

Trabajo de Diploma En Opción al Título de Ingeniero Eléctrico

**Título: Mejora de la Eficiencia Energética en la “Industria de
Riego UEB Fábrica Plástico Cajimaya”**

Autor: Leonardo Doimeadios Meléndez

Tutores: Ms. C. Osmany Pérez Aballe

Dr. C. Ignacio Romero Rueda

Moa-2016

“Año 58 de la Revolución”



Pensamiento

“Creo en el milagro de lo que puede hacer el trabajo, de lo que puede hacer la ciencia y de lo que pueden hacer los hombres”.

Fidel Castro Ruz.



Agradecimientos

A todas aquellas personas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo; especial gratitud hacia mis tutores, Ms. C. Osmany Pérez Aballe con quien inicio por los caminos de la ciencia, por su dedicación y tenacidad; al Dr. C. Ignacio Romero Rueda como complemento indispensable para lograr el término de esta investigación.

Agradezco a mis compañeros de aula, también se le agradece a los compañeros de la producción, quienes posibilitan la realización de las mediciones.

Agradecimiento especial a mi familia, quienes experimentan cada minuto de tensión y estado de ánimo durante el tiempo en que se desarrolló la investigación.

Por último a quienes colaboraron con el desarrollo de este trabajo y parecen estar ausentes.



Dedicatoria.

A mi madre

Resumen

En el presente trabajo se realiza una mejora de la Eficiencia Energética en la “Industria de Riego UEB Fábrica Plástico Cajimaya”, con el objetivo de mejorar el rendimiento y detectar las causas del bajo factor de potencia que presenta la UEB. Se utilizan los datos expuestos por el metrocontador de la empresa Eléctrica, además de las mediciones generales y puntuales realizadas con el Fluke 435 y Amperímetro de gancho UT232 respectivamente, estos datos evidencian los problemas existentes con respecto al bajo factor de potencia y a la variabilidad del régimen de trabajo que presentan algunas de las maquinas fundamentales. Debido a esto se calcula un banco de capacitores para su ubicación en el nodo central de alimentación, que luego de implementado su uso se espera un factor de potencia de 0,96 que mejorara los parámetros de eficiencia energética, amortizándose en menos de siete meses, debido a la bonificación en el cobro por parte de la empresa Eléctrica.



Summary

In the present work, an Improving Energy Efficiency is done in the "Industry Irrigation UEB Cajimaya Plastic Factory" in order to improve performance and detect the causes of low power factor presented by the UEB. the data presented by the subway company accountant Electric, in addition to the general and specific measurements with the Fluke 435 and ammeter hook UT232 respectively, these data show the problems with respect to low power factor are used and variability work regime that presents some of the basic machines. Because of this a capacitor bank for your location is calculated in the central node of power, which after implemented use power factor of 0,96 to improve the energy efficiency standards are expected amortized in less than seven months due to bonus Electric company.

Índice

Índice	VI
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO I Marco Teórico Conceptual	4
1.0 Introducción	4
1.1 Estado del Arte	5
1.2 Base Teórica de la Investigación	7
1.3 Elementos lineales del Circuito eléctrico	11
1.4 Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico	13
1.5 Calidad de la energía y normas	14
1.5.1 Normas para valorar la Calidad del Suministro de Energía Eléctrica	15
1.6 Compensación de potencia reactiva	18
1.6.1 Dispositivos que influyen en el balance de potencia reactiva	19
1.6.2 Equipos Compensadores de Potencia Reactiva	19
1.6.3 Tipos de compensaciones de reactivos mediante bancos de condensadores	19
1.6.4 Clasificación de los bancos de condensadores a utilizar para la compensación de potencia reactiva	20
1.6.5 Vías para la compensación de potencia reactiva	21
1.7 Beneficios que brinda la compensación de reactivo	22
1.8 Cálculo para la compensación de potencia reactiva	23
1.9 Conclusiones del capítulo	24
CAPÍTULO II. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico	25
2.0 Introducción	25
2.1 Caracterización de la Empresa	25
2.2 Descripción del flujo tecnológico la Empresa Industrial de Riego UEB Fábrica Plástico Cajimaya	27
2.3 Monolineal actualizado de la UEB Plásticos Cajimaya	30
2.4 Instrumentos de medición utilizados	32
2.4.1 Metrocontador Micromaster P2000-C	32
2.4.3 Pinza Amperimétrica digital UT 232	34
2.5 Análisis histórico del comportamiento del factor de potencia. Año 2015 hasta el mes de enero del año 2016	36
2.6 Análisis del comportamiento de las potencias y el factor de potencia en PGD	38
2.7 Mediciones sobre nodos principales y las cargas más representativas	39
2.7 Conclusiones del capítulo	41



CAPÍTULO III. Análisis de los resultados.....	43
3.0 Introducción.....	43
3.1 Cálculo de la Qc necesaria para elevar el factor de potencia en la UEB	43
3.2 Gráficos del comportamiento horario de la potencia reactiva consumida con la compensación en servicio.....	45
3.3 Cálculo de Potencia reactiva	45
3.4 Valoración Económica.....	47
CONCLUSIONES GENERALES	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS	54

INTRODUCCIÓN GENERAL

Sobre la base de la política de ahorro trazada por la dirección del Partido Comunista de Cuba y gobierno, a lo largo de los últimos años, se han llevado a cabo gigantes esfuerzos encaminados a elevar la eficiencia de los procesos productivos de las diferentes ramas industriales, paralelamente con el ahorro de la energía, con vistas a alcanzar los más altos rendimientos económicos. Sin duda alguna, la energía es la fuerza que mueve al mundo de la industria. Por eso es importante saber cómo emplearla de una manera responsable. Sólo aquellos que hacen el mejor uso de la energía pueden prosperar en un mundo en el que la crisis de los energéticos, el alto costo de la energía y las futuras fuentes de obtención son temas de uso común. En la industria moderna, el ahorro de energía es una de las claves para abatir costos y poder competir en el ámbito mundial en una economía cada vez más globalizada.

Actualmente en nuestro país, la baja eficiencia energética es uno de los problemas fundamentales que atentan contra la economía, por lo que se requiere de grandes esfuerzos en su solución, lo que se expresa a través de los grandes cambios y transformaciones que se están llevando a cabo en las empresas productoras de energía eléctrica, en aras de ofrecer un servicio de calidad, económico y con la seguridad requerida. El presente trabajo se centra en resolver los problemas que influyen negativamente en la eficiencia energética del uso de la energía eléctrica, teniendo como objetivo:

Proponer alternativas técnicas y organizativas para el uso eficiente de la energía eléctrica, a partir de un diagnóstico energético en la UEB “Fábrica Plástico Cajimaya. Para el desarrollo de la investigación un factor importante corresponde al análisis de los fundamentales resultados alcanzados por otros autores que han trabajado en el tema de la gestión energética, así como los principales medios y métodos que influirían en su mejora. Este análisis constituye la base para el diagnóstico energético de la situación actual de plástico cajimaya, lo que permite determinar las causas fundamentales que

influyen en la baja eficiencia energética. Los diagnósticos energéticos a menudo crean conciencia sobre el uso racional de la energía, pero su objetivo práctico es lograr procesos energéticamente eficientes y económicamente más rentables. De lo anteriormente planteado se desprende, que si la industria asimila un sistema eléctrico mejorado, repercutirá en menores costos de producción, disminuirán los consumos, las pérdidas eléctricas y económicas, se detectarán de inmediato los problemas tecnológicos.

Situación Problemática: La UEB Fábrica Plástico Cajimaya existe una baja eficiencia energética y es penalizada constantemente en el cobro del portador energético electricidad por bajo factor de potencia, teniendo que destinar parte de su presupuesto anual para suplir dicha penalización, además de mantener una baja operatividad, flexibilidad y confiabilidad del sistema.

Problema de la Investigación: Desconocimiento de los parámetros eléctricos y regímenes de trabajo que provocan la baja eficiencia del sistema de suministro eléctrico de la Industria de Riego UEB Fábrica Plástico Cajimaya.

Objeto de investigación: UEB Fábrica Plástico Cajimaya.

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

Objetivo General: Proponer alternativas técnicas y organizativas para el uso eficiente de la energía eléctrica, a partir de un diagnóstico energético en la UEB Fábrica Plástico Cajimaya.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar el sistema eléctrico de la Empresa Industrial de Riego UEB Fábrica Plástico Cajimaya.
- Proponer medidas para mejorar el sistema de suministro eléctrico de la UEB.
- Realizar una evaluación técnico económico.

Hipótesis: Si se realiza un diagnóstico energético y se toman las medidas para mejorar el factor de potencia, se logrará disminuir en gran medida las pérdidas de la energía eléctrica en la industria.



Tareas:

- Revisión bibliográfica sobre el tema de investigación.
- Evaluación de la eficiencia del sistema eléctrico en la empresa a través de las mediciones.
- Establecimiento de un sistema de medidas para mejorar la eficiencia energética.
- Análisis económico del proyecto.

Resultados esperados:

- Comparar el sistema de suministro actual de Plástico mostrando sus ventajas y desventajas.
- Mejorar la eficiencia energética en la Empresa Industrial de Riego
UEB Fábrica Plástico Cajimaya

CAPÍTULO I Marco Teórico Conceptual

1.0 Introducción

La reducción del consumo de energía, y de los costos asociados a ella es imprescindible en la situación actual de la economía de nuestro país. Reducir la factura mensual de la compañía eléctrica es un desafío continuo. Para muchas empresas 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, hay una parte de la factura que puede ser reducida sin alterar la utilización de la energía, el factor de potencia por ejemplo representa una parte significativa de la facturación, cuando se encuentra fuera de parámetro.

Son conocidos los problemas causados por un bajo factor de potencia en sistemas eléctricos, como son las fluctuaciones de voltajes, funcionamiento inadecuado de máquinas y aumento de pérdidas, lo que en definitiva se traduce en una reducción de la capacidad y eficiencia eléctrica del sistema. La solución ampliamente utilizada ha sido la instalación de bancos de condensadores para la compensación de potencia reactiva.

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

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

1.1 Estado del Arte

Desde hace unos años, se está registrando en todos los países industrializados una creciente sensibilidad hacia la “calidad del producto electricidad” o, dicho de otra forma, hacia la “calidad de energía”.

Las alteraciones de la “calidad de la energía” tienen lugar en los propios procesos de producción, transporte y distribución, así como en su utilización por determinados tipos de receptores. Son, por lo tanto, inevitables.

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

Según (Palma), realiza un estudio de la carga de los motores asincrónicos y su incidencia sobre el reactivo, sin embargo no tiene en cuenta las mejoras del factor de potencia a través de la disminución del reactivo.

(De Quesada), realiza la optimización de reactivo en circuitos eléctricos industriales a través de capacitores, y llega a la expresión para obtener los beneficios económicos anuales máximos.

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

En el trabajo de (Campos, Gómez, Santos), proponen las herramientas básicas y procedimientos para programas de control y mejoramiento de la eficiencia energética en empresas de producción y servicios.

Marrero, 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.

En materia de eficiencia energética, González, 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 industria, a manera de diagnóstico (cuánta energía se consume, dónde se consume, qué cantidad de ella se desperdicia), 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.

Para la compensación de reactivo, algunos autores (Estrada, G. H; Tovar, J. H;) 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.

Además (Viego), P.F; de Armas, M.A en 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.

1.2 Base Teórica de la Investigación

Con el objetivo de determinar el basamento teórico necesario que sustentara la investigación pretendemos dejar definidos los principales conceptos sobre el tema y las expresiones matemáticas que se utilizarán.

