo puede variar el $\cos \varphi$ o la corriente (I). Esto trae por consecuencia que con un bajo valor de $\cos \varphi$, el valor de la corriente aumenta y por tanto las pérdidas de la línea aumentan también. Igualmente ocurre con las caídas de tensión en la línea, dado que estas son directamente proporcional a la corriente (I).

Para mejorar el factor de potencia se puede realizar por dos métodos: mediante la instalación de banco de capacitores o con compensadores sincrónicos. Actualmente la instalación de banco de capacitores es el método más económico en los circuitos de distribución.

En la figura 2.11 se observa como con la instalación de bancos de condensadores se mejora el factor de potencia, y se eleva la tensión de la línea. El cálculo matemático que rige el grafico de la figura 2.11 es el siguiente:

Primero debe conocerse la potencia activa, reactiva y aparente del circuito mediante la ecuación:

$$kVA^2 = kW^2 + kVAr^2 (\text{inductivo}) \quad (2.3)$$

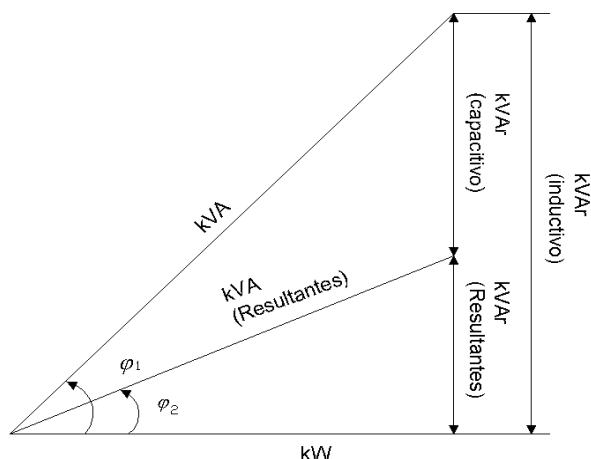


Figura 2.11. Mejora del factor de potencia al introducir condensadores en la línea.

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

$$\text{Como } \tan \varphi = \frac{kVAr \text{ (inductivo)}}{kW} \quad (2.4)$$

$$CkVAr = kVAr \text{ (inductivo)} - kW \tan \varphi_2 \quad (2.5)$$

$$CkVAr = kW (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (2.6)$$

Dónde:

CkVAr: Potencia reactiva debida a los capacitores.

kVAr : (Inductivo) potencia reactiva de la carga.

kW: Potencia activa de la carga; la que es invariable.

φ_1 : Ángulo del factor de potencia sin capacitores.

φ_2 : Ángulo del factor de potencia con capacitores.

Se presentan varias desventajas cuando se instalan capacitores, pero éstas se reducen al mínimo cuando se instalan banco de capacitores variables automáticos, es decir, que se conectan y desconectan a estos automáticamente.

2.5 Propuesta de medidas para minimizar las pérdidas eléctricas en el sistema en estudio.

La medida relacionada con la selección y conexión de un banco de condensadores

con regulación automática es necesaria y para esto se presenta un análisis detallado porque actualmente existe un banco de condensadores fijo conectado, el cual trae determinados afectaciones en la operación del sistema eléctrico de la empresa.

La empresa de Logística Agropecuaria 1^{ro} de Mayo de Holguín se encuentra en la carretera vía Bayamo presenta una alimentación eléctrica trifásica desde la red de distribución (13,2 kV) eléctrica. Para la entrada de alimentación cuenta con tres transformadores de 167 kVA para un total de 500 kVA con conexión delta y voltajes de 230 V. Las mediciones se realizaron desde el día 3 al 7 de Mayo del 2013. Para realizar los registros se utilizó el analizador de redes FLUKE 435. Fueron útiles en el estudio las variables: potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, distorsión armónica total e individual en corriente y tensión, así como los valores de tensión y corriente por fase con sus respectivos valores de desviación.

2.5.1 Análisis histórico del comportamiento del factor de potencia. Año 2012 y Mayo 2013.

En la tabla 2.3 se aprecia el comportamiento del consumo de energía en los primeros meses del año 2012. También podemos ver como se comportó la facturación y la penalización que fue de 1245,0 pesos como promedio mensual para un total de 16187,0 pesos en el año que se analiza.

Tabla 2.3. Comportamiento de la energía según la empresa eléctrica en el año 2012 y Mayo 2013.

Fecha	Energía Activa (kWh)	Energía Reactiva (kVArh)	FP	\$ Penalización	\$ Facturación
may-13	7192	3801	0,85	124,13	2234,34
abr-13	5914	3003	0,85	109,64	1973,49
mar-13	6299	2790	0,89	21,8	1962,37
feb-13	6958	3514	0,86	96,39	2168,76
ene-13	6122	3358	0,83	155,31	1996,81
dic-12	6439	3097	0,87	66,2	1986,01
nov-12	5881	2899	0,86	86,2	1939,46
oct-12	6514	3116	0,87	66,8	2003,93
sep-12	6150	3122	0,85	112,06	2017,06
ago-12	5666	2649	0,87	62,13	1863,93
jul-12	6023	2896	0,86	85,49	1923,55
jun-12	5943	2819	0,87	63,16	1894,92
may-12	5973	2461	0,89	20,22	1820,17
abr-12	6461	3357	0,85	113,34	2040,04
mar-12	5874	3245	0,83	153,79	1977,27
feb-12	5580	2356	0,89	19,56	1760,78
ene-12	5612	2997	0,83	146,83	1887,79

En la tabla 2.3 se puede analizar el comportamiento del factor de potencia que oscila entre 0,83 y 0,89 durante el año 2012 y el mes de Mayo del 2013, según los registros del instrumento de medición de la Empresa Eléctrica.

