

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**FUM BÁGUANO**

**INGENIERÍA EN PROCESOS AGROINDUSTRIALES**  
**TRABAJO DE DIPLOMA**

**PLAN DE ACCIÓN PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DEL  
FACTOR DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA DE LA UEB CA  
FERNANDO DE DIOS BUÑUEL**

**Autor: Raúl Orlando Feria Díaz**

**Tutores: MSc. Ariel Marcelo Leyva Lorenzo  
MSc. Marilin Teruel Mulet**

**Consultante: Ing. Alberto Batista Leyva**

**2013**

## *Pensamiento*



*”Mientras no seamos un pueblo realmente ahorrativo, que sepamos emplear con sabiduría y con responsabilidad cada recurso, no nos podemos llamar un pueblo eternamente revolucionario”.*

*Fidel Castro Ruz*

## *Agradecimientos*

*A mi familia que con su dedicación y paciencia me apoyaron para terminar la carrera.*

*A los compañeros de la industria por brindarme la información necesaria para realizar el trabajo.*

*A todos los que de una forma u otra han contribuido a la realización del mismo.*

*A todos Muchas Gracias.*

## *Dedicatoria*

*A mis familiares y amigos por todo el apoyo me han brindado durante estos años de arduo estudio y sacrificio a todos los profesores por su paciencia y dedicación.*

## **Resumen**

La gestión de la energía es una tarea de vital importancia para cualquier país, debido a la rapidez con que se agotan las reservas de combustibles y los elevados precios que estos alcanzan en el mercado mundial. La presente investigación se realizó entre junio del 2010 y abril del 2012, en la UEB Central Azucarero Fernando de Dios Buñuel, con el objetivo de elaborar un plan de acción, que puesto en práctica permita mejorar el comportamiento del factor de potencia en esta industria. En la investigación fueron empleados los siguientes métodos de investigación, teóricos: análisis histórico lógico, de análisis y síntesis, e hipotético – deductivo y entre los métodos empíricos, la observación, la medición de magnitudes eléctricas y la entrevista además de técnicas estadísticas. Con la aplicación del procedimiento para realizar el diagnóstico se determinaron como deficiencias entre otras: El uso de motores sobredimensionados, la falta de divulgación sobre temas energéticos, el consumo en exceso de reactivo del SEN y que los medios compensadores del factor de potencia instalados en la fábrica son insuficientes. Por lo que se propuso un plan de acción basado en las necesidades de capacitación, sustitución de equipos sobredimensionados y adquisición e instalación de medios compensadores con su desconectivo automático. Medidas estas que contribuyen a mejorar el comportamiento del factor de potencia, a elevar la eficiencia energética y al ahorro de energía, incidiendo positivamente en un beneficio económico para la organización.

## **ABSTRACT**

The step of energy is a vitally important task for any country, due to the rapidity that the fuel stock and the lofty pricing that these attain on the market worldwide run out with. Present it Sugar Factory Fernando de Dios Buñuel, accomplished investigation himself among June of the 2010 and April of the 2012, in the UEB for the sake of elaborating a policy, that job in practice permit improving the behavior of the power factor at this industry. In investigation following fact-finding theoretic methods were used: Historic analysis and logician, method of analysis and synthesis, hypothetic method – deductive and empiric methods, like the observation, the measurement of electric magnitudes, the interview in addition to statistical techniques. With the application of the procedure to accomplish the diagnosis they determined them selves like deficiencies among others: Motive sobredimensionados's use, the lack of divulgation on energetic themes, the consumption in excess of reagent of the SEN and than the compensating midways of the power factor installed at the factory are insufficient. For which a plan of action based in the needs of capacitation, team's substitution was proposed sobredimensionados and acquisition and half compensator's installation with his automatic desconectivo. Once these that contribute to improving the behavior of the power factor, to raise the energetic efficiency were measured and to the saving of energy, having an effect on positively an economic benefit for the organization.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	4
1.1 Generación y uso de la energía eléctrica en la agroindustria azucarera.....	4
1.2 Influencia del Factor de potencia en el ahorro de energía en la industria azucarera.....	5
1.3 Factor de potencia.....	7
1.3.1 Medición del factor de potencia .....	8
1.3.2 Inconvenientes de un bajo factor de potencia.....	9
1.3.3 Causas y efectos de un bajo factor de potencia .....	13
1.3.4 Razones de la corrección del factor de potencia.....	14
1.3.5. Métodos de corrección del factor de potencia .....	14
1.3.6. Determinación del factor de potencia en una instalación industrial.....	23
1.3.7. Localización de los medios de compensación .....	26
<b>CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	29
2.1 Procedimiento a emplear para realizar el diagnóstico.....	30
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	33
3.1 Aplicación del procedimiento para el diagnóstico energético en la UEB Central Azucarero Fernando de Dios Buñuel.....	33
3.1.1 Etapa 1. Preparación inicial .....	33
3.1.2 Etapa 2. Ejecución del diagnóstico del comportamiento del factor de potencia.....	33
3.1.3 Etapa 3. Análisis de los resultados obtenidos.....	47
3.2 Plan de acción .....	49
3.3 Valoración económica potencial, social y medioambiental.....	51
<b>CONCLUSIONES</b> .....	55
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	56
<b>BIBLIOGRAFÍA Y CITAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	57
<b>Anexos</b> .....	61

## **INTRODUCCIÓN**

En los momentos actuales, cuando en el mundo toma vigor la preocupación para lograr una mayor eficiencia energética, en el país se realizan enormes esfuerzos para implementar el programa de ahorro energético, lo que hace indispensable el control de cada uno de sus indicadores.

Dentro de estos indicadores se encuentra el factor de potencia por la incidencia que tiene en el comportamiento de las pérdidas de energía eléctrica. Si el mismo se encuentra en el rango adecuado, se consume menos reactivo, se incrementa la potencia activa, se reducen las caídas de voltaje, aumenta la capacidad de generación del Sistema Electro energético Nacional (SEN), se reducen los costos de producción de la energía y mejora la gestión económica de la empresa agroindustrial.