Conceptos Básicos

Los siguientes conceptos son básicos para una buena comprensión de la eficiencia energética.

Eficiencia: Es la optimización de los recursos utilizados para la obtención de los resultados u objetivos previstos.

Eficacia: Es la contribución de los resultados obtenidos al cumplimiento de los objetivos trazados.

Efectividad: Es la generación sistemática de resultados consistentes integrando eficacia y eficiencia.

Eficiencia energética

Es la optimización de los recursos energéticos para alcanzar los objetivos económicos de la Empresa, implica lograr un nivel de reducción o servicios, con

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

Factor de potencia

Se define factor de potencia, FP, de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S, o bien como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, designándose en este caso como $\cos(\varphi)$, siendo φ el valor de dicho ángulo.

Energía

Se puede concebir como el nivel de capacidad que tiene un cuerpo en un determinado instante para realizar un trabajo.

Una ley fundamental enuncia que “la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma”. Esto significa que, la suma de todas las energías sobre una determinada frontera siempre permanece constante.

La energía es el alimento de toda actividad humana: mueve nuestros cuerpos e ilumina nuestras casas, desplaza nuestros vehículos, nos proporciona fuerza motriz y calor.

Energía activa

Todas las máquinas eléctricas alimentadas en corriente alterna convierten la energía eléctrica suministrada en trabajo mecánico y calor. Esta energía se mide en kWh y se denomina energía activa. Los receptores que absorben únicamente este tipo de energía se denominan resistivos.

Energía reactiva

Ciertos receptores necesitan campos magnéticos para su funcionamiento (motores, transformadores) y consumen otro tipo de energía denominada energía reactiva.

El motivo es que este tipo de cargas (denominadas inductivas) absorben energía de la red durante la creación de los campos magnéticos que necesitan para su funcionamiento y la entregan durante la destrucción de los mismos. Este trasiego de energía entre los receptores y la fuente provoca pérdidas en los conductores, caídas de tensión en los mismos, y un consumo de energía suplementario que no es aprovechable directamente por los receptores.

Potencia activa

Es la potencia útil, capaz de producir calor o trabajo, la que se aprovecha en forma efectiva en un aparato calefactor, en un motor, como se muestra en la ecuación 1.1.

$$P = V \cdot I \quad \text{en kW} \quad (.)$$

En corriente alterna las ecuaciones que se aplican son:

Sistema monofásico:

$$P = V \cdot I \cos \varphi \quad \text{en kW} \quad (.)$$

Sistema trifásico: en dependencia de la conexión si es estrella o delta se utilizan las ecuaciones siguientes en ese mismo orden.

$$P = 3V \cdot I \cos \varphi \quad \text{en kW} \quad (.)$$

$$P = \sqrt{3} V \cdot I \cos \varphi \quad \text{en kW} \quad (.)$$

Donde φ es el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente.

Potencia reactiva

Es la potencia necesaria para establecer el campo magnético en las máquinas eléctricas construidas con elementos inductivos.

Las ecuaciones que se aplican son las siguientes:

Sistema monofásico:

$$Q = V \cdot I \sin \varphi \quad \text{en kVAR} \quad (.)$$

Sistema trifásico: también en dependencia de la conexión se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$Q = 3V \cdot I \sin \varphi \quad \text{en kVAR} \quad (.)$$

$$Q = \sqrt{3}V \cdot I \sin \varphi \quad \text{en kVAR} \quad (.)$$

Potencia aparente

El producto de la corriente por la tensión se denomina potencia aparente y se simboliza a través de S.

$$S = V \cdot I \quad \text{en kVA} \quad (.)$$

Las potencias P, Q y S están relacionadas entre sí de la misma forma que los lados de un triángulo recto cuyos catetos, sean las potencias activas (P) y reactivas (Q), y cuya hipotenusa sería la potencia aparente (S).

Del triángulo de potencia Figura 1.1 la potencia aparente se determina como la suma geométrica de las potencias activa y reactiva. (Petrovna)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{en kVA} \quad (.)$$

donde:

$$P = S \cos \varphi \quad \text{en kW} \quad (.)$$

$$Q = S \sin \varphi \quad \text{en kVAR} \quad (.)$$

En la figura 1.1 se muestra la relación que existe entre el $\cos \varphi$ con las potencias.

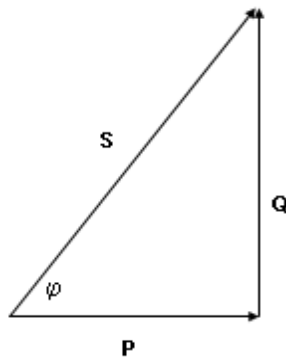


Figura 1.1 Triángulo de potencia

1.3 Elementos lineales del Circuito eléctrico

En los circuitos eléctricos podemos encontrar los siguientes elementos:

Elementos resistivos

Resistivo: R en ohm.

Elementos reactivos

Inductivo: $X_L = 2\pi fL$ en ohm (.)

Capacitivo: $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ en ohm (.)

f - frecuencia

C - capacitancia

L – inductancia

Tipos y Fuentes de Corriente

Continua.- Pilas convencionales, baterías, generadores de corriente continua.

Alterna.- Generadores sincrónicos de las centrales eléctricas, las mismas que pueden ser hidráulicas, térmicas, eólicas.

Consumos lineales

Los consumos lineales se clasifican como:

Resistivos: planchas, hornillas, calentadores, ollas eléctricas, lámparas incandescentes.

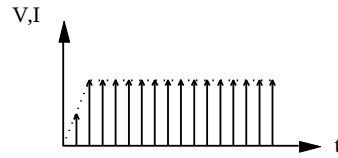
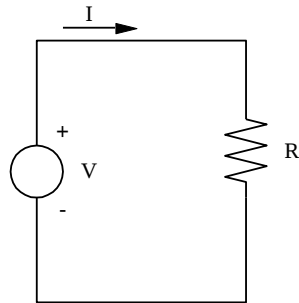


Figura.1.2 Consumo lineales resistivos.

Inductivos: motores, lámparas fluorescentes.

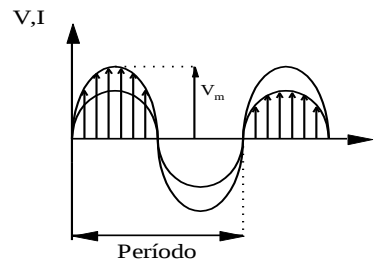
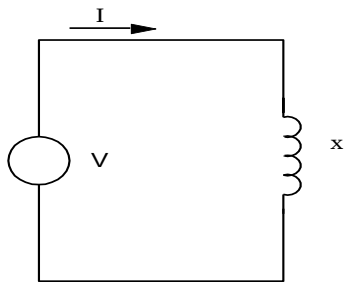


Figura. 1.3 Consumo lineales inductivos.

Capacitivos: condensadores

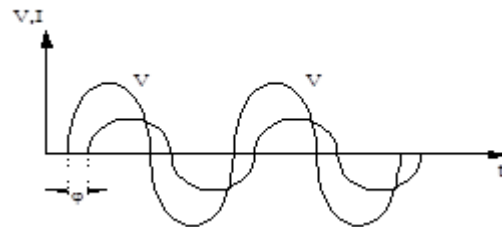
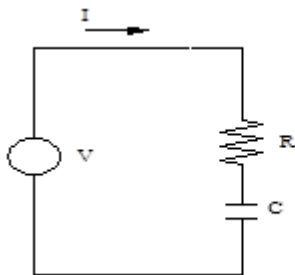


Figura. 1.4 Consumo lineales capacitivos

Consumos no lineales

- Equipos basados en dispositivos de la electrónica de potencia, como diodos, transistores, tiristores.
- Computadoras

- Sistemas de control
- Artefactos electrodomésticos
- Sistemas de regulación
- Generan armónicos en la red eléctrica.

1.4 Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico

El término diagnóstico es asociado comúnmente con el área médica, definiéndose como un conjunto de signos o síntomas particulares de una enfermedad, a partir de los cuales el médico toma las medidas necesarias para combatir los agentes que la causaron. De manera análoga el “diagnóstico energético” efectúa una serie de técnicas de exploración y evaluación que permiten determinar el grado de eficiencia/deficiencia que tiene una empresa.

Tiene como base la identificación del consumo energético, que puede definirse como la respuesta a la pregunta ¿Cómo, dónde y cuánta energía es empleada o desperdiciada? En sistemas, además del análisis del consumo energético se requieren los perfiles energéticos, lo cual permite establecer las áreas potenciales de ahorro de energía.

Tipos de diagnósticos energéticos empleados

Diagnóstico de primer grado:

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

Diagnóstico de segundo grado:

- Estudio de las fuentes de energía de la subestación.

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

Diagnóstico de tercer grado:

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

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

1.5.1 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

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) que se muestran en la tabla 1.1:

Tabla 1.1 Perturbaciones en diferentes clases de entornos electromagnéticos

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

Norma IEEE 519-1992

En 1981, el Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE) elaboró el estándar IEEE 519-1992 titulado “Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia” (Haug 1985.). 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, ver ecuación 1.14.

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

donde:

V_h : Armónicos de tensión, (V).

V_1 : Tensión real, (V).

Este índice presenta la ventaja de que es fácil y rápido de calcular, pero no permite la obtención del espectro total de la señal. Un valor comúnmente utilizado como frontera entre alta y baja distorsión es el correspondiente a un THD igual a 5%. Sin embargo, este valor es demasiado alto para ser permitido en sistemas de transmisión, pero para algunos sistemas de distribución es válido. El estándar IEEE 519-1992 establece límites para los niveles de distorsión de tensión para las compañías suministradoras de energía. Estos límites están en función del nivel de la tensión del sistema de suministro, tal y como lo muestra en la tabla 1.2.

Tabla .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 1.15.

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

donde:

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, mejora de la regulación de tensión y equilibrado de la carga. Realizando énfasis en la mejora del factor de potencia podemos decir que dada la influencia que tiene en la factura energética, es sin duda la función más conocida de la compensación reactiva. Consiste en generar reactiva allí donde se consume. En general, se busca un

factor de potencia cercano a (0,95), ya que el valor del factor de potencia igual a 1 no supone una mejora sustancial en el rendimiento y es un objetivo mucho más costoso.

1.6.1 Dispositivos que influyen en el balance de potencia reactiva

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

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

1.6.2 Equipos Compensadores de Potencia Reactiva

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

- Bancos de condensadores.
- Condensadores sincrónicos (motores sincrónicos sobreexcitados).
- Compensadores activos (basados en electrónica de potencia: SVC, FACTS) ver anexo 4.

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

1.6.3 Tipos de compensaciones de reactivos mediante bancos de condensadores

Compensación central con banco automático:

Este tipo de compensación ofrece una solución generalizada para corregir el factor de potencia ya que la potencia total del banco de condensadores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía, los

cuales, suministran la potencia reactiva demandada por diversos equipos con diferentes potencias y tiempos de operación.

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

Ventajas:

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

Desventajas

La desventaja de corregir el factor de potencia mediante la compensación centralizada, es que las diversas líneas de distribución no son descargadas de la potencia reactiva, además, se requiere de un regulador automático en el banco de condensadores para compensar la potencia reactiva, según las necesidades de cada momento.

Compensación combinada

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

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

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

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

- Controlados por tiempo.
- Controlados por voltaje.
- Controlados por corriente.
- Controlados por factor de potencia.

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

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

1.6.5 Vías para la compensación de potencia reactiva

Compensación global

Ventajas:

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.

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

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

Observaciones:

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

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

Compensación parcial

Ventajas:

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.

Optimiza una parte de la instalación,

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

Compensación individual

Ventajas:

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.