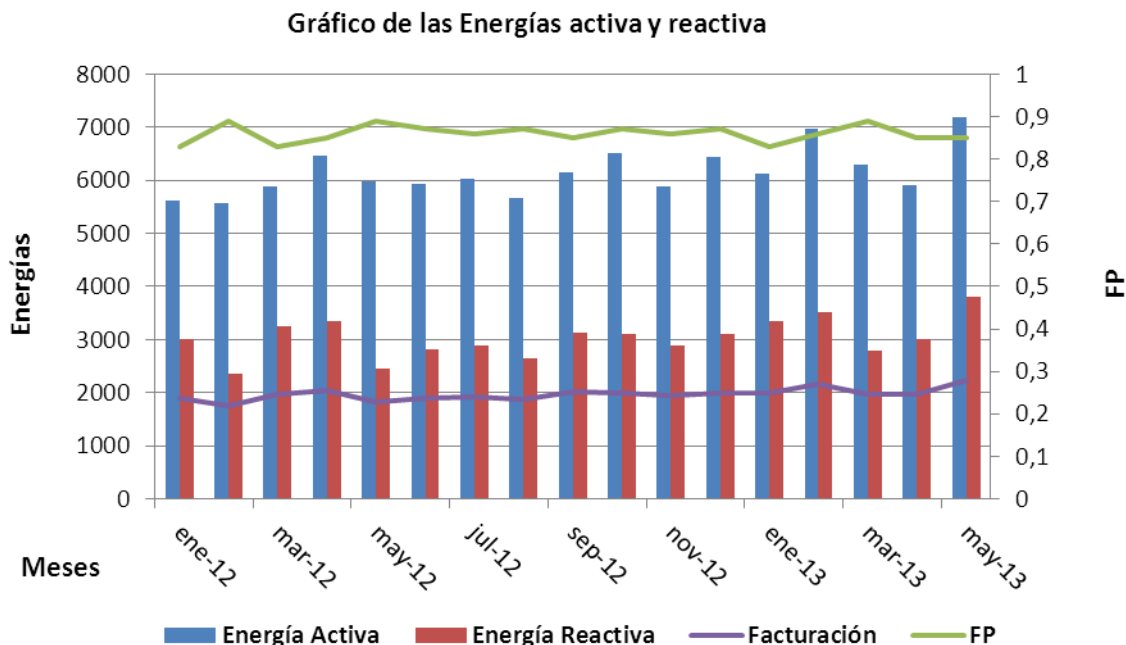


Figura 2.12. Variación mensual del comportamiento del factor de potencia.

La explotación de una instalación eléctrica con tan bajos niveles de factor de potencias implica que los equipos tienen elevados consumos de energía reactiva respecto a la energía activa, produciéndose una circulación excesiva de corriente eléctrica en la red interna y en las redes de la Empresa Eléctrica, lo que ocasiona:

- Daños por efecto de sobrecargas saturándolas.
- Aumentos de las pérdidas por recalentamiento.
- Aumento de la potencia aparente entregada por el transformador para igual potencia activa utilizada.

Además, ocasiona alteraciones en las regulaciones de la calidad técnica del suministro tales como variaciones de tensión, con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos y malas operaciones de las protecciones de interruptores, fusibles, etcétera.

2.5.2 Análisis del comportamiento de las potencias y el factor de potencia.

En el gráfico que se encuentra a continuación podemos ver cómo se comporta la demanda activa, reactiva, aparente y el factor de potencia de un día característico, en este caso se tomaron las mediciones máximas registradas en un día característico (día 8 de Junio del 2013). Para realizar este gráfico se determinaron las mediciones horarias promedios que medimos cada 15 minutos.

Como podemos observar en esta gráfica el valor máximo de potencia activa fue de 77,1 kW a las 11:04 horas y el valor máximo de potencia reactiva alcanzado en el día fue de 116,0 kVAr a las 11:34 horas.

Sin embargo el factor de potencia determinado en la instalación se comportó entre 0,49 a las 8:14 horas y 0,94 a las 16:44 horas.