El estudio del factor de potencia, a pesar de su importancia económica y técnica para la industria; aún es subvalorado por técnicos y operarios, no solo de fábricas y talleres, sino hasta del propio Sistema Electroenergético Nacional.

Como se conoce, el bajo factor de potencia (por debajo de 0.9 de acuerdo con la exigencia de la empresa eléctrica) trae aparejado un mal aprovechamiento, tanto técnico como económico, de la energía eléctrica que se le entrega al consumidor, además de las pérdidas económicas que le ocasiona a la industria en cuestión. Y aunque el objetivo supremo de las empresas agroindustriales es la producción de azúcar con calidad y sus derivados, las políticas deben estar encaminadas para realizar el proceso de producción de azúcar con el máximo de eficiencia.

Desde el punto de vista eléctrico, el bajo factor de potencia afecta tanto a los consumidores, como a la propia Empresa Eléctrica debido a la gran cantidad de potencia reactiva que circula por todo el SEN.

Para el autor fue de gran importancia los estudios realizados por el investigador (Córdova, 2013) que aportó gran parte de los sustentos teóricos para la realización de este trabajo

Esta investigación surge como una necesidad de la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero (UEB CA) Fernando de Dios Buñuel, motivada por las elevadas penalizaciones que durante varios años de forma consecutiva ha recibido de la empresa eléctrica al exceder en el consumo de potencia reactiva, que es el resultado de operar la fábrica con un bajo factor de potencia.

La UEB CA Fernando de Dios Buñuel presenta problemas en la eficiencia energética motivada entre varias causas por el bajo factor de potencia. Entre las causas que deterioran este indicador se señalan las siguientes:

- ∅ Obsolescencia tecnológica por el uso de motores construidos el pasado siglo con bajo factor de potencia.
- ∅ Falta de capacitación sobre temas energéticos que motivan errores operacionales.
- ∅ Sobredimensionamiento de motores y transformadores eléctricos que han sustituido a otros de menor tamaño.
- ∅ Los medios compensadores instalados en la empresa en los diferentes centros de carga, no existen o son insuficientes
- ∅ Los centros de carga durante la etapa de reparación están subutilizados.
- ∅ El turbogenerador no se explota de una forma correcta.

Por todo lo expuesto anteriormente se plantea como **problema científico**: ¿Cómo favorecer el comportamiento del factor de potencia en la UEB CA Fernando de Dios Buñuel?

Formulándose la siguiente **Hipótesis**: Si se diseña y aplica un plan de acción para la corrección del comportamiento del factor de potencia diagnosticado en cada centro de carga del proceso de producción, se podrá favorecer la eficiencia energética y el ahorro de energía eléctrica, lo que reduce sus costos en la UEB CA Fernando de Dios Buñuel.

Se propone como **objetivo de la investigación**: Diseñar un plan de acción para la corrección del factor de potencia en la UEB CA Fernando de Dios Buñuel, que incida positivamente en la eficiencia y competitividad energética de la empresa.

Los **objetivos específicos** de la investigación son los siguientes:

1. Sistematizar los fundamentos teóricos relacionados con el comportamiento del factor de potencia.
2. Diagnosticar el comportamiento del factor de potencia mediante el análisis del registro histórico en el sistema de distribución de 6,3 Kv y cada centro de carga del sistema eléctrico en la UEB CA Fernando de Dios Buñuel.
3. Diseñar un plan de acción para la corrección del factor de potencia en la UEB CA Fernando de Dios Buñuel.

## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **1.1 Generación y uso de la energía eléctrica en la agroindustria azucarera**

La situación energética en Cuba se encuentra en plena evolución desde el mismo triunfo de la Revolución. De trascendental importancia para el Programa Energético en el país resultan la Resolución Económica del Congreso del PCC y el Programa de Desarrollo de las Fuentes renovables de Energía aprobado por La Asamblea Nacional del Poder Popular. El programa aprobado por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros plantea la solución del problema energético en el país, con la utilización de todos y cada uno de los recursos naturales a nuestro alcance en la medida de lo posible, de forma que al aunar las diferentes alternativas energéticas encontradas pueda minimizarse el componente energético procedente del petróleo. (Borroto, 2001)

En el sector azucarero, a nivel de todo el país, se realizan las producciones tratando de autoabastecerse eléctricamente y en la mayoría de las posibilidades entregar energía al SEN. Esa es la política que tiene la organización, para esto se tiene en cuenta la potencia activa que demandan las fábricas, que es la que realmente realiza trabajo útil, ignorando completamente la demanda de potencia reactiva que también es necesaria para lograr el funcionamiento de los equipos eléctricos, siendo necesario consumir esta energía del SEN.

Esta es la causa que ubica al sector azucarero dentro de los más ineficientes en el uso racional de la energía eléctrica<sup>1</sup> al mismo tiempo que recibe las mayores penalizaciones por este concepto.

En una instalación eléctrica es de suma importancia la operación con un factor de potencia alto porque nos permite utilizar de una forma más eficiente la capacidad eléctrica de generación instalada, dicho de otra forma, cuanto más elevado es el

---

<sup>1</sup> Referido a los lineamientos 242, 244, 245, 246 y 253 del Capítulo VIII Política Industrial y energética. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución

factor de potencia mayor cantidad de potencia instalada puede usarse para producir trabajo útil.

En los momentos que vive la humanidad importantes recursos naturales, como lo son el petróleo y el agua están notablemente reducidos, los mismos se utilizan en la generación eléctrica, energía imprescindible para la vida, se considera de gran relevancia que la misma se use de manera racional. 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 las máquinas y aparatos que funcionan con electricidad.

## **1.2 Influencia del Factor de potencia en el ahorro de energía en la industria azucarera**

El suministro de energía eléctrica, para el racional funcionamiento del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) debe efectuarse con un factor de potencia de 0.90 o mayor. Valores menores implican gastos innecesarios de energía reactiva por las líneas del SEN, lo que provoca pérdidas de energía. (UNE, 2011).