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

1.7 Beneficios que brinda la compensación de reactivo

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

- Aumentar la capacidad del sistema eléctrico para entregar energía activa.
- Mejorar la calidad del voltaje.
- Disminuir las pérdidas en el sistema de suministro eléctrico.
- Disminuir el costo de energía eléctrica.
- Postergar inversiones por necesidades de refuerzos.
- Aumento de los márgenes de reserva de potencia reactiva frente a eventuales perturbaciones.

- Minimizar costos de operación del sistema; evitar restricciones al despacho económico; prevenir colapsos de tensión y mantener márgenes de seguridad.
- Mejora del margen de estabilidad estacionaria y transitoria del sistema.

1.8 Cálculo para la compensación de potencia reactiva

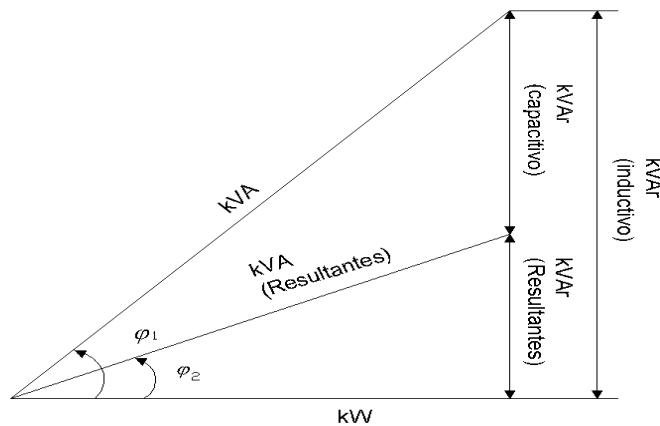


Figura.1.5: Reducción del ángulo φ mediante la conexión de una cantidad determinada de potencia reactiva capacitiva al circuito.

En este caso:

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

Y para el nuevo ángulo luego de la corrección:

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

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

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (.)$$

donde:

Q_C : Capacidad del banco a instalar, (ckVAr).

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)

$$S_2 = S \left(\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right) \quad (.)$$

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

Potencia activa liberada (PL).

$$P_2 = P_1 \left(\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right) \quad (.)$$

$$P_L = P_1 \cdot P_2 \quad (.)$$

Reducción de corriente (IL).

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos \varphi_1 \quad (.)$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos \varphi_2 \quad (.)$$

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

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 mostró las principales normas de calidad de la energía por las cuales se rige la investigación. El Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico, ha determinado el grado de eficiencia que tiene la UEB.

CAPÍTULO II. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico

2.0 Introducción

Para la localización óptima de bancos de condensadores en redes de distribución se debe tener en cuenta tanto aspectos técnicos como económicos. Ambas perspectivas, vistas separadas o en conjunto, constituyen universos llenos de posibilidades. A medida que el sistema eléctrico de una empresa crece, la compensación reactiva se hace cada vez más necesaria para lograr los niveles adecuados de tensión y capacidad instalada. El presente trabajo está dirigido al estudio de la asignación óptima de compensación reactiva en sistemas eléctricos de potencia. En el presente capítulo se expone todo lo relacionado con la instalación objeto de estudio donde se realizará una caracterización del mismo, el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas de la instalación en las barras principales y en los equipos de mayor demanda.

2.1 Caracterización de la Empresa

La Empresa Industrial de Riego UEB Fábrica Plástico Cajimaya ubicada en Carretera a Felton km. 2 ½ tiene como objeto social la producción de tuberías y accesorios con proceso de extrusión e inyección de termoplásticos que utiliza la energía eléctrica para el calentamiento y la transformación de las materias primas, estas producciones son utilizadas en la agricultura, la construcción, telecomunicaciones, y otras esferas de la vida social.

Con anterioridad a este trabajo por motivo de penalizaciones por bajo factor de potencia se hizo un estudio de carga y capacidad con la idea de instalar un banco de condensadores para aumentar el factor de potencia, se logró poner en marcha esta inversión que en lo adelante cumplió sus funciones, aumentando el Factor de potencia, lo que conlleva la eliminación de la penalización por este concepto durante el tiempo que funcionó correctamente, pues con el paso del tiempo presentó problemas los condensadores.



El transformador instalado en la empresa inicialmente fue concebido para el consumo que genera la explotación óptima de la capacidad instalada pero por motivos económicos y el deterioro de la tecnología se generan menores consumos de energía.

La empresa tiene como objetivos principales:

- La producción, distribución y comercialización a las diferentes instituciones y a la población de tuberías, conexiones, válvulas, accesorios y productos de alta demanda, obtenidos a partir de la transformación de materiales termoplásticos y caucho para uso doméstico e industrial.
- Brindar servicios de ventas directas a trabajadores de producciones plásticas no comercializables o fuera del encargo estatal.
- Prestar servicio de asesoría técnica para el montaje de instalaciones hidráulicas, sanitarias y eléctricas, a personas naturales y jurídicas.
- Prestar servicio de maquinado y corte de metales a personas naturales y jurídicas.
- Brindar servicios de transportación de cargas de las producciones de la entidad a personas naturales y jurídicas.
- Brindar servicios de transportación de personal a personas naturales y jurídicas.

Misión:

La misión de nuestra organización es proporcionarles a nuestros clientes una solución factible y rentable de servicios y productos en sistema de riego y producciones mecánicas que satisfagan sus necesidades tecnológicas de instalación y mantenimiento.

Visión:

Ser una empresa que se integre a las necesidades tecnológicas de nuestros clientes garantizando una gestión flexible y adaptable a sus expectativas, prestando un servicio de ingeniería confiable, en constante aprendizaje y desarrollo, de forma segura y sostenible, incrementando la sustitución de importaciones e insertándonos en el mercado internacional.

Proceso de Inyección

Es el proceso encargado de transformación de los materiales poliméricos (material plástico, preferentemente termoplástico) el material es inyectado a altas presiones y gran velocidad a un molde que le da configuración semielaborada (O. LAGUNA CASTELLNOS 1990).

Proceso de extrusión de tuberías

Este proceso consiste en fundir una resina mediante la aplicación de calor y presión en un cilindro hueco o cámara y forzarlo por medio de un tornillo a pasar por un cabezal de medidas exactas para obtener de forma continua la masa plastificada del polímero. (GRROOSO 1992).

La operación se realiza en un extrusor, máquina cuya función es proporcionar un material plastificado, térmicamente homogéneo y a velocidad constante.

Existen varios tipos de extrusoras. El más usual es el que consta de un solo tornillo que gira por la acción de un motor y de un reductor de velocidad y se encuentra dentro de una cámara provista de sistemas de calentamiento, enfriamiento y control de temperatura. Esto es válido para el PE y el PVC.

2.2 Descripción del flujo tecnológico la Empresa Industrial de Riego UEB Fábrica Plástico Cajimaya

Para la alimentación de energía se cuenta con un transformador de 1000 kVA y una subestación con un metro contador para medir el consumo en el horario día, horario pico, horario madrugada, la demanda, el reactivo y el factor de potencia.

Actualmente en el mundo y en Cuba se utiliza tres tipos fundamentales de tecnología para la producción de Plásticos, estos son; la tecnología de transformación de Plásticos por extrusión con la que se producen fundamentalmente tuberías, perfiles y películas, tecnología de transformación de Plásticos por inyección utilizada para la producción de accesorios y algunos tipos de envases y la tecnología de producción de plásticos por soplado, utilizado para la producción de envases.



En todos los casos es común la utilización de sistema auxiliares fundamentalmente el de tratamiento de agua y el de aire comprimido, el agua es enfriada hasta aproximadamente 15 °C y utilizada en el enfriamiento y rápido endurecimiento del plásticos para lograr moldearlo y el aire comprimido se utiliza para los sistemas de accionamiento y movimiento de los diferentes mecanismos. Además de las características anteriores la tecnología del plástico como casi todas las utilizadas actualmente tienen un alto grado de automatización utilizando para ello muchos motores de corriente directa con regulación automática de la velocidad y una gran cantidad de motores asíncronos de baja y media potencia con regulación automática de la carga lo cual provoca que en muchas ocasiones estas trabajan con muy poca carga o ninguna o sea en vacío.

La Empresa Plásticos Cajimaya surgida en pleno período especial y concebido en sus inicios para la producción de tuberías y accesorios para los sistemas de riego en la agricultura inició sus producciones en el año 1992. La Empresa para el desarrollo de su producción principal cuenta con dos talleres de transformación de plásticos equipados en uno de ellos, el de extrusión con tecnología italiana marca BANDERA consistente en 7 líneas de extrusión para la producción de mangueras y tubos de las cuales 5 son monotornillo para mangueras de polietileno de baja y alta densidad de diámetro entre 6 – 75 mm, 2 bitornillo para tubos de PVC entre 16 – 200 mm. Cada una de estas maquina tiene dos motores de CD gobernado por un convertidor CA/CD de 6 pulsos a tiristores, la carga de estos motores varia en dependencia de las características constructiva de la tubería que se esté fabricando; espesor y velocidad de salida así como de las propiedades físicas del material plástico utilizado, estas variaciones oscilan entre un 25 % y 65 % de la potencia nominal.

Por otra parte estas máquinas cuentan además con 18 motores asíncronos de baja potencia cada uno los cuales mueven carga formada fundamentalmente por bombas que trabajan en muchos casos con caudal variable o ventiladores que trabajan en régimen breve repetido; todas ellas como parte del conjunto que forma la maquina automática para la extrusión de tuberías plásticas.



Contamos con un taller de inyección equipado con 11 máquinas marca SANDRETTO del año 1991, de tecnología italiana de las cuales 1 de 40 Tn de fuerza de cierre, 3 de 60 Tn, 3 de 95 Tn, 3 de 150 Tn y 1 de 360 Tn, todas automáticas con un sistema select 90, serie 8 excepto la de 40Tn que es serie 7, las cuales son las encargadas de la fabricación de accesorios y embaces Plásticos. Esta máquina cuenta como parte fundamentales con una bomba hidráulica encargada de suministrar la presión necesaria para el movimiento de los cilindros y motores hidráulicos que accionan las partes móviles de la máquina durante el ciclo de trabajo para la fabricación de una pieza determinada, dicho ciclo o moldeada cuenta con 6 etapas que serían:

- Plastificación.
- Inyección.
- Enfriamiento.
- Apertura del molde.
- Expulsión
- Cierre del molde

Etapas estas que se repiten continuamente y de forma automática durante la fabricación de cada pieza, como es de esperarse este régimen de trabajo hace que el consumo de corriente activa y reactiva de estos motores varíe constantemente trayendo las constantes afectaciones al factor de potencia, pues gran parte del ciclo el motor trabaja con muy poca carga o con casi ninguna.

Además, la fábrica cuenta con los sistemas auxiliares integrados por un taller de herramental para el mantenimiento y reparación de los utillajes y herramientas (moldes y cabezales) utilizados en la transformación del plástico. El taller antes mencionado cuenta con diferentes máquinas herramientas como son tornos, rectificadoras planas y cilíndricas, fresadoras de diferentes tipos, taladros, amoladora bilateral entre otros.

Forma parte también de las plantas auxiliares, el sistema de enfriamiento y circulación de agua tecnológica, así como el de aire comprimido.



El aire comprimido lo suministra un compresor de fabricación española cuyo motor cuenta con una potencia de 55 kW.

El sistema de circulación de agua lo forman 5 bombas cuya potencia se encuentra entre los 20 y 30 kW y el sistema de enfriamiento 2 bombas de 30 kW y cuatro compresores de amoníaco, todos ellos con más de 10 años de explotación.