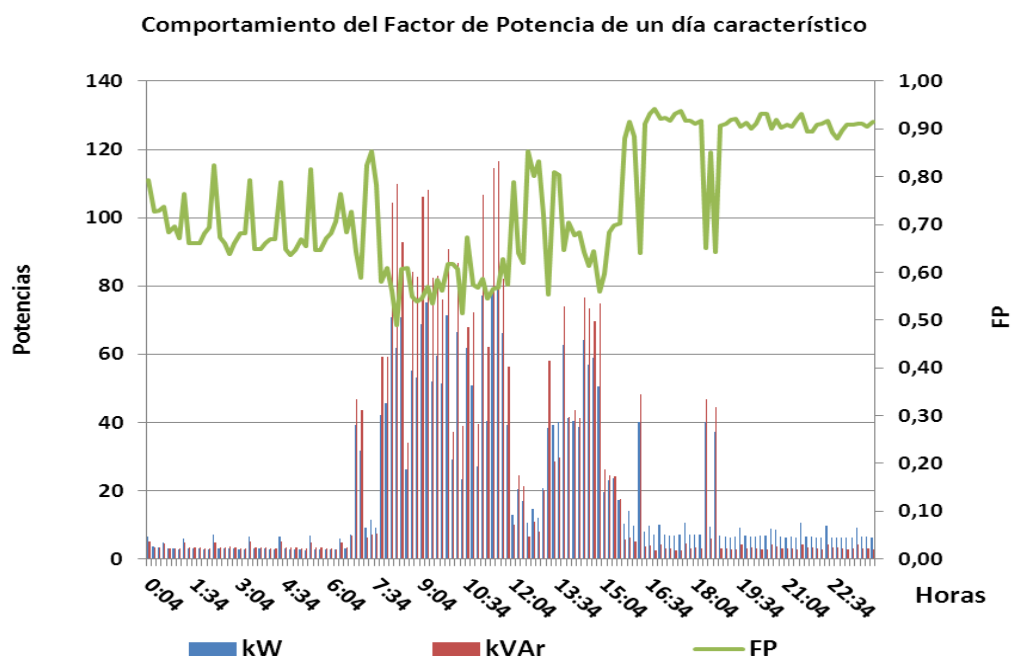


Figura 2.13. Comportamiento de la demanda activa, reactiva, aparente y factor de potencia de un día característico (mediciones del 8 de junio del 2013).

2.5.3 Equipos que más afectan el factor de potencia.

Dentro de toda la instalación se pudo apreciar varios equipos que presentan un elevado consumo de potencia reactiva, así como un bajo factor de potencia, entre ellos se encuentra los motores eléctricos que son los de mayores consumos de



potencia reactiva de esta instalación. A continuación hacemos referencia a las áreas y los equipos que poseen el mayor consumo de potencia reactiva y así un bajo factor de potencia.

Taller de soldadura y desarrollo.

- Generador de soldar.
- Prensa hidráulica.
- Ventiladores.

Departamento de riego.

- Taladro vertical.
- Máquina de soldar.

Taller de fabricación de gomas y plásticos.

- Máquina de fabricación de plástico.

Ranfla de lavado.

- Turbina de agua.

Taller de sobre estera.

- Grúa viajera.
- Grúa radial.
- Máquina de soldar.
- Taladro vertical.
- Máquina de rectificar válvulas.
- Prensa Hidráulica.
- Compresor de aire.

Taller de maquinado.

- Rectificador de cigüeñal.
- Tornos horizontales.
- Grúa viajera.



- Taladro vertical.
- Taladro radial.
- Recortador.
- Ventilador

Taller de remotorización.

- Fresadora.
- Compresor.
- Ventilador.
- Prensa hidráulica.
- Grúa viajera.

Mandrinado.

- Rectificadora de camisa.
- Alineadora horizontal.
- Desbrilladora.
- Mandrinadora de biela.
- Grúa viajera.
- Lavadora de equipos.

Mantenimiento.

- Esmeriladora.
- Segueta eléctrica
- Cepillo eléctrico.
- Torno horizontal.
- Grúa viajera.
- Taladro vertical.
- Ventilador.

Además de las luminarias de interior que existen en toda la instalación, que recomendamos se sean cambiadas por luminarias que tengan compensación del

factor de potencia.

2.5.4 Determinación de la potencia reactiva para el cálculo del banco de capacitores.

Para determinar el valor del banco de compensación a utilizar se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se determinó el factor de potencia máximo promedio (80 mediciones por encima de 70 kW) de la instalación a partir de los valores máximos de todas las mediciones.
2. Se determinó la potencia activa promedio de las máximas de la instalación (en este caso se determinó la potencia máxima promedio de las mediciones por encima de 78,92 kW). (Escogimos el promedio de las 80 mejores mediciones).
3. Se consideró un factor de potencia deseado de 0,98 y, con el factor de potencia promedio de la medición (0.60), se calculó la $\tan \phi$:

$$\tan \phi = \tan \phi_{\text{actual}} - \tan \phi_{\text{deseado}} = 1,13$$

P_{prom} → Potencia activa máxima superiores a 78,92 kW

Q_c → Capacidad del banco (kVAr).

$$Q_c = P_{\text{prom}} \times \tan \phi = \times 1,13$$

$Q_c = 89,44 \text{ CkVAr}$. Se necesita un banco de 89,44 CkVAr.

Luego de realizado el cálculo se comprobó mediante el software MyEcodial L (de Schneider Electric) si la capacidad del banco que se escogió es el correcto. El resultado se muestra en el siguiente gráfico 2.14. Como resultado se tiene una batería de 100 kVAr con una compensación de 0,99. El resultado lo podemos ver en la figura 2.14.