La energía reactiva puede ser compensada donde se consume, mediante bancos de capacitores por los clientes, por lo que se penaliza o bonifica, como sigue:

**Bonificaciones por factor de potencia:** Los clientes que registren un factor de potencia superior a 0,92 serán bonificados mediante el importe que resulte de multiplicar la facturación normal, (sin incluir penalizaciones por incumplimiento de la demanda contratada), por 0.92 y dividir este producto por el factor de potencia real del período, hasta un valor máximo de 0,96. (UNE, 2011).

**Penalizaciones por factor de potencia:** Si es inferior a 0,90, el cliente será penalizado. La penalización será el importe que resulte de multiplicar la facturación normal (sin incluir penalizaciones por incumplimiento de la demanda contratada), por 0.90 y

dividir este producto por el factor de potencia real del período de tiempo que se analiza.

- ∅ Se penalizará con un factor de potencia menor de 0.90.
- ∅ Entre 0.90 y 0.92, no habrá penalización ni bonificación.
- ∅ Se bonificará con un factor de potencia mayor de 0.92 hasta 0.96.
- ∅ Cuando el factor de potencia sea mayor de 0.96, la bonificación se calculará utilizando el valor del factor de potencia hasta 0.96.

Antes de profundizar en el estudio del factor de potencia es necesario definir algunos términos que servirán de base para la presente investigación.

**Demanda:** Es la necesidad instantánea de potencia en un consumidor, ya sea esta activa ó reactiva. (Minaz, 2010).

**Demanda o Potencia Activa (P):** Es la potencia que demandará una carga compuesta por resistencia pura, ya sea instantánea o durante el tiempo que esté conectada a dicha carga a un voltaje alterno como plancha, bombillo incandescente entre otros. Esta potencia se mide en Watt, kilowatt y megawatt. (Minaz, 2010).

**Demanda o Potencia Reactiva (Q):** Es la necesidad de potencia instantánea ó durante el período que esté conectada cualquier carga que requiera corriente de magnetización para realizar un trabajo EJ: transformador, motor, horno de inducción, capacitor, etc. Esta potencia se mide en volt-ampere-reactivos y puede ser reactiva inductiva y reactiva capacitiva. (Minaz, 2010).

**Demanda Reactiva Inductiva:** Es la potencia que demandará cualquier enrollado cuando está conectado a un voltaje alterno EJ: motor, transformador, etc. y se mide en volt-ampere reactivo (VAR). (Minaz, 2010).

**Demanda Reactiva Capacitiva:** Es la potencia que demandará una carga capacitiva cuando está conectada a un voltaje alterno EJ: condensador, esta energía se mide en volt-ampere reactivo capacitivo (VARC). (Minaz, 2010).

**Demanda o Potencia Aparente (S):** Es la resultante de la suma geométrica de las demandas activas y reactiva en un circuito de corriente alterna y se mide en volt-

ampere (VA). La demanda aparente no se puede calcular mediante la suma aritmética de los valores de las demandas activas y reactivas ya que son magnitudes vectoriales. (Minaz, 2010).

### 1.3 Factor de potencia

Se denomina factor de potencia a la relación que existe entre la demanda activa o real (KW de trabajo) y la demanda aparente (KVA total de potencia aparente). Dicho en otras palabras el F.P indica qué tanto por ciento de la demanda aparente es utilizada para realizar trabajo útil EJ: cuando decimos que una instalación tiene un F.P de 0.86 esto significa que del total de energía que está cargando la instalación es solamente el 86% la que está realizando trabajo útil. (Merlin Gerin, 2003).

La conexión de cargas inductivas o capacitivas en una instalación provoca el desfase entre la onda de intensidad y la tensión. El ángulo  $\varphi$  que se produce en este desfase indica la relación entre la corriente reactiva de una instalación y la corriente activa de la misma, esta misma relación se establece entre las potencias o energías activa y reactiva. ([http://members.tripod.com/JaimeVp/Electricidad/factor\\_de\\_potencia\\_1.HTM](http://members.tripod.com/JaimeVp/Electricidad/factor_de_potencia_1.HTM))

El  $\cos \varphi$  (factor de potencia) indicará por tanto la relación entre la potencia activa y la potencia aparente de la instalación. Por esta razón el  $\cos \varphi$  indicará el rendimiento eléctrico de una instalación figura 1.

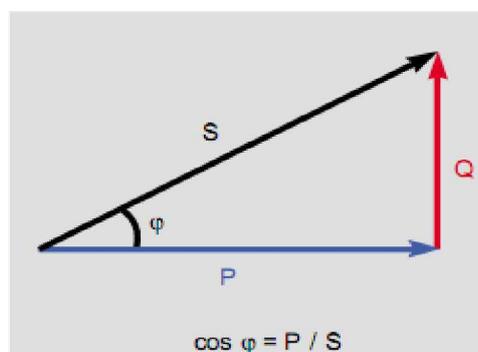


Figura 1. El  $\cos \varphi$  como representación del Rendimiento eléctrico de una instalación (Merlin Gerin, 2003).

Analizando el triángulo de potencias de la figura anterior deducimos que:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (1); \quad P = S \times \text{Cos}\Phi \dots\dots\dots (2) \quad \text{y} \quad Q = S \times \text{Sen}\Phi \dots\dots\dots (3)$$

donde:

S: Potencia aparente (KVA).

P: Potencia activa (KW).

Q: Potencia reactiva (KVAR).

$\text{Cos}\Phi$  : Factor de potencia.

La relación entre la potencia activa y la potencia aparente se denomina factor de potencia ( $\text{Cos}\Phi$ ) (Schneider, 2000) matemáticamente lo podemos expresar:

$$\text{Cos}\Phi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (4)$$

es decir, el factor de potencia caracteriza la correlación de las potencias eficaces activa y reactiva, constituye un índice de la utilización de la energía eléctrica.