Como regla general la Empresa se puede considerar que utiliza una tecnología limpia en comparación con otras que existen en el país y en el mundo, pero realmente conocemos que tiene su grado de contaminación que no es tan elevado pero existe.

2.3 Monolineal actualizado de la UEB Plásticos Cajimaya.

Utilizando el software BENTLEY MICROESTATION V8.0 se diseña el monolineal que se muestra en la figura 2.1 y en una versión ampliada en formato A3 en el Anexo 5, fue necesario la actualización de los datos, de cada uno de los componentes del sistema, a través de mediciones directas, datos de chapa de los equipos instalados y consultas a los especialistas de los talleres.

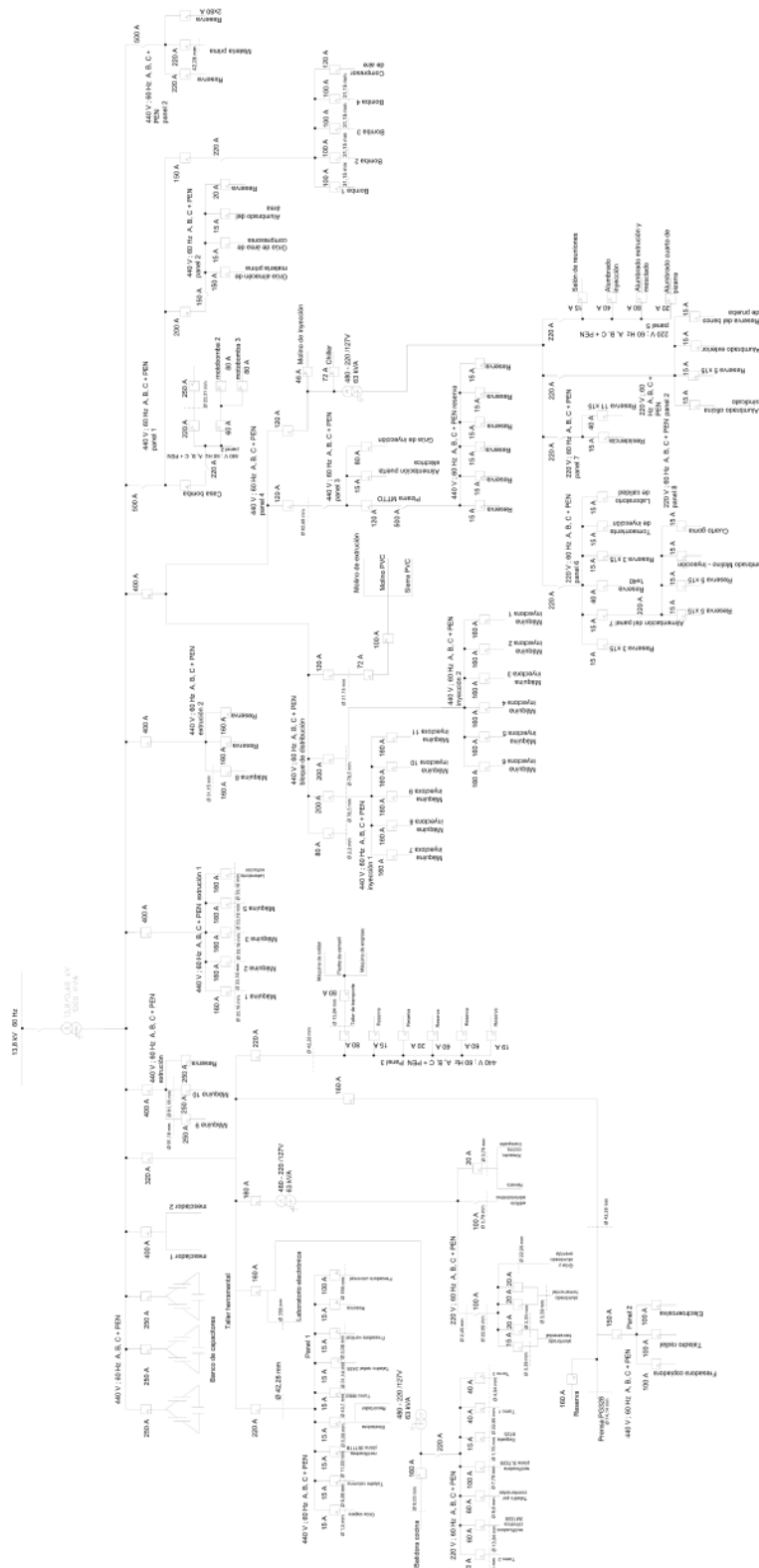


Figura 2.1 Monolineal actualizado de la UEB Plásticos Cajimaya

2.4 Instrumentos de medición utilizados

2.4.1 Metrocontador Micromaster P2000-C

Es un medidor inteligente trifásico que es totalmente compatible con la norma IEC 62053-21 precisión Clase 1 / EN50470 Clase A y B para los contadores de energía activa kWh, y opcionalmente IEC 62053-23 Clase 2 para kvarh reactiva. Con amplias características, incluyendo las para medición residenciales y comerciales. En la figura 2.2 se muestra una vista frontal.

Incluye componentes físicos ajustables, procesamiento digital de señales, filtrado digital, corrección de errores digitales, calibración digital, inmunidad a la fluctuación de la temperatura, y una excelente estabilidad.



Figura 2.2 Metrocontador Micromaster P2000-C

Especificaciones técnicas

- Normas IEC 62053-21, DLMS / COSEM, ES 50470.
- Tipo de prueba por KEMA, MID Anexo Aprobado “B” y “D”.
- Precisión: 1, 0,5 S, IEC 62053-21, IEC 62053-22.
- Medición de energía de kWh activos, y opcionalmente kvarh reactiva.
- Tiempo de uso por 4 tarifas, con mesas y diarias de la temporada grabación de perfil de carga (opcional).
- Comunicación por sensor óptico, RS232 / 485, o GSM / GPRS Protocolos IEC 62056-21, MODBUS, y DLMS / COSEM.



- El control de carga por el relé 100^a interno para la desconexión de energía
- Lectura del medidor en la pantalla LCD y mediante la comunicación de red .durante el apagado (opcional).
- Tapa del terminal transparente para comprobar fácilmente las conexiones de cable.

2.4.2 Analizador Fluke 435

El analizador Fluke 435 como se muestra en la figura 2.3 ofrece una completa serie de potentes funciones para la comprobación de sistemas de distribución eléctrica. Algunas de estas funciones permiten obtener una visión general del funcionamiento del sistema eléctrico, mientras que otras sirven para examinar detalles específicos.

Dispone de funciones adicionales, como transmisión de señales, registro, precisión de entrada de tensión de 0,1% conforme a la norma IEC61000-4-30 2003 Clase A, memoria adicional para almacenar datos de registro, software de registro de potencia, pinzas amperimétricas flexibles y un maletín con ruedas de alta resistencia.

Para poder conectarlo el analizador cuenta con 4 entradas BNC para pinzas amperimétricas y 5 entradas tipo banana para las tensiones.

Se colocan primero las pinzas amperimétricas alrededor de los conductores de fase A (L1), B (L2), C (L3) y N (Neutro). Las pinzas están marcadas con una flecha que indica la polaridad de señal correcta.



Figura: 2.3 Analizador *Fluke 435*

A continuación, se lleva a cabo las conexiones de tensión: se comienza con la toma de tierra y luego se sigue con N, A (L1), B (L2) y C (L3), sucesivamente. Para obtener un resultado correcto cuando se realicen las medidas, y conectar siempre la entrada de tierra. Comprobar siempre dos veces las conexiones. Asegurarse de que las pinzas amperimétricas están firmemente conectadas y completamente cerradas alrededor de los conductores.

Para medidas monofásicas, utilice la entrada de corriente A (L1) y las entradas de tensión de tierra, N (Neutra) y fase A (L1). A (L1) es la fase de referencia para todas las medidas.

Antes de realizar ninguna medida, configurar el analizador para la tensión, frecuencia y configuración del cableado del sistema eléctrico que se desea medir.

Las pantallas de osciloscopio y diagrama fasorial resultan útiles para comprobar si los cables de tensión y las pinzas amperimétricas están conectadas correctamente. En el diagrama vectorial, las corrientes y tensiones de fase L1 (A), L2 (B) y L3 (C) deben aparecer sucesivamente cuando se observan en el sentido de las agujas del reloj.

2.4.3 Pinza Amperimétrica digital UT 232

La pinza amperimétrica digital es un instrumento multifuncional. Garantizan un análisis muy preciso de los diferentes factores de potencia, realizado de forma



rápida y precisa, lo que permite una subsanación de posibles problemas. Los valores de medición obtenidos pueden ser enviados a voluntad al ordenador y ser procesados. El contenido del envío contiene todo lo que necesita para efectuar las mediciones y el análisis (incluido el software y el cable de datos) en la figura 2.4 se muestra el dispositivo.

La pinza amperimétrica digital posee las siguientes características, y permite efectuar las siguientes mediciones típicas:

- Medición indirecta (1 a 3 fases) mediante la pinza integrada
- Mediciones de potencia:
 - Potencia activa (kW)
 - Potencia aparente (kVA)
 - Potencia reactiva (kVAR)
 - Factor de potencia ($\cos \varphi$)
 - Ángulo de fase
 - Integrador de energía activa (kWh)
- Mediciones de multímetro:
 - Valor efectivo real / tensión
 - Valor efectivo real / corriente
 - Frecuencia
 - Temperatura
- Registrador de datos de 99 valores visualizables en pantalla
- Memoria para los valores mínimo, máximo y Data-Hold
- Modo de calibración interna
- Indicación del estado de batería
- Selección de rango automática

La pinza amperimétrica compacta de potencia y energía para mediciones de 0,0... 600 kW / 0,0... 1000 A. La gran pantalla con iluminación de fondo de la pinza medidora de potencia le muestra varios valores de medición de forma simultánea.



Figura 2.4 Pinza Amperimétrica digital UT232

2.5 Análisis histórico del comportamiento del factor de potencia. Año 2015 hasta el mes de enero del año 2016

En la Fábrica Plásticos Cajimaya presenta una alimentación eléctrica trifásica desde la red de distribución eléctrica. (34,5 kV). Para la entrada de alimentación cuenta un transformador de 1000 kVA con conexión delta/estrella aterrada y voltajes de 480–220/110 V.

En la tabla que se presenta a continuación (tabla 2.1) se aprecia el comportamiento del consumo de energía en el año 2015 y hasta el mes de enero del 2016. También podemos ver como se comportó la facturación y la penalización por bajo factor de potencia.

En los meses que se analizan podemos observar que por bajo factor de potencia se penaliza por un valor de 9000,91 CUC para un total de energía facturado de 211865,49 CUC esto representando el nivel de penalización un 4,24 % del total facturado. En el mes de diciembre al parecer se realizó un reajuste de la medición, al encontrarse el factor de potencia en 0,9.

Tabla 2.1: Comportamiento de la energía según la empresa eléctrica en el año 2015 y hasta Enero 2016.