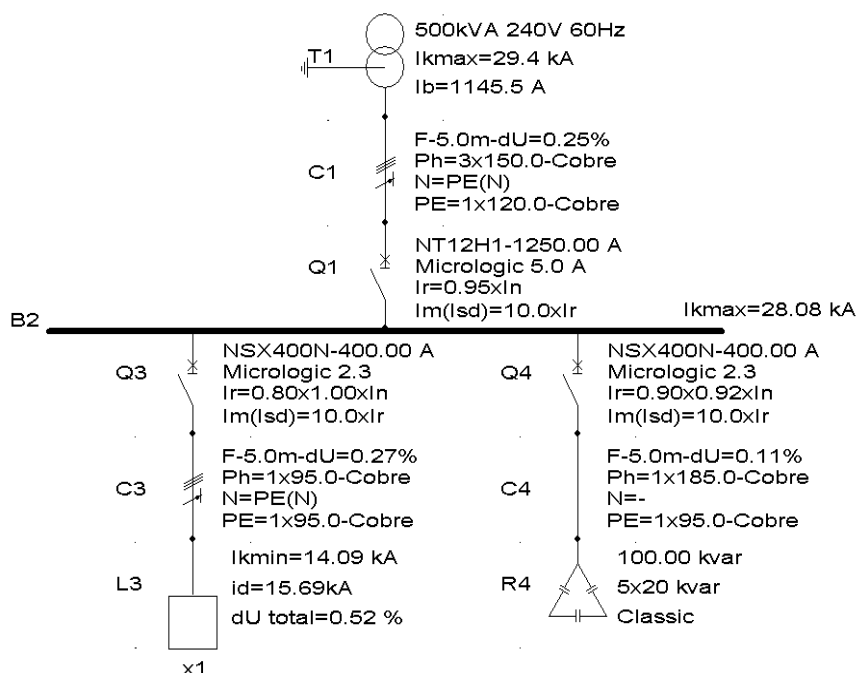


Figura. 2.14 Resultado del análisis del circuito eléctrico mediante el software MyEcodial L.

Se debe compensar con una batería de 89,4 CkVAR compuesta por cinco pasos, pero se escoge la batería inmediata superior que es 91 CkVAR compuesta con los siguientes pasos como se observa en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Comportamiento de la entrega de CkVAR por paso de los bancos de capacitores.

Numero Paso	CkVAR	Conf. Varlogic
Paso 1	6.5	1
Paso 2	13	2
Paso 3	19.5	3
Paso 4	26	4
Paso 5	26	4
Total	91	1:2:3:4:4

Escogemos una batería de 91 CkVAR con una configuración del varlogic 1:2:3:4:4 y cinco pasos de 6,5 CkVAR con el paso 1, 13 CkVAR con el paso 2, 19,5 CkVAR con el paso 3, 19,5 CkVAR con el paso 3 y 26 CkVAR con los pasos 4 y 5.

2.5.5 Análisis del comportamiento de los armónicos.

Las fuentes emisoras de armónicos se pueden dividir en tres categorías.

- Los dispositivos de electrónica de potencia.
- Los dispositivos productores de arcos eléctricos.
- Los dispositivos ferromagnéticos.

Algunos de los equipos y procesos que se ubican en las siguientes categorías:

- Motores de corriente directa accionado por tiristores.
- Inversores de frecuencia.
- Fuentes ininterrumpidas UPS.
- Computadoras.
- Equipos electrónicos.
- Hornos de arcos eléctricos.
- Hornos de Inducción.
- Equipos de soldadura.
- Transformadores sobreexcitados.

Durante el período estudiado no se detectaron armónicos de voltaje fuera de norma. La tasa de distorsión armónica total de voltaje alcanza un valor máximo de 1,52 % sin compensación correspondiente a la entrada de la pizarra general de distribución (PGD) aumentando hasta un valor de 4,47 % luego de la conexión del banco de capacitores, menor que el valor normado máximo de 8 % según norma CFE L-000045.

Los resultados anteriores nos indican que la red eléctrica de la empresa en estudio pertenece al grupo de empresas con contaminación estándar o no polucionada.

En la tabla 5 (resultado de Software Herena de Schneider Electric) se muestra el comportamiento de los armónicos de voltajes antes de compenazar y luego con condensadores conectados. En el anexo 2.8 se detallan los materiales usados este estudio para el banco de condensadores.

Filtering characteristics							
Devices	Reference	Ih computed	Ih permitted (A)	Delta Ih (%)	Im computed	Im permitted	I _{max} /I ₁
C	93 kvar				252,24		1,12
Det / Ord.							
Order 5							
Order 7							
Order 11							
Active							

Harmonic voltages (%)											
Order	3	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(%)	Delta
MV wo comp.	0	1,39	0,58	0,12	0	0	0	0	0	1,52	
MV w comp.	0	2,74	0,88	0,02	0	0	0	0	0	2,88	1,89
LV wo comp.	0,01	1,39	0,58	0,12	0	0	0	0	0	1,52	
LV w comp.	0,01	3,92	2,14	0,06	0	0	0	0	0	4,47	2,93

Network currents										
Order	3	5	7	11	13	17	19	23	25	THR (%)
wo comp (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
with comp (A)	0	43	33	1	0	0	0	0	0	
wo comp (%)	0,02	0,05	0,02	0	0	0	0	0	0	0,06
with comp (%)	0,03	3,64	2,79	0,12	0	0	0	0	0	4,59

Reference current	
I _{ref} (A)	1205

Tabla No. 5 Comportamiento de los armónicos de voltaje y corriente individuales y totales.