El valor aproximado del F.P nominal de los receptores mas usados por las redes eléctricas industriales se puede apreciar en el anexo 1 (Figura 1).

### 1.3.1 Medición del factor de potencia

La medición del FP se puede efectuar tanto con instrumentos de medición directa, con escalas graduadas en  $\text{cos } \varphi$  como con otros instrumentos no calibrados para este fin (amperímetros, voltímetros, kilowatímetros, kilovarímetros, etc.), calculándose por la relación existente entre el F.P y estas magnitudes.

Los métodos más usados son.

- Ø Lectura directa a través del cofimetro y los analizadores de redes, estos instrumentos están diseñados especialmente para medir directamente el valor del F.P.
- Ø Lectura indirecta mediante la Medición con Voltímetro, Amperímetro y Kilowatímetro o kilovarímetro y realizando el calculo apropiado.

La potencia activa en una instalación es menor que la aparente por lo cual el F.P posteriormente es menor que la unidad, solamente cuando la carga es puramente activa (resistencia pura) el F.P será igual a la unidad o sea cuando  $S \text{ (KVA)}=P \text{ (KW)}$ . Es importante recordar que el F.P de una carga puede estar en atraso o en adelanto: Se dice que está en atraso cuando la carga requiere potencia reactiva (KVAR) y en adelanto cuando la carga entrega potencia reactiva (KVAR).

En las instalaciones eléctricas industriales los principales consumidores de energía son los motores asíncronos, transformadores, hornos de inducción y otros dispositivos electromagnéticos, que para su trabajo normal necesitan tanto potencia activa como reactiva, las cuales se entregan por lo general desde generadores sincrónicos y se transmiten por los sistemas de abastecimiento eléctrico de corriente trifásica desde la estación eléctrica hasta los consumidores.

### 1.3.2 Inconvenientes de un bajo factor de potencia.

Las cargas eléctricas pueden consumir potencia reactiva en tal magnitud, que afectan al factor de potencia de una instalación.

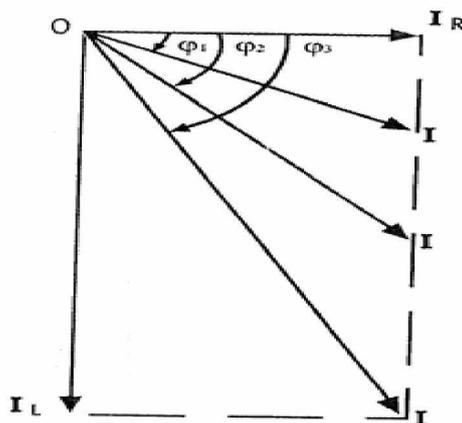


Figura 2. Disminución del factor de potencia al aumentar la corriente reactiva  $I_L$ .  
Fuente (Merlin Gerin, 2003).

En la Figura 2 se puede observar que cuánto mayor sea la corriente reactiva  $I_L$ , mayor es el ángulo  $\varphi$  y por tanto, más bajo el factor de potencia. Aparejado se tiene

un incremento en la corriente total con serios inconvenientes (no sólo para el usuario sino también para la empresa que suministra energía eléctrica). (Báez, 2000).

Es necesario establecer ¿cuales son las consecuencias de un bajo FP? y ¿cuales son las ventajas de una unidad de producción manteniendo un alto FP?:

- a) Los generadores sincrónicos los transformadores se calculan por las condiciones de calentamiento para la corriente total (potencia total).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \frac{P}{\cos\Phi}.$$

Por esta razón desde el punto de vista del calentamiento, es completamente indiferente que tipo de corriente, activa o reactiva pase por los devanados de estas maquinas; pero mientras menos corriente reactiva ( $I_r$ ) circule más disponibilidad de corriente activa ( $I_a$ ) habrá, que es la encargada de realizar trabajo útil. (Báez, 2000).

Los motores primarios de los generadores se calculan para la potencia activa generada. Por lo tanto, cuando aumenta la potencia reactiva, disminuye el F.P y es necesario disminuir la carga activa, por lo que los motores primarios estarán parcialmente cargados, lo cual implica la disminución de su rendimiento. Por ejemplo: Un generador con una potencia  $S$  igual a 5000 Kva con un F.P de los consumidores  $\cos\Phi = 0,9$ , puede elaborar una potencia activa:

$$P_g = S_g \times \cos\Phi = 5000 \times 0,9 = 4500 \text{ Kw}$$

Este mismo generador con un insuficiente FP  $\cos\Phi = 0,6$ , la potencia activa del mismo disminuirá hasta:

$$P_g = S_g \times \cos\Phi = 5000 \times 0,6 = 3000 \text{ Kw}$$

Para cubrir la diferencia de potencia de 1500 Kw será necesario colocar un generador adicional con una potencia:

$$S_g = \frac{1500 \text{ Kw}}{0,6} = 2500 \text{ Kva}$$

Lo mismo ocurre con los transformadores de distribución eléctrica industrial.

En la Figura 3 se muestra la curva típica de un transformador de distribución,

donde se puede observar cómo su capacidad depende directamente del factor de potencia.

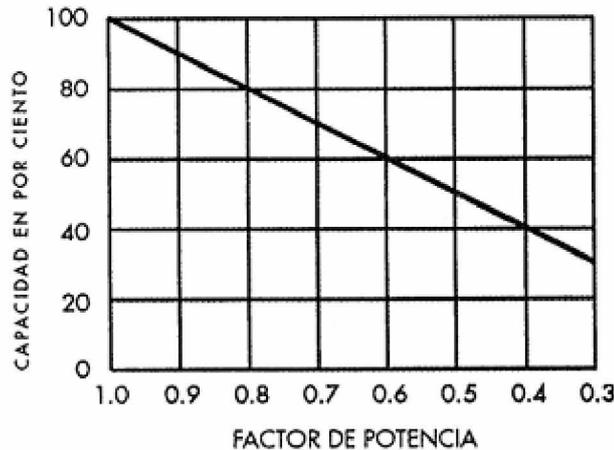


Figura 3. Influencia del factor de potencia en la capacidad de un transformador.  
 Fuente (Merlin Gerin, 2003).