Mes Facturado	Energía Activa	Energía Reactivo	FP	Pena. FP CUC	Total CUC	% Penal del
---------------	----------------	------------------	----	--------------	-----------	-------------



						total
ene-16	60562	36692	0,85	743,96	13391,34	5,56
dic-15	48520	291377	0,90	0,00	10359,92	0,00
nov-15	56629	36430	0,83	996,93	12817,70	7,78
oct-15	60077	39103	0,83	1033,55	13288,46	7,78
sep-15	61660	45185	0,80	1730,14	15571,29	11,11
ago-15	86296	50817	0,86	870,91	19595,39	4,44
jul-15	97415	59206	0,85	1236,55	22488,91	5,50
jun-15	91147	53826	0,86	890,60	20038,45	4,44
my-15	67324	37473	0,87	506,08	15182,31	3,33
abr-15	55351	29068	0,88	278,82	12546,94	2,22
mar-15	78415	38651	0,89	187,51	16876,22	1,11
feb-15	100456	53073	0,88	525,86	23768,73	2,21
ene-15	70037	33250	0,90	0,00	15939,83	0,00

Se puede analizar el comportamiento del Factor de Potencia que oscila entre 0,80 y 0,9 durante el año 2015 y hasta Enero 2016.

En la Tabla 2.1, se observa el comportamiento del factor de potencia con la facturación de la energía activa y reactiva en los meses que se analizan. Como se puede apreciar en la figura 2.5 en el mes de diciembre del 2015 el consumo de energía reactiva se elevó a 291377 kWh es fácil apreciar que no tiene nada que ver la medición del factor de potencia y la demanda consumida en la instalación, debido a que con la subida de la energía reactiva debe bajar el factor de potencia y no ocurre así, debido a esto se realizó un reajuste de la medición.

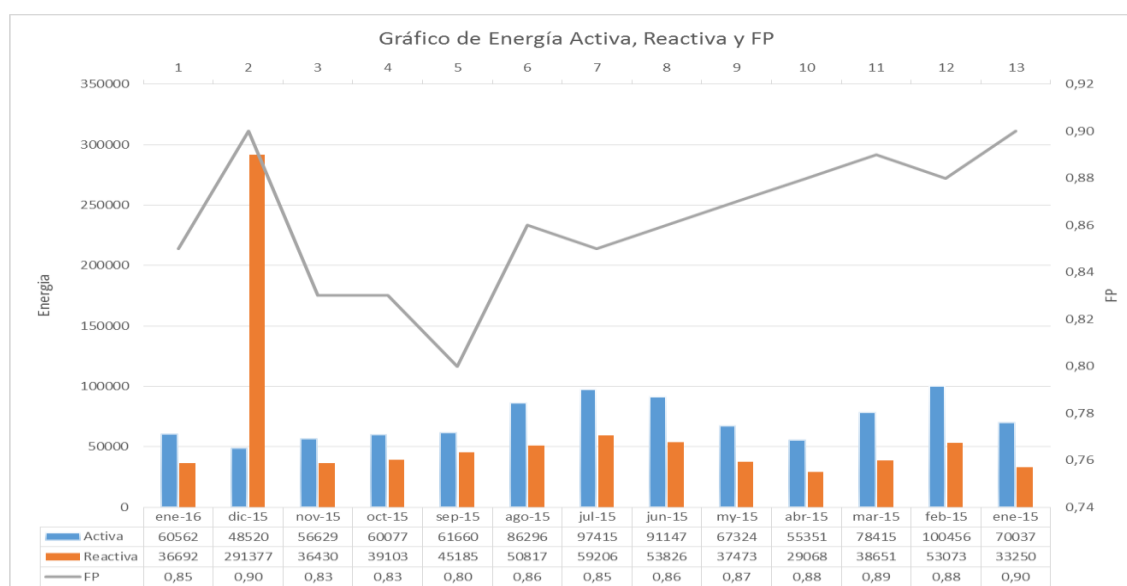




Figura: 2.5 Gráfica de comportamiento de la energía y Factor de potencia.

La energía activa tiene valores en todos los casos por encima de energía reactiva excepto en el mes de diciembre, como se aprecia en la gráfica 2.5 el valor máximo alcanzado de energía activa fue en el mes de febrero del 2015 con valores de 100456 kW y el valor mínimo fue en el mes de diciembre con valores de 48520 kVAr.

2.6 Análisis del comportamiento de las potencias y el factor de potencia en PGD

Las mediciones se realizaron desde el 27 de enero al 16 de febrero del 2016. Para realizar los registros se utilizó el analizador de redes *FLUKE 435*. Se analizaron las variables principales para este caso, donde se incluyen: 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.

El analizador de redes fue instalado a la entrada de la Pizarra General de Distribución se realizaron mediciones cada 15 minutos.

De las mediciones realizadas escogimos el día más representativo y lo llevamos a una gráfica que podemos ver los valores de potencia activa, reactiva y el factor de potencia.

Los resultados de las mediciones se muestran en el anexo 2, estas tienen en cuenta con los valores promedios, como podemos observar en la tabla el valor máximo de potencia activa fue registrado a las 14:19 horas y fue de 208,50 kW a las 13:08 horas y el valor mínimo detectado fue de 27,70 kW a las 21:49 horas, la potencia reactiva se comportó de la siguiente manera: como valor máximo tenemos un valor de 451,50 kVAr las mediciones a las 12:04, y el valor mínimo lo tenemos a las 21:49 de 25,4 kVAr. En la gráfica 2.6 se pueden apreciar estos valores.

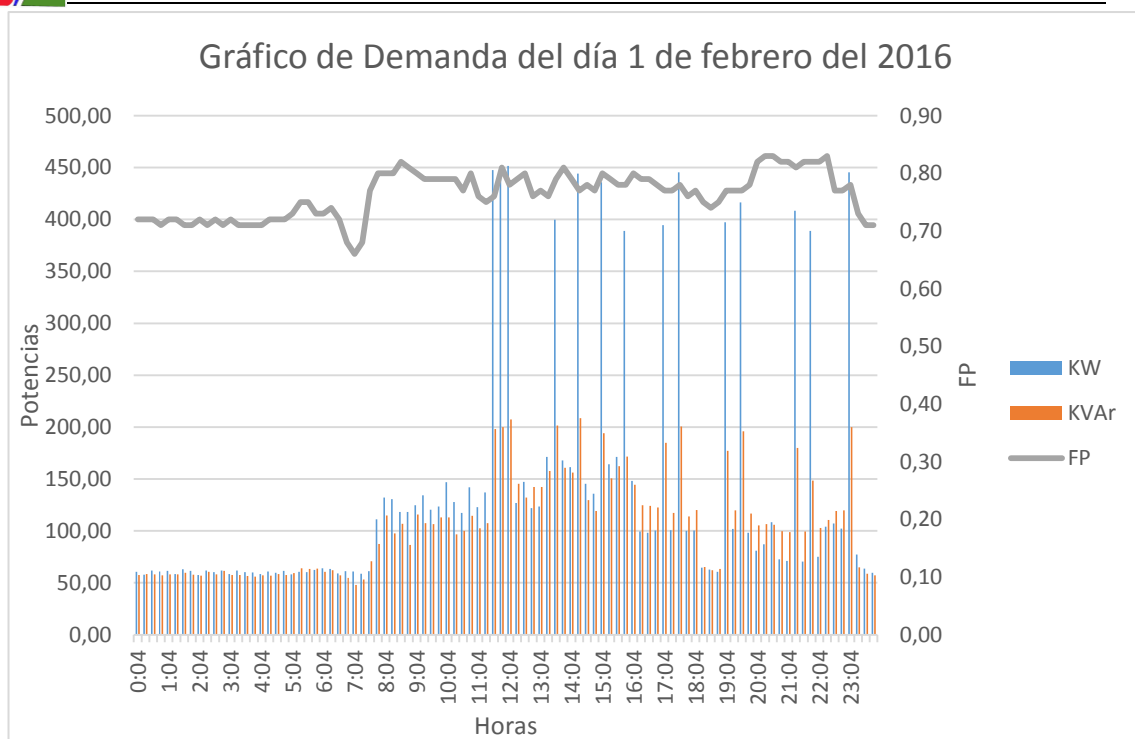


Figura: 2.6 Comportamiento de la demanda activa, reactiva, y factor de potencia de un día característico (mediciones del 1 de Febrero del 2016).

2.7 Mediciones sobre nodos principales y las cargas más representativas

Las mediciones que se muestran a continuación en las tablas 2.5 y 2.6 corresponden a un día típico de trabajo (13 y 14 de abril), las mismas se realizaron con el instrumento de medición, Pinza Amperimétrica medidora de potencia y energía UT 232.

Tablas 2.2 Medición parámetros eléctricos en los nodos secundarios.

Nodos Principales	Tensión (v)	Corriente (A)	Potencia activa (Kw)	Potencia Reactiva (kVAr)	Potencia Aparente (kVA)	Factor de Potencia
Taller Heramental	264	33,3	41,1	3,1	15,26	0,86
39nyección (360t,2de 150t,60t)	260	116,63	53,1	22,83	31,2	0,63
Molino, Extrusora 8	264,3	63,2	41,5	10,7	17,76	0,76

En la gráfica 2.7 se puede apreciar como en los talleres de producción (extrusión, inyección) es donde mayores afectaciones existen por bajo factor de potencia el cual oscila entre 0,6 y 0,8 respectivamente.

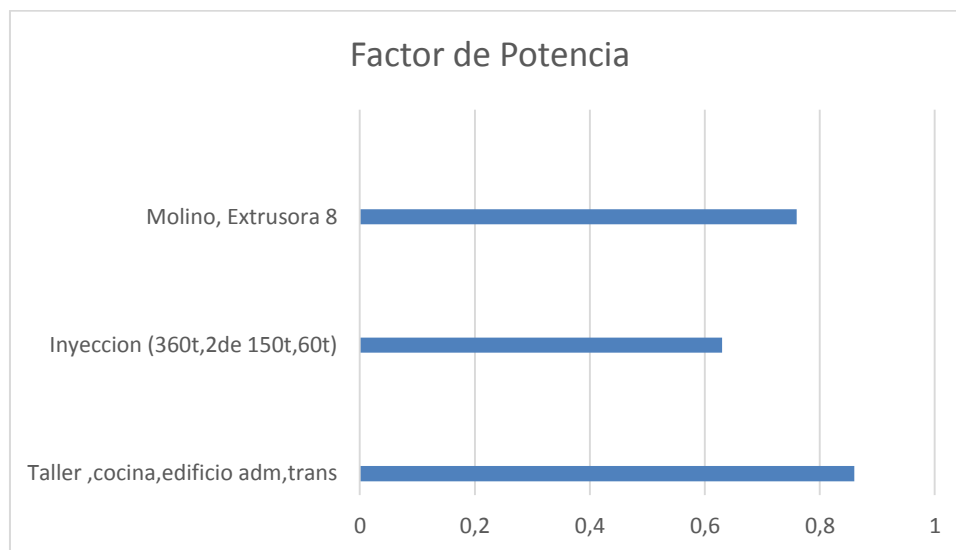


Figura: 2.7 Factor de potencia en los nodos secundarios

Tablas 2.2 Medición parámetros eléctricos en las maquinas.

<i>Máquina</i>	Tensión (v)	Corriente (A)	Potencia activa (Kw)	Potencia Reactiva (kVAr)	Potencia Aparente (kVA)	Factor de Potencia
Máquina 4 TR 50	262,4	46,6	21,7	9,1	11,76	0,64
Molino	261,56	30,3	12,4	5,85	8,06	0,58
Máquina inyectora de 60T	264,3	18,16	6,6	4,63	5,23	0,43
Máquina inyectora de 150T	263,5	19,3	10	4,76	5,4	0,40
Máquina extrusora número 9	260	123,5	64,7	21,3	29,6	0,69
Máquina inyectora 360t	258,3	35,3	23,3	8,76	15,6	0,51

Máquina extrusora numero 3	256,3	116,46	82,1	7,06	29,4	0,90
Extrusión maquina numero 8	261,3	44,46	19,5	7,9	10,8	0,62

En la tabla 2.2 se muestran las mediciones individuales que se les realizaron a las máquinas con el objetivo de analizar el comportamiento del factor de potencia. Apoyándose en ella se obtuvo el grafico siguiente 2.8.