En la figura 2.15 se puede ver la evolución temporal de los armónicos de voltajes luego de la conexión del banco de capacitores, sin la conexión de este alcanza un valor de 1,52 % y con la conexión del mismo, ocupa el valor máximo de 3,92 %. Como se puede ver nunca llega a un 5 % los armónicos individuales de voltajes (según norma IEE 519).

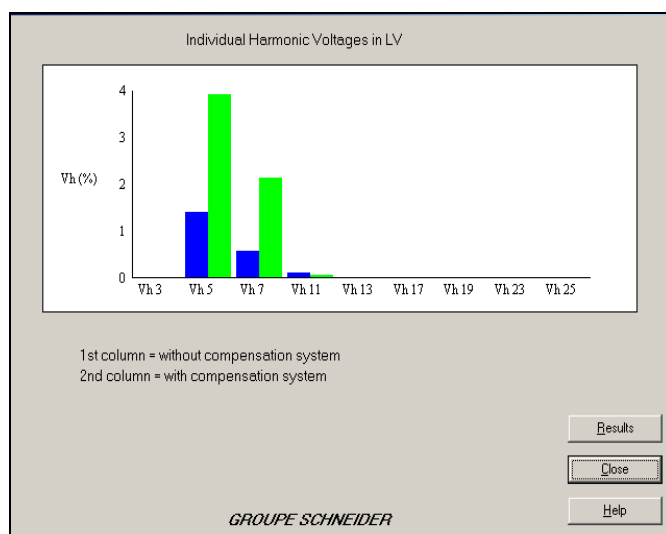


Figura 2.15. Comportamiento de los armónicos de voltaje individuales antes y después de la compensación.

En la figura 2.16 (del Software Power Log 2.7.1) se puede ver la evolución temporal de los armónicos individuales y totales de voltajes y de corriente en la PGD según la medición en el día 8 de junio del 2013 que es el día de mayor carga conectada. En este caso los valores de los armónicos de voltajes se encuentran dentro del por ciento que establece la norma que es un 5 %, no así los armónicos individuales de corriente que se encuentran por encima del valor normado, aunque estos armónicos de corriente no afectan a la instalación ni al banco de capacitares como se observa en el anexo 2.7.

2.5.6 Gráficos del comportamiento horario de la potencia reactiva consumida con compensación.

En la figura 2.17 se muestra el comportamiento de la demanda reactiva de un día característico y la potencia reactiva compensada luego de la puesta en servicio del banco de capacitores. Este gráfico es la muestra de los resultados de la toma de lecturas cada 10 minutos con los valores máximos promedios en cada hora desde el 8 de Mayo del 2013.

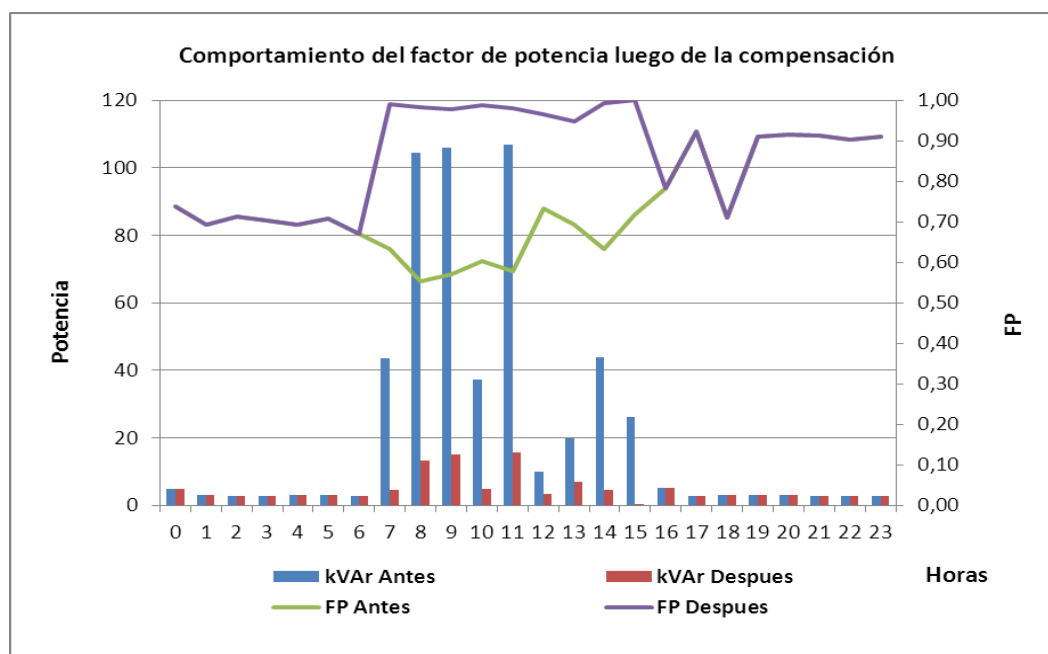


Figura 2.17. Comportamiento de la demanda reactiva de un día característico (mediciones del 8 de junio del 2013) con compensación del banco de capacitores.