Para valores reducidos de éste, la carga útil del equipo se ve notoriamente disminuida.

b) Un incremento en las pérdidas de cobre.

La potencia que se pierde por pérdidas de cobre está dada por la expresión (5). Donde I es la corriente por fase (A) y R la resistencia por fase (Ω) de los equipos (bobinados en generadores y transformadores y conductores de los circuitos de distribución). Como un bajo factor de potencia implica un incremento en la corriente total, debido al aumento de su componente reactiva, las pérdidas pueden aumentar de manera significativa.

La expresión para el cálculo de estas pérdidas en función de la corriente activa, la resistencia de los conductores y el F.P es:

$$\Delta P_c = \frac{(I_a)^2 \times R}{\cos^2 \Phi} \dots\dots\dots (5)$$

Como se aprecia las pérdidas térmicas en la red son inversamente proporcionales al

cuadrado del FP.

c) Una deficiente regulación de voltaje.

Un factor de potencia reducido ocasiona una disminución del voltaje de alimentación de las cargas eléctricas (motores, lámparas, etc.), que por esta causa pueden experimentar una reducción sensible de su potencia de salida. Esta reducción del voltaje se debe en gran medida, a la caída que se experimenta en los conductores de transformadores y circuitos por la corriente en exceso que circula por ellos.

La caída de tensión en un punto determinado de la red se diferenciará de la tensión en el punto de generación en la magnitud  $\Delta U$ , la cual se conoce como pérdida de tensión Figura 4.

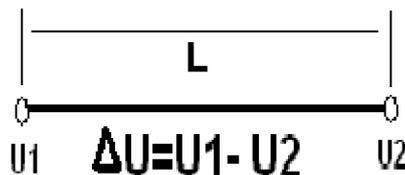


Figura 4. Pérdidas de tensión en la red.  
 Fuente (Merlin Gerin, 2003).

Las pérdidas totales en una red con un F.P menor que la unidad para cualquier carga, se determina por la fórmula siguiente:

$$\Delta U(\%) = \frac{100 \times \sqrt{3} \times I \times L}{U_{nom}} \times (r \cos \Phi + x \sin \Phi) \dots \dots \dots (6)$$

donde:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_{nom} \times \cos \Phi} \dots \dots \dots (7)$$

I: Corriente de carga (A).

r ; x: Resistencias específicas activa e inductiva del conductor ( $\Omega/\text{Km}$ ).

L: Distancia desde el consumidor hasta la fuente de alimentación (Km).

Como podemos apreciar la caída de tensión es inversamente proporcional al FP.

d) Un incremento en la facturación de energía eléctrica.

Un bajo factor de potencia significa energía desperdiciada y afecta a la adecuada utilización del sistema eléctrico. Por esta razón, en las tarifas eléctricas de los mercados de electricidad regulados, se imponen cuotas a manera de multas si el factor de potencia es menor que cierta cifra y, usualmente, se ofrece una reducción en la factura de electricidad (bonificación) en instalaciones con un factor de potencia elevado.

### 1.3.3 Causas y efectos de un bajo factor de potencia

Las principales causas de un bajo F.P en la industria son:

Ø Motores de inducción parcialmente cargados: con frecuencia encontramos motores sobredimensionados o que fueron proyectados para una carga nominal y normalmente son operados con poca carga.

Ø Elección incorrecta del tipo de motor eléctrico con respecto a la carga.

Ø El uso de motores de tecnología obsoleta.

Los motores según el tipo, potencia y velocidad disminuyen el  $\cos \phi$  motores de alta velocidad y gran potencia, poseen mayor  $\cos \phi$  que los de baja velocidad y menor potencia.

Ø Reparación incorrecta de los motores eléctricos.

La modificación del enrollado varía el flujo magnético de dispersión y ello conduce la disminución del FP.

Ø Incremento de dispositivos de inducción, equipos electromecánicos, aires acondicionados etc.

#### **Efectos.**

Entre los principales efectos que produce un bajo factor de potencia se encuentran:

Ø Sobre carga en los generadores, transformadores y conductores eléctricos produciendo calentamiento, sulfatación y deterioro de los mismos.

Ø Aumento de las pérdidas en el cobre

- Ø Reducción de los niveles de voltaje
- Ø Aumento del costo de la energía

#### **1.3.4 Razones de la corrección del factor de potencia**

Las razones fundamentales son las siguientes.

- Ø Eliminación de los efectos indeseables señalados anteriormente.
- Ø Aumento de eficiencia energética en la UEBCA.
- Ø Reducción en el costo de la energía por concepto de pago al SEN.

#### **1.3.5. Métodos de corrección del factor de potencia**

El mejoramiento del factor de potencia industrial sólo puede ser alcanzado a través de la correcta combinación de diferentes medios para su elevación, cada uno de los cuales debe ser técnica y económicamente fundamentado. Los medios para la elevación del factor de potencia pueden ser considerar dentro de los grupos generales siguientes:

- I. Reducción del consumo de potencia reactiva, sin la aplicación de medios compensadores.
- II. Con la aplicación de medios compensadores. (UC, 2006).

##### **I. Sin la aplicación de medios compensadores.**

El primer paso para corregir el bajo factor de potencia en una instalación es prevenirlo, para lo cual se debe evitar, en lo posible, la demanda excesiva de potencia reactiva. Para esto, en términos generales, no se requieren grandes inversiones capitales. A esta variante pertenecen las siguientes medidas:

- 1) Ordenamiento del proceso tecnológico.
- 2) Selección correcta del tipo de motor.
- 3) Sustitución de los motores asíncronos subcargados por otros de menor potencia.
- 4) Reducción del voltaje de los motores que sistemáticamente trabajan con poca carga.

- 5) Limitación del trabajo de los motores en vacío.
- 6) Elevación de la calidad de la reparación de los motores.
- 7) Sustitución de los transformadores subcargados.
- 8) Sustitución de motores de tecnología obsoleta aunque esta medida si requiere inversiones.