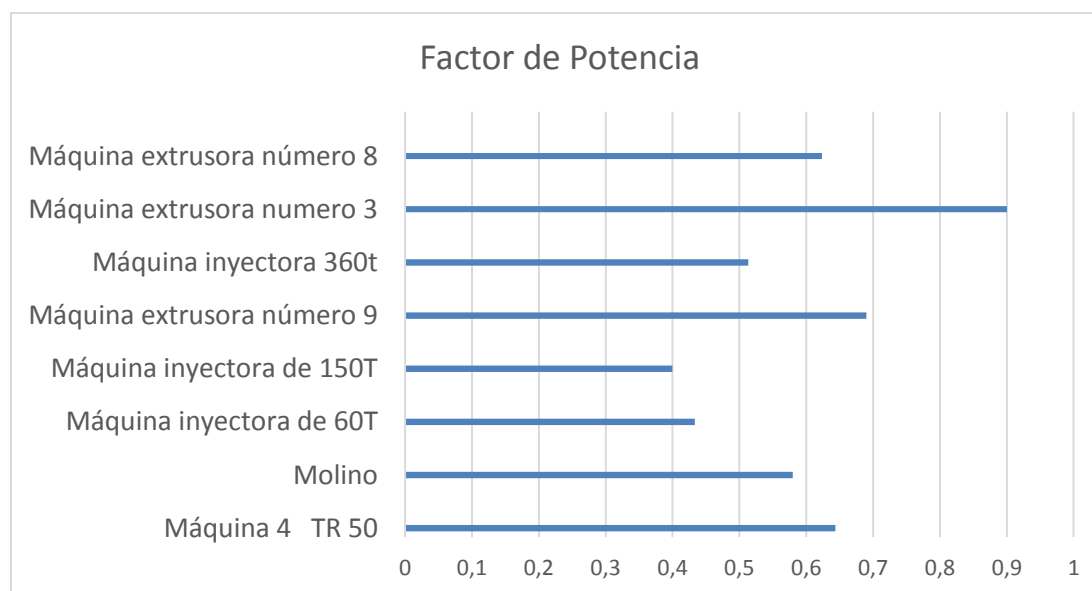


Figura: 2.8 Factor de potencia en las maquinas

El factor de potencia no sobrepasa el valor de 0,8 exceptuando la máquina extrusora número 3, que es una máquina nueva del 2012 que posee internamente un regulador de potencia reactiva, como se aprecia en la figura 2.8 la máquina inyectora de 150t y la de 60t son las de peor factor de potencia estando el mismo entre 0,4 y 0,5 y las demás no llegan a 0,7.

2.7 Conclusiones del capítulo

En el presente capítulo se caracterizó el sistema eléctrico de la UEB, se comenzaron a desarrollar los pasos correspondientes para la implementación del diagnóstico energético donde se conocieron los problemas existentes, los cuales afectan la operatividad y flexibilidad. Con las mediciones realizadas se determinó la necesidad de compensar la potencia reactiva en la UEB. Para el



montaje del monolineal el software BENTLEY MICROESTATION V8.0 fue necesario la actualización de los datos, de cargas y conductores, además de realizar una serie de mediciones en diferentes puntos del sistema.

CAPÍTULO III. Análisis de los resultados

3.0 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo realizar análisis técnico económico de la propuesta, se determina si la inversión a realizar será factible o no considerando los principales costos relacionados con la adquisición y montaje de los condensadores, y se calcula el período de recuperación de la inversión.

3.1 Cálculo de la Q_c necesaria para elevar el factor de potencia en la UEB

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

1. Se determinó el factor de potencia medio de las demandas máximas promedio de toda la medición (escogimos este valor y no las medias promedios al tener un valor representativo o superior al valor de las medias del día 27/01 hasta el día 15/02/2016).
2. Se determinó la potencia activa promedio de las mediciones máximas medidas.
3. Se consideró un factor de potencia deseado de 0,96 y, con el factor de potencia promedio de la medición (0,51), realizamos los cálculos y nos da que el banco que se requiere es de 158 ckVAR.

Despejando de la formula (1.18).

$$Q_c = 113,26 \cdot (\tan 59,34 - \tan 16,26)$$

$$Q_c = 113,26 \cdot (1,6868 - 0,2916)$$

$$Q_c = 158 \text{ckVAR}$$

Este banco debe suplir la necesidad 158 ckVAR, por lo que usamos un banco que nos queda en 225 kVAR luego de la depreciación por niveles de voltajes, este banco nos queda con una reserva de 67 kVAR para que supla el déficit de

potencia reactiva de equipos que se encuentra fuera de servicio. Para lograr esta compensación lo lograríamos con un banco de 8 pasos con configuración 1.1.2.2.2.2.2.2, siendo el primer paso de 16,08 ckVAr.

En la construcción de este banco utilizamos un *Varlogic* pretendemos usar el cuadro existente, solamente vamos a cambiarle los pasos y el *Varlogic*. Para el mismo utilizamos capacitores de *Schneider Eléctric* del tipo **Varplus CAN Hduty** y un controlador del tipo **Varlogic NR12**, como se muestra en las figuras 3.1 y 3.2 respectivamente.



Figura 3.1 Capacitores para el Banco Condensadores



Figura 3.2 Controlador del tipo *Varlogic NR12*

3.2 Gráficos del comportamiento horario de la potencia reactiva consumida con la compensación en servicio

En la gráfica 2.6 podemos ver el comportamiento de la demanda reactiva de un día característico y la potencia reactiva sin compensar y luego de la puesta en servicio del banco de capacitores gráfica 3.1. Este gráfico es la muestra de los resultados de la toma de lecturas cada 15 minutos con los valores máximos promedios en cada hora del día 1 de Febrero del 2016. También se encuentran en este grafico de barra los valores de potencia activa promedio y reactiva después de la compensación, así como el factor de potencia.

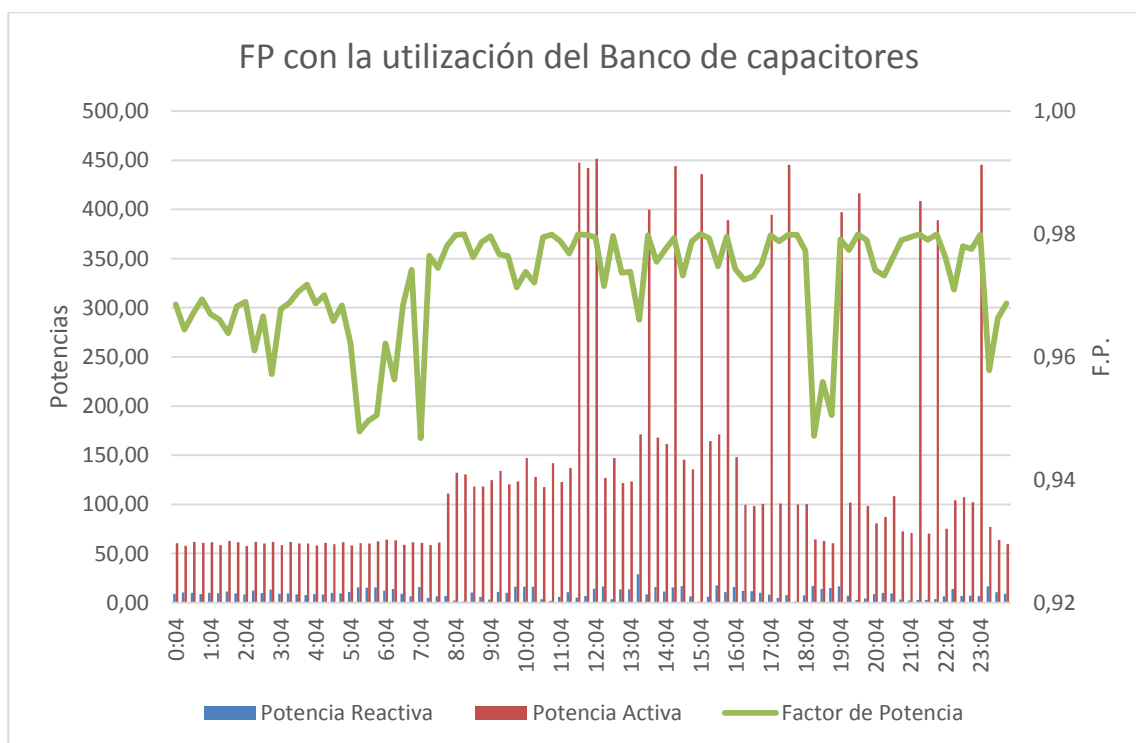


Gráfico 3.1 Comportamiento de la demanda reactiva de un día característico (mediciones del 1 de febrero del 2016) con compensación del banco de capacitores.

3.3 Cálculo de Potencia reactiva

Las máquinas por su régimen de trabajo hacen que el consumo de corriente activa y reactiva de estos motores varíe constantemente trayendo las

constantes afectaciones al factor de potencia, pues gran parte del ciclo el motor trabaja con muy poca carga o con casi ninguna.

Máquina inyectora de 360T

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi \quad (3.1)$$

$$Q_n = 72.3 \cdot \tan(36.87)$$

$$Q_n = 54.23 \text{ kVAr}$$

Para determinar la potencia reactiva en vacío se multiplica por 0.7, debido a que este porcentaje es lo que la máquina consume cuando se encuentra trabajando en este régimen, el procedimiento se repite para todas las máquinas de los talleres de Inyección y Extrucción. En la tabla 3.1 se puede apreciar las demás máquinas (ver anexo 3).

$$Q_n = 54.23 \cdot 0.7$$

$$Q_n = 37.96 \text{ kVAr}$$

Tablas 3.1 Cálculo de Potencia reactiva que necesitan las máquinas en vacío.

Máquina	Potencia activa nominal (Kw)	Factor de Potencia	Potencia Reactiva nominal (kVAr)	Potencia Reactiva en vacío (kVAr)
Máquina inyectora de 360T	72,3	0,8	54,23	37,96
Máquina inyectora de 150T	34,80	0,62	44,03	30,82
Máquina inyectora de 95T	29	0,74	26,36	18,45
Máquina inyectora de 60T	25,30	0,60	33,73	23,61
Máquina inyectora de 40T	15,20	0,72	14,65	10,25
Máquina extrusora	101,5	0,84	65,56	45,89

número 9				
Máquina extrusora numero 8	63,3	0,70	64,58	45,2
Extrusión maquina numero 3	156	0,88	84,19	58,9
Extrusión maquina numero 4	63,3	0,65	74	51,8
molino	25,05	0,8	18,79	13,15

3.4 Valoración Económica

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 M1-A y M2-A (ver anexo 1). También es necesario saber el consumo real de potencia activa, reactiva y el factor de potencia, además de la máxima demanda contratada y el valor real alcanzado. Con estos valores obtenemos el valor de la facturación.

Para este análisis escogimos la facturación del mes de Septiembre del 2015 al ser el más se trabajó que más se penalizo la empresa por bajo factor de potencia.

Obtenemos como datos los siguientes parámetros eléctricos:

Tabla 3.1: Facturación por Empresa Eléctrica

Importe de la facturación Empresa Eléctrica	15571,29 CUC
Penalización	1730,14 CUC
Importe total de la facturación sin penalización	13841,15 CUC

De esto se desprende que en el mes de septiembre en la fábrica se perdió el 11,11 % del costo de la energía consumida.

Calculamos el comportamiento del factor de potencia que debe ser como promedio 0,96, luego realizamos el cálculo con la compensación de la medición realizada.