2.5.7 Especificaciones de la propuesta del banco a utilizar.

Para la corrección del factor de potencia en la instalación donde la carga varía continuamente el banco de capacitores debe ser capaz de compensar las capacidades variables de la potencia reactiva. Para lograrlo el banco de capacitores debe contar con capacidades variables de pasos compuestos por capacitores y el regulador de potencia debe medir la cantidad de corriente (mediante los transformadores de corriente) para lograr la compensación de potencia reactiva.

Bancos de capacitores automáticos 240 V, 3Ø, 60 Hz, compuestos de condensadores VarplusCanHDuty que presenta un material dieléctrico con una película de polipropileno metalizado con aleación de Zn/Al con metalización de perfil especial y corte de onda, con IP 20, Varlogic NR-6 con microprocesador y protecciones (desconexión y reconexión automática) y programación 1:2:3:4:4, Disyuntor General del tipo Schneider Electric. Con Contactores Schneider Eléctric tipo LC1DFK11P7 (6). Conductor de 70 mm² (10 metros). TC 1200/5. El banco estará controlado por un interruptor del tipo NSX 400.

2.5.8 Conclusiones de la compensación.

Es necesario instalar un banco de cinco pasos que pueda compensar un total de 91 CkVAr. Una vez realizada la compensación de la potencia reactiva el factor de potencia deberá mantenerse en un valor cercano a 0.98, lo que redundará en un mayor beneficio para la empresa ya que:

- a) Aumentará la vida útil de la instalación.
- b) Evitará la penalización en la facturación.
- c) Mejorará la calidad de la energía eléctrica a la entrada de la subestación.
- d) Mejorará la regulación de la tensión del suministro.
- e) Reducirá las pérdidas por recalentamiento en líneas y elementos de distribución.

Se pudo estimar de todas las mediciones realizadas que la demanda activa mínima fue de 2 kW, la media es de 11,25 kW y la máxima es de 88,5 kW. La demanda reactiva mínima es de 1,2 kVAr, la media es de 12,25 kVAr y la máxima es de 135,1



kVAr.

La tasa de distorsión armónica de voltaje alcanza un valor máximo de 1,52 % sin compensación, correspondiente a la entrada de PGD aumentando hasta un valor de 4,38 % luego de conectado el banco de capacitores, menor que el valor normado máximo de 5 % (según norma IEE 519).

2.6 Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se determinaron variables eléctricas tales como. P, Q, S y FP. Así como su variación en el tiempo, se evaluó el comportamiento de los parámetros incluyendo las pérdidas de energía y con estos resultados pudimos recomendar algunas medidas para las mejoras, la eficiencia en el sistema.



CAPÍTULO 3: Valoración Técnica y Económica.

3.1 Introducción.

3.2 Valoración económica del trabajo.

3.3 Impacto socio-medioambiental.

3.4 Conclusiones del capítulo.

3.1. Introducción.

En el análisis de mejoras en el sistema eléctrico de la Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de Mayo de Holguín, corresponde comprobar si es factible o no la propuesta para disminuir las pérdidas de potencia eléctrica y aumentar el factor de potencia en la misma. Este aspecto se analizará atendiendo a los resultados obtenidos en el capítulo anterior basado en:

- Cálculo de las pérdidas en el circuito en el estado actual.
- Cálculo de las pérdidas en el circuito compensado con las nuevas técnicas.

3.2 Valoración económica del trabajo.

En el capítulo anterior se detalló que las pérdidas de potencia activa calculadas para el sistema en general actual es de 2,56 kW, para un 11 % en función de la potencia activa demandada en el sistema eléctrico de la empresa, haciendo que las pérdidas de energía al año sean de 22,12 MWh/año.

Una vez instalado el banco de condensadores que se propone para el sistema, se realizó una corrida de flujo de potencia con el software Easypower, obteniéndose 0,106 kW de pérdidas en líneas y un factor de potencia de 0.97, pudiendo observarse en el anexo 3.

Teniendo en cuenta que el transformador está cargado al 10 %, que la ampliación de la carga futura es aproximadamente 60 kVA, más el 10 % de la potencia resultante, se llega a la conclusión de que el transformador actual se cambie por uno de 300 kVA.

Un transformador de 300 kVA tiene unas pérdidas en el hierro y en el cobre de 1.349 kW y 4,206 kW, respectivamente. Este tendrá unas pérdidas por transformación de 1.46 kW. Teniendo en cuenta estas últimas, las pérdidas de potencia en el sistema general resultaran de 1,56 kW que equivale a una reducción en las pérdidas de energía al año de 8,7 MWh/año.