### **Ordenamiento del proceso tecnológico**

La sola aplicación de medidas organizativas del proceso de producción puede significar un efecto considerable en la elevación del factor de potencia, siempre que ellas sean encaminadas al mejoramiento del régimen de trabajo eléctrico de la instalación. La coincidencia innecesaria en el proceso productivo de actividades que implican algún grado de subutilización de los equipos eléctricos (que por lo general son evitables), conducen a un mayor consumo de energía eléctrica y, casi siempre, a un empeoramiento del factor de potencia. En la UEB CA Fernando de Dios Buñuel. Por las características del proceso de producción es posible realizar un reordenamiento del proceso tecnológico principalmente al elegir la arrancada del ingenio con suficiente caña para disminuir las paradas innecesarias y la marcha en vacío de grandes motores.

### **Selección correcta del tipo de motor**

Los motores de alta velocidad y gran potencia poseen un mayor factor de potencia, como se puede observar en las curvas típicas que se muestran en la Figura 5

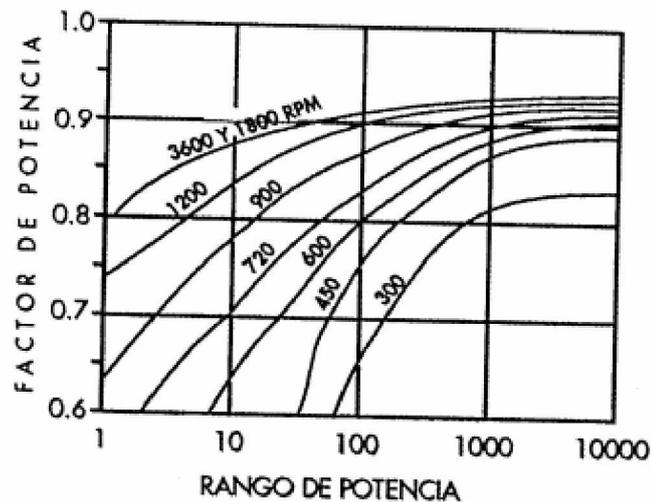


Figura 5. Curvas típicas de motores trifásicos, donde se observa la variación del factor de potencia con respecto a la velocidad sincrónica y la potencia del motor en hp.

Fuente (Merlin Gerin, 2003).

Lo mismo ocurre con los motores trifásicos con respecto a los monofásicos y con los motores abiertos en comparación con los cerrados. Siempre que sea posible y de acuerdo con los requerimientos del proceso productivo, aspectos como los señalados deben tomarse en consideración a la hora de seleccionar el tipo de motor.

### **Sustitución de los motores asíncronos subcargados por otros de menor potencia**

Los motores que operan con bajas cargas disminuyen su factor de potencia. Por esto es importante adecuar la capacidad de los motores a sus cargas reales y evitar su operación prolongada en vacío o subcargados.

En la Figura 6 se tiene una curva característica para un motor de jaula de ardilla trifásico de 1800 rpm. Nótese cómo el factor de potencia decrece sensiblemente para cargas por debajo del 50 % de su potencia nominal.

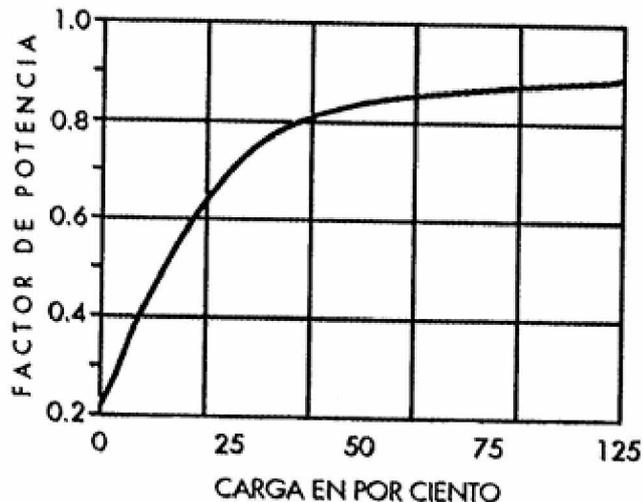


Figura 6. Variación del factor de potencia con la carga de un motor asíncrono  
Fuente (Merlin Gerin, 2003).

### **Reducción del voltaje de los motores que sistemáticamente trabajan con poca carga**

Ante la imposibilidad técnica o económica de sustituir motores asíncronos subcargados, se debe estudiar la conveniencia de la reducción del voltaje hasta determinado valor mínimo permisible, que provoca la reducción de la potencia reactiva requerida por el motor y con ello la elevación del factor de potencia.

Al propio tiempo, se disminuyen las pérdidas de potencia activa y, consecuentemente, se eleva la eficiencia del motor. En la práctica se aplican los siguientes métodos de reducción del voltaje:

- a) Reconexión de los devanados del estator de delta a estrella.

La reconexión puede ser recomendada para motores de bajo voltaje sistemáticamente subcargados a menos del 35-40 % de su potencia nominal. Teniendo en cuenta que con la reconexión del motor de delta a estrella se disminuye el momento de arranque y el momento máximo en tres veces, es necesario verificar la capacidad de arranque y de sobrecarga en esas condiciones.

b) Seccionalización de los devanados del estator.

La seccionalización de los devanados del estator de los motores asíncronos se puede recomendar en aquellos casos en que resulta imposible la reconexión. Si el motor tiene los devanados del estator en paralelo, la seccionalización puede ejecutarse con relativa simplicidad. Cuando el motor está devanado siguiendo otros esquemas de conexión, la seccionalización resulta más compleja, siendo posible únicamente en el momento de la realización de las reparaciones capitales.

En este caso, también hay que considerar la disminución del momento de arranque y del momento máximo.

c) Disminución del voltaje de los circuitos de fuerza a través del cambio de las derivaciones (taps) de los transformadores reductores.