Calculamos el importe del factor de potencia (Ifp) Bonificación:

$$Ifp = Ifn \cdot (fp_{norma} / fp_{real} - 1) \quad (3.2)$$

$$Ifp = 15571,29 \cdot (0,92 / 0,96 - 1)$$

$$Ifp = -648,80$$

donde:

Ifp: Bonificación

Ifn: Importe de la facturación

fp_{norma}: 0,92

fp_{real}: Factor de potencia que se desea obtener(0,96)

Importe total a facturar

$$I_T = Ifn + Ifp \quad (3.3)$$

$$I_T = 13841,15 - 648,8$$

$$I_T = 13192,35$$

Al restar a la facturación sin la penalización y la bonificación nos da un valor de 13192,35 CUC.

Como diferencia restamos el importe de la facturación que es 15571,29 CUC (que era la facturación del mes de Septiembre del 2015) al real con la compensación (13192,35 CUC) y obtenemos un ahorro de 2378,94 CUC mensual. Esto se realizó en el mes de mayor consumo de potencia reactiva y más bajo factor de potencia.

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 7697,30 CUC, y 8041,46 MN para una valor de 15738,36 moneda total por los que podemos decir que la puesta en servicio de los bancos de



capacitores se amortiza en 6.61 meses aproximadamente si se mantiene el consumo de energía reactiva como la del mes de Septiembre del 2015.

3.5 Conclusiones del capítulo

Según los resultados arrojados el empleo de capacitores para la compensación del factor de potencia suele ser económicamente viable aunque necesita la realización de una inversión inicial, debido a los múltiples beneficios que aporta y la segura recuperación del capital invertido. Se pudo apreciar que durante la medición realizada el comportamiento de la demanda aumenta y con ello el factor de potencia debido a que durante el trabajo hay momentos en que quedan en vacío.

CONCLUSIONES GENERALES

Se desarrolló el estudio sobre el portador energético electricidad en la UEB Fábrica Plástico Cajimaya, demostrándose la viabilidad del empleo de condensadores para la compensación de potencia reactiva y mejora del factor de potencia en el sistema de media tensión de la subestación. Se calcularon dos posibles variantes: Compensación general en PGD y compensación individual sobre las máquinas que más afectan al consumo de reactivo.

Se determinó que es necesario instalar un banco compuesto por ocho capacitores que luego de la corrección de voltaje nos dará un aporte de 225 ckVAr. Una vez realizada la compensación de la potencia reactiva el factor de potencia deberá mantenerse en un valor cerca de 0,96, lo que redundará en un mayor beneficio para la empresa. El período de recuperación de la inversión desarrollada es de aproximadamente 6.61 meses, teniendo en cuenta las pérdidas en el sistema.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos durante la realización del estudio se recomienda realizar las siguientes acciones:

1. Continuar con el desarrollo constante del estudio energético de la UEB y aplicar las medidas técnicas descritas en la presente investigación.
2. Actualizar los diagramas Monolineales siempre que se realice cualquier cambio en el sistema eléctrico de la UEB y poner en servicio el banco propuesto.
3. Dar mantenimiento a todas Pizarras eléctricas y sustituirla por una de mejores prestaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Elementos básicos de diagnostico energético orientado a la aplicación de un programa de ahorro de energía.
2. Aquino, T. A. (1994). Estudio a bajo costo de la calidad de la energía. Revista Ingeniería Electroenergética. No 2.
3. Armas, M. A. d. and P. F. VIEGO Sistemas Eléctricos Industriales. Universidad de Cienfuegos: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente.
4. Borroto Nordelo, A. E. (2006). Libro de Gestión Energética en el sector Productivo y los Servicios. Cienfuegos: Centro de estudios de energía y medio ambiente. (CEEMA).
5. Campo A, J. G. D. R; Santos M, L (1999). La eficiencia energética en la gestión empresarial._Edit. Universidad de Cienfuegos.
6. CAMPO AVELLA, J. C. (1998). La Eficiencia Energética en la competitividad de empresas. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.
7. CARRILLO, G. G. 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 Bogota, Colombia.
8. CASAS FERNANDEZ, L. (2006). Temas Especiales de sistemas Eléctricos industriales. Cienfuegos: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente.
9. CBAGHZOUZ, Y. E. 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."
10. De Quesada, M. A. (1988). Optimización de reactivo en circuitos eléctricos industriales. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3 .
11. DIEGO-MAS, J. A. (2009). " Optimización de la distribución en plantas de instalaciones industriales mediante algoritmo genético. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

12. Estrada, G. H. and J. H. Tovar (2005). Metodología para la localización óptima de condensadores Mediante Sensibilidades Lineales. Revista del IEEE América Latina.
13. Gerín, M. (2003). Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos .
14. González, F.J. (2001). "La gestión de la energía ."
15. GRROOSO, R. (1992). LA QUALITÁ IN TASCA .
16. Haug, R. C. (1985). Planificación de potencia reactiva en los sistemas. Revista Ingeniería Electroenergética. No 4.
17. Hernández, R. Gabriel (2000). Eficiencia en los suministros eléctricos industriales de baja tensión. Tesis maestría. ISMM.
18. I, G. P. (1999). Compensación de la potencia reactiva en sistemas eléctricos. Revista Geología y Minería.
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. Marrero, R. Secundino. (2000). Gestión energética en el sector industrial y de los servicios.
21. O. LAGUNA CASTELLNOS, R. A. M. (1990). MANUAL DE MOLDES PARA INYECCION DE TERMOPLASTICOS.
22. Palma Loforte, F. (1996). Estudio de la carga actual en los motores asincrónicos e incidencia sobre el reactivo en la planta termoeléctrica de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara. Trabajo de Diploma. ISMM.
23. Petrovna, S. M. FACTOR DE POTENCIA EN LA PRODUCCION.
24. PIOTROVSKY, L. and M. KOSTENCO (1982). Máquinas Eléctricas. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 522 p.
25. VIEGO, P. F. and M. A. d. Armas Sistemas Eléctricos Industriales. Universidad de Cienfuegos: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente.

ANEXOS

Anexo 1. Tarifa M1-A y M2-A

El importe por el cargo fijo depende del nivel de la máxima demanda de potencia contratada (kW) y en el caso de la tarifa M2-A, por la demanda máxima real que se mide. Este parámetro expresa el nivel de demanda de potencia, que según contrato se compromete el cliente a tener como máximo. Depende de la cantidad de carga (equipos, etc.) y de su factor de coincidencia (equipos conectados simultáneamente), así como del régimen de trabajo de los mismos. El cobrar por este concepto pretende estimular a los clientes a no incurrir en “picos” en su consumo durante todo el día o en determinados períodos, aplanándose lo más posible la curva de su demanda diaria. Además, contribuye a no solicitar instalaciones para el suministro de electricidad mayores de lo necesario que, por consiguiente, requiere de nuevas inversiones.

Lógicamente, el nivel de demanda máxima contratada puede reducirse como consecuencia del resultado de medidas de acomodo de carga o manejo de demanda, con menos gastos para el cliente por la energía eléctrica comprada. Estos aspectos se analizarán posteriormente. A todos los clientes se les permitirá variar la demanda contratada una vez al año y dos veces al año en caso de los clientes cíclicos, por períodos no menores de tres meses. A los que sobrepasan el nivel de demanda máxima contratada entre las 6:00 a.m. y las 10:00 p.m., y algunas entre las 6:00 p.m. y las 10:00 p.m. (pico eléctrico), las tarifas contemplan triplicar el monto correspondiente al cargo fijo, por cada kW en exceso (penalización por demanda). El cargo variable viene dado por el consumo de energía, en kWh.

El cobro por este concepto se diferencia por horarios del día en los consumidores que tienen más de 12 horas diarias de trabajo, siendo mayor el precio del kWh en el pico para desestimular el consumo en ese horario. El Sistema de Tarifas consta de bonificaciones por concepto de elevación del factor de potencia, así como penalizaciones por disminución del factor de



potencia y por el uso de las bombas de regadío en el horario pico, todo lo cual se precisa en el documento correspondiente.

Los equipos de medida podrán ser instalados en el lado de alta o baja tensión de los transformadores receptores, según decida la OBE Provincial correspondiente. Cuando la energía sea medida en el lado de baja tensión, al consumo así obtenido se añadirán las pérdidas de transformación. Esto se aplica a los servicios ubicados en alta y media tensión. Para la baja tensión (servicios conectados a un transformador de distribución secundaria), las pérdidas de transformación no se suman al consumo. Los servicios trifásicos de cualquier demanda, que presenten un esquema de alimentación con más de un circuito eléctrico primario, pagarán el cargo fijo de la forma siguiente: si tienen doble alimentación se elevará un 10 % y si tienen triple alimentación se elevará un 20 %. Se entiende por alimentación de más de un circuito, cuando el servicio tiene la posibilidad de alimentarse a través de dos o más circuitos (alimentadores primarios), de tal forma que de fallar uno de ellos el otro pueda asumir la totalidad de la carga.



Anexo 2 Tabla Mediciones del Fluke 435

Día	Hora	KW	KVAr	FP	KVAr Banco	KVAr Resultante	KW Resultante	FP Resultante	KVA Resultante
01/02/2016	0:04	60,60	57,50	0,72	48,25	9,25	60,60	0,97	61,30
01/02/2016	0:19	58,00	58,60	0,72	48,25	10,35	58,00	0,96	58,92
01/02/2016	0:34	61,80	58,30	0,72	48,25	10,05	61,80	0,97	62,61
01/02/2016	0:49	60,90	57,20	0,71	48,25	8,95	60,90	0,97	61,55
01/02/2016	1:04	61,50	58,30	0,72	48,25	10,05	61,50	0,97	62,32
01/02/2016	1:19	58,50	58,10	0,72	48,25	9,85	58,50	0,97	59,32
01/02/2016	1:34	63,00	59,70	0,71	48,25	11,45	63,00	0,96	64,03
01/02/2016	1:49	61,70	57,80	0,71	48,25	9,55	61,70	0,97	62,43
01/02/2016	2:04	57,70	56,90	0,72	48,25	8,65	57,70	0,97	58,34
01/02/2016	2:19	62,00	60,50	0,71	48,25	12,25	62,00	0,96	63,20
01/02/2016	2:34	60,20	58,20	0,72	48,25	9,95	60,20	0,97	61,02
01/02/2016	2:49	61,90	61,70	0,71	48,25	13,45	61,90	0,96	63,34
01/02/2016	3:04	58,60	57,50	0,72	48,25	9,25	58,60	0,97	59,33
01/02/2016	3:19	62,00	57,60	0,71	48,25	9,35	62,00	0,97	62,70
01/02/2016	3:34	60,40	56,60	0,71	48,25	8,35	60,40	0,97	60,97
01/02/2016	3:49	60,10	56,00	0,71	48,25	7,75	60,10	0,97	60,60
01/02/2016	4:04	58,40	57,10	0,71	48,25	8,85	58,40	0,97	59,07
01/02/2016	4:19	60,90	56,90	0,72	48,25	8,65	60,90	0,97	61,51
01/02/2016	4:34	59,70	58,40	0,72	48,25	10,15	59,70	0,97	60,56
01/02/2016	4:49	61,50	57,70	0,72	48,25	9,45	61,50	0,97	62,22
01/02/2016	5:04	58,30	59,40	0,73	48,25	11,15	58,30	0,96	59,36
01/02/2016	5:19	60,60	64,00	0,75	48,25	15,75	60,60	0,95	62,61
01/02/2016	5:34	60,40	63,50	0,75	48,25	15,25	60,40	0,95	62,30
01/02/2016	5:49	62,60	63,80	0,73	48,25	15,55	62,60	0,95	64,50
01/02/2016	6:04	64,00	60,50	0,73	48,25	12,25	64,00	0,96	65,16
01/02/2016	6:19	63,40	62,30	0,74	48,25	14,05	63,40	0,96	64,94
01/02/2016	6:34	59,10	57,30	0,72	48,25	9,05	59,10	0,97	59,79
01/02/2016	6:49	61,40	54,90	0,68	48,25	6,65	61,40	0,97	61,76
01/02/2016	7:04	60,90	48,10	0,66	32,00	16,10	60,90	0,95	62,99
01/02/2016	7:19	58,70	53,20	0,68	48,25	4,95	58,70	0,98	58,91
01/02/2016	7:34	61,30	70,80	0,77	64,33	6,47	61,30	0,97	61,64
01/02/2016	7:49	111,10	87,40	0,80	80,41	6,99	111,10	0,98	111,32
01/02/2016	8:04	132,20	114,80	0,80	112,57	2,23	132,20	0,98	132,22
01/02/2016	8:19	130,60	97,70	0,80	96,49	1,21	130,60	0,98	130,61
01/02/2016	8:34	118,30	106,80	0,82	96,49	10,31	118,30	0,98	118,75
01/02/2016	8:49	118,30	86,40	0,81	80,41	5,99	118,30	0,98	118,45
01/02/2016	9:04	124,70	115,90	0,80	112,57	3,33	124,70	0,98	124,74
01/02/2016	9:19	134,30	107,50	0,79	96,49	11,01	134,30	0,98	134,75
01/02/2016	9:34	120,50	106,70	0,79	96,49	10,21	120,50	0,98	120,93
01/02/2016	9:49	123,50	112,90	0,79	96,49	16,41	123,50	0,97	124,59