Con la propuesta planteada en la tesis, la reducción de las pérdidas con el cambio del transformador equivale a 1322,4 CUC. Esto fue teniendo en cuenta que la tarifa actual para la empresa, establece que en el horario pico (5:00 a 9:00 PM) el kWh vale 0,266 CUC y en el horario del día (5:00 AM a 5:00 PM) el kWh vale 0,152 CUC.

Por otra parte, la empresa por 20 años aproximadamente ha sido penalizada por bajo factor de potencia. Si tenemos en cuenta que la propuesta de este trabajo conduce a una disminución de pérdidas y un aumento del factor de potencia, se dejaría de pagar mensualmente alrededor de 120 CUC, significando un ahorro sustancial para la misma, como se observa a continuación.

A partir de la compensación se produce una considerable disminución de la facturación eléctrica, para poder realizar este cálculo es necesario tener en cuenta la tarifa eléctrica de la empresa que en este caso es la M1B. También es necesario saber el consumo real de potencia activa, reactiva y el factor de potencia, además de la demanda contratada y el valor real alcanzado. Con estos valores obtenemos el valor de la facturación.

Para este análisis se escogió el mes de Mayo. Obteniéndose como datos, los valores que se muestran la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Valores en CUC de facturación en el mes de Mayo.

Importe de la facturación Empresa Eléctrica (CUC)	2110,21
Penalización (CUC)	124,13
Importe total de facturación de la facturación (CUC)	2234,34

Calculamos el comportamiento del factor de potencia que debe ser como promedio 0,98, luego realizamos el cálculo con la compensación de la medición realizada.

Calculamos el importe del factor de potencia (lfp).

$$lfp = lfn \times (fp \text{ norma} / fp \text{ real} - 1)$$

$$lfp = \text{Importe de la facturación} \times (0.92 / 0.96 - 1)$$

$$lfp = - 87.92$$

Este valor lo restamos al importe de la facturación, resultando 2022.29 CUC.

Como diferencia restamos 2234.34 CUC, que era la facturación del mes de Mayo del 2013 y se obtiene un ahorro de 212.05 CUC mensual.

El análisis del tiempo de recuperación de la inversión es de vital importancia ante la toma de decisiones, para esto necesitamos saber cuánto cuesta el diseño y montaje del banco de capacitores.

Como resultado del estudio tenemos que la compra del banco debe tener un valor de 5230,23 CUC y que el ensamblaje, montaje y puesta en marcha del banco de capacitores cuesta 1200 CUC (puede ser en CUP) para un total de 6430,23 CUC.

Teniendo en cuenta que con el cambio del transformador se ahorra al año 1322,4 CUC, que por la eliminación de las penalizaciones por bajo factor de potencia se ahorra 1440,0 CUC/año y que cuando se pone el banco de condensador la corriente en la línea disminuye de 131,05 A a 86.6 A, por lo que hay una reducción de 0,19 kW que equivale a 1629,9 kWh/año y ahorro de 244,49 CUC/año por este concepto, en total se ahorran 3006,89 CUC al año. En la tabla 3.2 se refleja económicamente la justificación de la propuesta que se analiza en el trabajo.

Tabla 3.2. Justificación económica de la mejora propuesta.

Variante	Costo de la energía ahorrada (CUC/Año)	Costo Total de la inversión. (CUC)	Tiempo de amortización (Meses)
Propuesta del trabajo	3006,89	6430,23	25,6

Se puede decir que al cabo de 25 meses y medio o 2,13 años, se puede empezar a ver la remuneración del dinero invertido en la instalación.

3.3 Impacto socio-medioambiental.

Este proyecto a realizar repercute en la esfera medioambiental debido a que si logramos mantener un factor de potencia deseado, en beneficio de la generación de electricidad de nuestro país, se logra disminuir el gasto de combustible así como los efectos de gases invernadero hacia la atmósfera.

Por otra parte debemos de valorar el destino final de los condensadores que se



retiran por los productos químicos, que de no controlarse los mismos podrían afectar también al medio ambiente.

3.4 Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se ha realizado una valoración económica del trabajo completo, en base a la propuesta de cambiar el transformador, conectar un banco de condensadores para mejorar el factor de potencia y eliminar por completo las penalizaciones impuesta por la OBE. Estas acciones han provocado que las pérdidas se redujeran en 10329,96 kWh/año y 3006,89 CUC/año, con una amortización de 2,2 años o 25,6 meses.



Conclusiones Generales

En la Empresa de Logística Agropecuaria 1ro de Mayo de Holguín se hace un estudio del sistema eléctrico, basado en el levantamiento de las cargas, las mediciones realizadas, la caracterización del mismo, etc., obteniéndose las siguientes conclusiones.