El cambio de las derivaciones (taps) de los transformadores reductores resulta una medida acertada, siempre que otros los otros receptores que alimente el transformador, por sus características y regímenes de trabajo, admitan la reducción del voltaje aplicado a sus terminales.

d) Limitación del régimen de trabajo de los motores en vacío.

El trabajo de muchos motores asíncronos se caracteriza porque en los intervalos entre cargas ellos operan en vacío o subcargados. En no pocas aplicaciones, el tiempo de trabajo a carga nominal de los motores sólo dura escasos minutos.

**Sustitución de motores asíncronos por motores síncronos.**

Puede ser ésta una interesante medida para la elevación del factor de potencia y, por ende, para la reducción de las pérdidas; pero debe tenerse en cuenta que ello sólo es posible en aquellos casos en que las condiciones del proceso tecnológico así lo permitan y de que se cumplan determinados requisitos. Se llegan a justificar cuando se requieren motores nuevos y de potencia considerable con respecto a la instalación, bajas velocidades de carácter constante y cargas poco variables. Siempre se requiere de un análisis económico para evaluar la decisión a tomar. Más adelante se vuelve a insistir sobre este asunto.

### **Elevación de la calidad de la reparación de los motores**

Una reparación deficiente, provoca una disminución del factor de potencia en los motores, debido al incremento de la corriente en vacío. Defectos en la reparación pueden producir desbalances y otros fenómenos que conducen al incremento de las pérdidas. Es necesario que la reparación se realice en talleres que apliquen los procedimientos adecuados con los recursos requeridos y que la efectúe personal calificado, para garantizar la calidad.

### **Sustitución de los transformadores subcargados**

En la elevación del factor de potencia de una instalación, pueden ser alcanzados muy buenos resultados a través de la racionalización del trabajo de los transformadores, logrado con la sustitución y reagrupación de éstos, así como con la desconexión de algunos durante las horas de menor carga. Si con estas medidas se reduce el consumo de potencia reactiva y se disminuyen las pérdidas de potencia activa, entonces su ejecución será incuestionablemente de gran utilidad económica.

## **II. Con la aplicación de medios compensadores**

Con frecuencia no resultan suficientes las medidas que permiten mejorar el factor de potencia sin emplear medios compensadores y entonces, resulta necesario utilizar equipos auxiliares para corregirlo. Estos equipos de naturaleza capacitiva, toman una corriente en adelanto con respecto al voltaje, que se opone a la corriente inductiva de las cargas de la instalación.

La manera de mostrar el efecto descrito es a través de las relaciones de potencia. En la Figura 7 se observa cómo la potencia reactiva capacitiva  $kVARC$ , reduce el requerimiento de potencia reactiva total ( $kVARL-kVARC$ ), disminuyendo tanto el ángulo  $\phi$  como la potencia aparente  $kVA$ .

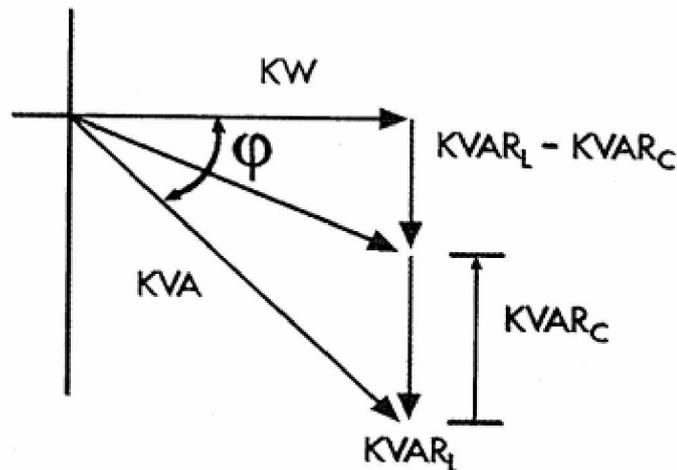


Figura 7. Efecto de los kVARC sobre los kVARL de una corriente inductiva  
Fuente (Merlin Gerin, 2003).

Por ningún motivo se debe sobre compensar la carga, ya que un exceso de kVARC es tan perjudicial como su defecto. En la práctica, principalmente por razones económicas, los kVARL no se anulan totalmente, sino se les mantiene dentro de los valores que den los costos totales menores. La valoración económica en cuanto a qué magnitud de los kVARL debe compensarse, debe ser realizada por los métodos de descuento que fueron analizados.

Los equipos que se utilizan para compensar la potencia reactiva y así corregir el factor de potencia son: motores sincrónicos, capacitores sincrónicos y capacitores estáticos de potencia.

#### Motores sincrónicos

Cuando se requieren motores de gran potencia y alta velocidad, se debe considerar la instalación de motores sincrónicos. Estos motores pueden proporcionar un trabajo mecánico y al mismo tiempo, en caso de operar sobreexcitados, comportarse como una carga capacitiva.

Ellos constituyen una forma de compensación fácilmente controlable, aunque su costo es mayor que el de un motor asincrónico.

La utilización de los motores sincrónicos puede ser conveniente no solamente sustituyendo a motores asincrónicos de igual potencia, sino también instalando motores sincrónicos de mayor potencia que la requerida por el mecanismo, para aprovechar la capacidad restante en una mayor compensación del reactivo en el sistema. La utilidad de la segunda medida deber ser fundamentada técnica y Económicamente a través de la comparación con otras variantes del mejoramiento del factor de potencia.

#### Compensadores sincrónicos

Los compensadores sincrónicos son motores diseñados exclusivamente para corregir el factor de potencia. Se fabrican de construcción aligerada, para trabajar sin carga en el eje (en vacío).

El cambio de la magnitud de la potencia reactiva generada por el compensador se ajusta con la regulación de su excitación. Generalmente son de gran tamaño.

Las pérdidas de potencia activa en estas máquinas, a plena carga, en dependencia de su capacidad nominal, oscilan entre 0.32 y 0.15 Kw/kVAR, es decir, constituye un apreciable valor.