01/02/2016	10:04	147,10	112,90	0,79	96,49	16,41	147,10	0,97	148,01
01/02/2016	10:19	127,90	96,60	0,79	80,41	16,19	127,90	0,97	128,92
01/02/2016	10:34	117,50	100,20	0,77	96,49	3,71	117,50	0,98	117,56
01/02/2016	10:49	141,90	114,70	0,80	112,57	2,13	141,90	0,98	141,92
01/02/2016	11:04	122,80	102,50	0,76	96,49	6,01	122,80	0,98	122,95
01/02/2016	11:19	137,20	107,40	0,75	96,49	10,91	137,20	0,98	137,63
01/02/2016	11:34	447,50	198,20	0,76	192,98	5,22	447,50	0,98	447,53
01/02/2016	11:49	442,10	200,00	0,81	192,98	7,02	442,10	0,98	442,16
01/02/2016	12:04	451,50	207,30	0,78	192,98	14,32	451,50	0,98	451,73
01/02/2016	12:19	127,00	145,30	0,79	128,66	16,64	127,00	0,97	128,09
01/02/2016	12:34	147,20	132,30	0,80	128,66	3,64	147,20	0,98	147,24
01/02/2016	12:49	121,90	142,40	0,76	128,66	13,74	121,90	0,97	122,67
01/02/2016	13:04	123,50	142,40	0,77	128,66	13,74	123,50	0,97	124,26
01/02/2016	13:19	171,40	157,60	0,76	128,66	28,94	171,40	0,97	173,83
01/02/2016	13:34	399,90	201,40	0,79	192,98	8,42	399,90	0,98	399,99
01/02/2016	13:49	167,90	160,80	0,81	144,74	16,06	167,90	0,98	168,67
01/02/2016	14:04	161,50	156,10	0,79	144,74	11,36	161,50	0,98	161,90
01/02/2016	14:19	444,20	208,50	0,77	192,98	15,52	444,20	0,98	444,47
01/02/2016	14:34	145,50	129,60	0,78	112,57	17,03	145,50	0,97	146,49
01/02/2016	14:49	135,90	119,20	0,77	112,57	6,63	135,90	0,98	136,06
01/02/2016	15:04	435,90	194,20	0,80	192,98	1,22	435,90	0,98	435,90
01/02/2016	15:19	164,30	150,80	0,79	144,74	6,06	164,30	0,98	164,41
01/02/2016	15:34	171,40	162,40	0,78	144,74	17,66	171,40	0,97	172,31
01/02/2016	15:49	389,00	171,70	0,78	160,82	10,88	389,00	0,98	389,15
01/02/2016	16:04	148,20	144,60	0,80	128,66	15,94	148,20	0,97	149,05
01/02/2016	16:19	99,60	124,80	0,79	112,57	12,23	99,60	0,97	100,35
01/02/2016	16:34	98,40	124,20	0,79	112,57	11,63	98,40	0,97	99,08
01/02/2016	16:49	100,50	122,60	0,78	112,57	10,03	100,50	0,98	101,00
01/02/2016	17:04	394,50	185,00	0,77	176,90	8,10	394,50	0,98	394,58
01/02/2016	17:19	100,80	117,50	0,77	112,57	4,93	100,80	0,98	100,92
01/02/2016	17:34	445,50	200,70	0,78	192,98	7,72	445,50	0,98	445,57
01/02/2016	17:49	100,10	114,00	0,76	112,57	1,43	100,10	0,98	100,11
01/02/2016	18:04	100,30	120,00	0,77	112,57	7,43	100,30	0,98	100,57
01/02/2016	18:19	64,50	65,20	0,75	48,25	16,95	64,50	0,95	66,69
01/02/2016	18:34	62,90	62,30	0,74	48,25	14,05	62,90	0,96	64,45
01/02/2016	18:49	60,60	63,30	0,75	48,25	15,05	60,60	0,95	62,44
01/02/2016	19:04	397,20	177,30	0,77	160,82	16,48	397,20	0,98	397,54
01/02/2016	19:19	101,80	119,90	0,77	112,57	7,33	101,80	0,98	102,06
01/02/2016	19:34	416,50	196,10	0,77	192,98	3,12	416,50	0,98	416,51
01/02/2016	19:49	98,30	116,90	0,78	112,57	4,33	98,30	0,98	98,40
01/02/2016	20:04	80,90	105,30	0,82	96,49	8,81	80,90	0,97	81,38
01/02/2016	20:19	87,30	106,70	0,83	96,49	10,21	87,30	0,97	87,90



01/02/2016	20:34	108,40	106,00	0,83	96,49	9,51	108,40	0,98	108,82
01/02/2016	20:49	72,60	99,70	0,82	96,49	3,21	72,60	0,98	72,67
01/02/2016	21:04	71,10	98,80	0,82	96,49	2,31	71,10	0,98	71,14
01/02/2016	21:19	408,40	180,00	0,81	176,90	3,10	408,40	0,98	408,41
01/02/2016	21:34	70,40	99,50	0,82	96,49	3,01	70,40	0,98	70,46
01/02/2016	21:49	389,10	148,40	0,82	144,74	3,66	389,10	0,98	389,12
01/02/2016	22:04	75,10	103,00	0,82	96,49	6,51	75,10	0,98	75,38
01/02/2016	22:19	104,10	110,60	0,83	96,49	14,11	104,10	0,97	105,05
01/02/2016	22:34	107,30	119,30	0,77	112,57	6,73	107,30	0,98	107,51
01/02/2016	22:49	102,20	119,70	0,77	112,57	7,13	102,20	0,98	102,45
01/02/2016	23:04	445,50	200,00	0,78	192,98	7,02	445,50	0,98	445,56
01/02/2016	23:19	77,30	64,80	0,73	48,25	16,55	77,30	0,96	79,05
01/02/2016	23:34	63,70	58,90	0,71	48,25	10,65	63,70	0,97	64,58
01/02/2016	23:49	59,70	57,30	0,71	48,25	9,05	59,70	0,97	60,38

Anexo 3

Caculo de la potencia reactiva que necesita las máquinas cuando se encuentran trabajando en vacío

Máquina inyectora de 150T

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

$$Q_n = 34,80 \cdot \tan(51,68)$$

$$Q_n = 44,03 \text{ kVAr}$$

$$Q_n = 44,03 \cdot 0,7$$

$$Q_n = 30,82 \text{ kVAr}$$

Máquina inyectora de 95T

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

$$Q_n = 29 \cdot \tan(42,27)$$

$$Q_n = 26,36 \text{ kVAr}$$

$$Q_n = 26,36 \cdot 0,7$$

$$Q_n = 18,45 \text{ kVAr}$$

Máquina inyectora de 60T

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

$$Q_n = 25,30 \cdot \tan(53,13)$$

$$Q_n = 33,73 \text{ kVAr}$$

$$Q_n = 33,73 \cdot 0,7$$

$$Q_n = 23,61 \text{ kVAr}$$

Máquina inyectora de 40T

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

$$Q_n = 15,20 \cdot \tan(43,95)$$

$$Q_n = 14,65 \text{ kVAr}$$

$$Q_n = 14,65 \cdot 0,7$$

$$Q_n = 10,25 \text{ kVAr}$$

Máquina extrusora número 9

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

$$Q_n = 101,5 \cdot \tan(32,86)$$

$$Q_n = 65,56 \text{ kVAr}$$

$$Q_n = 65,56 \cdot 0,7$$

$$Q_n = 45,89 \text{ kVAr}$$

Máquina extrusora número 8

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

$$Q_n = 63,3 \cdot \tan(45,57)$$

$$Q_n = 64,58 \text{ kVAr}$$

$$Q_n = 64,58 \cdot 0,7$$

$$Q_n = 45,2 \text{ kVAr}$$

Máquina extrusora número 3

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

$$Q_n = 156 \cdot \tan(28,35)$$

$$Q_n = 84,19 \text{ kVAr}$$

$$Q_n = 84,19 \cdot 0,7$$

$$Q_n = 58,9 \text{ kVAr}$$

Máquina extrusora número 4

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

$$Q_n = 63,3 \cdot \tan(49,46)$$

$$Q_n = 74 \text{ kVAr}$$

$$Q_n = 74 \cdot 0,7$$

$$Q_n = 51,8 \text{ kVAr}$$



Molino

$$Q_n = 18,79 \text{ kVAr}$$

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

$$Q_n = 18,79 \cdot 0,7$$

$$Q_n = 25,05 \cdot \tan(36,87)$$

$$Q_n = 13,15 \text{ kVAr}$$

Anexo 4 Sistemas de Transmisión de CA Flexible (FACTS)

En esta área se han llevado a cabo diversas investigaciones, las que han conducido al desarrollo de los FACTS, dispositivos que abarcan al conjunto de equipos con capacidad de controlar el flujo de potencia o variar características de la red, empleando semiconductores de potencia para controlar el flujo de los sistemas de corriente alterna, cuyo propósito es dar flexibilidad a la transmisión de la energía sobre la base de dos objetivos principales:

- Incrementar la capacidad de transferencia de potencia en los sistemas de transmisión.
- Mantener el flujo en las trayectorias de la red para que se establezcan de acuerdo a las distintas condiciones operativas.

Esto permite mejorar la eficiencia del sistema debido a:

- Un mayor control sobre el flujo de potencia, dirigiéndolo a través de las rutas predeterminadas.
 - Operan con niveles de carga seguros (sin sobrecarga), y cercano a los límites térmicos de las líneas de transmisión.
 - Mayor capacidad de transferencia de potencia entre áreas controladas con lo que el margen de reserva en generación puede reducirse considerablemente.
 - Prevención de salidas de servicio en cascada, limitando el efecto de fallas en el sistema y equipos.
 - Amortiguar oscilaciones de sistema de potencia, que dañan los equipos y limitan la capacidad de transmisión disponible.
-



Anexo 5 Monolineal UEB Plásticos Cajimaya