- Se realizó un levantamiento de las cargas y mediciones totalmente puntual, ya que en el grupo de técnico de la empresa hay carencia total de información, confeccionándose los esquemas monolineales de la empresa.
- Se calcularon las pérdidas de potencia y energía en el sistema, resultando las pérdidas en las líneas y en el transformador de 2,556 kW (representando el 11 % de la potencia demandada), conduciendo a unas pérdidas de energía de 8,7 MWh/año.
- Se graficaron las mediciones y los cálculos de los valores de potencia activa, reactiva y aparente, así como el factor de potencia y se observó que en varias ocasiones en las áreas de Maquinado y Soldadura, desarrollo y Mantenimiento, la potencia reactiva es superior a la activa, conduciendo a un bajo factor de potencia oscilando entre 0,4 y 0,88, causado por los motores que trabajan subcargados y por la existencia de un banco de condensadores fijo.
- Se propone un banco de condensadores con regulación automática de 91 CkVA y la sustitución del transformador de 500 kVA por uno de 300 kVA, trayendo consigo una reducción de pérdidas de energía al año de 10329.96 kWh para un ahorro de 3006,96 CUC/año.
- El factor de potencia con la propuesta oscila alrededor de 0.96 - 0.97, así la empresa no será penalizada mensualmente por bajo factor de potencia. Se obtiene un tiempo de amortización de 25,6 meses.



Recomendaciones

Se recomienda:

- A pesar de los resultados obtenidos se entiende que este trabajo sea útil para posteriores investigaciones en el esquema eléctrico de la empresa.
- Instalar el banco de capacitores propuesto de 91 CkVAr.
- Sustituir la Pizarra General de Distribución de la empresa por otra con mayores prestaciones técnicas que garantice una adecuada protección de los circuitos ramales y las cargas que de ella se derivan.
- Se sugiere trabajar de forma organizativa con las cargas de forma particular y colectiva, de forma que las fases estén lo mas balanceadas posibles.

Bibliografía

- 1) CARRILLO, G; GABRIEL, C. O. Metodología integral para la compensación de la potencia ficticia en sistemas de distribución de energía eléctrica, Simposio Internacional sobre Calidad de Energía Eléctrica celebrado en Bogotá, Colombia.
- 2) CBAGHZOUZ, Y; ERTEM S. Shunt Capacitor Sizing for Radial Distribution Feeder with Distorted Substation Voltages. IEEE Transactions on Power Delivery. 1990, Vol. 5, No. 2, p. 650-657.
- 3) DIEGO-MAS, J. A. Optimización de la distribución en plantas de instalaciones industriales mediante algoritmo genético.[en línea]. [Consultado mayo 2009]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia Disponible en: <<http://www.dpi.upv.es/nueva.html>>.
- 4) Eguluz, L, I. Instrumentación para la Facturación y Minimización del Coste de Energía Eléctrica. 3er Congreso nacional de energía, 1996.
- 5) Eguluz, L, I. Un parámetro más adecuado que el $\cos\phi$. Revista Automatización e Instrumentación. Nº 257. 1995.
- 6) Eguluz, L, I; Benito. Un Factor de Potencia que relaciona las Pérdidas en la Líneas en Circuitos Trifásicos Distorsionados. Actas de las 4tas Jornadas Luso-Espanholas. 1995.
- 7) Electric Distribution Systems Engineering. Third Edition. 1994.
- 8) Electronic components catalogue. Electronics Canada. 2000.
- 9) Energy Efficiency: Some Lighting Basics. Verio Southern California. 2000.
- 10) Espinosa, G. Redes Eléctricas. 1982.
- 11) ESTRADA, G. H; TOVAR, J. H. Metodología para la localización óptima de condensadores Mediante Sensibilidades Lineales. Revista del IEEE América Latina. [en línea]. [Consultado abril 2009]. Disponible en: <http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/vol3issue2April2005.htm>.
- 12) F, Z, Peng; H, Akagi; A. Nabae. A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems - A Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters, IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 26, No. 6, Nov./Dec. 1990.



- 13) Feodorov, A.A; Rodriguez, L. E. Suministro Eléctrico en Empresa Industriales. Editorial Pueblo y Educación. 1980.
- 14) García, Barreto, J. Potencia Reactiva en los Sistemas Eléctricos. Editorial Ciencias Técnicas. 1988.
- 15) García, Barreto, J. Suministro Eléctrico de la Instalación de Automática y Telemecánica. Editorial Ciencias Técnicas. 1988.
- 16) García, G. Método Integral para la Mejora de la Eficiencia en las Instalaciones Eléctricas. Jornadas Hispano- Lucas de Ingeniería Eléctrica. 1997.
- 17) Haug, Ramírez, C. Redes y Sistemas Eléctricos. Editorial Pueblo y Educación. 1986.
- 18) Hernández, Ramírez, G. Eficiencia en los Suministros Eléctricos Industriales de Baja Tensión. Tesis de Maestría. ISMM. 2000.
- 19) LÓPEZ, M. J. Las perturbaciones armónicas y los niveles de CEM en relación a la corrección del factor de potencia. [s.l]: [s.n], [s.a].
- 20) ROMEU, R. A; Aplicación de MATLAB para la compensación de potencia reactiva en redes de distribución de energía vía algoritmos genéticos: conferencia internacional FIE 2008, del Área de interés explotación y optimización de Sistemas de Energía Eléctrica de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
- 21) VIEGO, P. F; ARMAS, M. A de. Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Cienfuegos: Centro de estudios de la Energía y el Medio Ambiente de la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, [s.a].
- 22) VIEGO, P. F; Armas, M. A de. Sistemas Eléctricos Industriales. Universidad de Cienfuegos: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente.





Anexos