Como otra desventaja de los compensadores sincrónicos puede señalarse el encarecimiento y complejidad de su explotación (en comparación, por ejemplo, con los capacitores estáticos) y el considerable ruido durante su operación.

La posibilidad de una regulación suave y automática de la magnitud de la potencia reactiva generada, independientemente de la generación de potencia activa y voltaje en las barras, la buena estabilidad térmica y dinámica durante cortocircuitos y la posibilidad de reparación, son las propiedades positivas de los compensadores sincrónicos como fuentes de potencia reactiva.

El costo específico de los compensadores sincrónicos se incrementa considerablemente con la disminución de su potencia nominal.

### **Capacitores estáticos de potencia.**

En comparación con los compensadores sincrónicos, los capacitores estáticos tienen las siguientes ventajas:

1. Pequeñas pérdidas de potencia activa (0.0025 a 0.005 kW/kVAR)
2. Simplicidad de la explotación (por ausencia de las partes rotatorias).
3. Simplicidad del montaje (pequeño peso, no requieren bases o cimientos, etc.).
4. Para su instalación puede ser utilizado cualquier lugar seco.
5. Bajo costo.
6. Mantenimiento casi nulo.
7. Igual o más alta confiabilidad, aunque son más sensibles a las fallas de cortocircuito y a voltajes superiores al nominal.
8. Presentan mucho menos tiempo de respuesta de control.
9. Pueden ser diseñados con control individual de voltaje de fase.

Todo esto hace de los capacitores la forma más práctica y económica para mejorar el factor de potencia.

Una característica de estos compensadores estáticos que puede resultar desventajosa, es que su capacidad generadora de reactivo es proporcional al voltaje al cuadrado, por lo que se ve reducida para bajos voltajes. Por otra parte, algunos sistemas estáticos empleados para su control generan armónicos. Un rasgo de estos equipos que puede ser tanto ventajoso como desventajoso, es que no contribuyen a la capacidad de cortocircuito.

En la mayoría de los casos en que los sistemas eléctricos presentan inicialmente un bajo factor de potencia, la inversión inicial en capacitores es rápidamente recuperable, tan sólo por los ahorros que se obtienen al evitar el pago de recargos que, por bajo factor de potencia, se hacen en la cuenta de electricidad. (UC, 2006).

### **1.3.6. Determinación del factor de potencia en una instalación industrial**

Cuando se trata de cargas individuales, generalmente el factor de potencia es conocido o puede ser estimado a partir de los datos del fabricante. Si esto no es factible o si se tiene un conjunto de cargas diferentes, tanto por su naturaleza como por sus tiempos de conexión, es conveniente auxiliarse de equipos de medición.

El factor de potencia se puede evaluar en forma instantánea o en promedio para un intervalo. El conocimiento periódico de valores instantáneos, sobre todo en condiciones de demanda máxima, permite conocer su comportamiento y ofrece una perspectiva para controlarlo. En instalaciones donde la carga no esté sujeta a grandes variaciones durante las horas de trabajo, puede ser considerado un factor de potencia promedio.

Existen varios métodos para determinar el factor de potencia, entre los cuales se tienen los que se mencionan a continuación.

1. Con watímetro, voltímetro y amperímetro.

Las lecturas de potencia activa, voltaje y corriente de estos instrumentos, dan el factor de potencia al sustituirse en la expresión adecuada, según la instalación sea monofásica o trifásica.

2. Con un indicador de factor de potencia (cofímetro).

En este caso, el indicador de factor de potencia (cofímetro) proporciona en forma directa el valor de  $\cos\varphi$ . Adicionalmente, la medición de la potencia activa servirá para estimar la potencia capacitiva necesaria para corregirlo.

3. Con sistemas avanzados de medición (analizador de redes).

Actualmente se encuentran en el mercado una gran variedad de sistemas de medición (conocidos como analizadores de redes) que permiten medir todas las magnitudes variables que posibilitan realizar una completa valoración de cada uno de los indicadores energéticos, incluyendo el factor de potencia. Estas mediciones se pueden realizar por telemedición, en los puntos del circuito que resulte conveniente; se pueden programar los intervalos de tiempo en que se efectúan; el sistema puede

ser conectado en interfase con computadoras para el procesamiento de datos y otras facilidades. Aunque los costos de estos equipos puedan parecer elevados, sus ventajas como herramientas para el control del consumo de energía y para tomar las medidas de ahorro pertinentes, permiten usualmente recuperar la inversión en un tiempo satisfactorio. En la presente investigación constituyó el método fundamental para diagnosticar el factor de potencia.

**Cálculo de la potencia reactiva necesaria para corregir el factor de potencia.**

Por las ventajas que ofrecen los condensadores En comparación con los otros dispositivos de compensación, constituyen el método más empleado para la corrección del factor de potencia.

(Maliuk, 1980).

Los condensadores prácticamente se pueden instalar en la unidad en cualquier punto de red, directamente junto a los consumidores en la subestación central o en la del sector.

El numero de condensadores  $n$  en la batería con tensión nominal  $U_n$  , se determina por la siguiente fórmula.

$$n = \frac{Q_k}{q \left( \frac{u_{nom}}{u_{nomc}} \right)} \dots\dots\dots (8)$$

La capacidad de la batería de condensadores, cuando se conectan en estrella, se determinan por la siguiente fórmula

$$c = \frac{Q_k \times 10^3}{3 \times u^2 \omega} (\mu f) \dots\dots\dots (9)$$

Y cuando se conectan en delta por la siguiente fórmula:

$$c = \frac{q_k \times 10^3}{3u^2 \omega} \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

U= tensión de la red.

$\omega = 2\pi \times f$  frecuencia angular de la corriente.

Como se ve en la formula, la capacidad de los condensadores es inversamente proporcional al cuadrado de la tensión en la red, por esto, cuando se conectan del lado de la alta tensión, es necesario una menor capacidad.

Cuando se conectan en delta, la capacidad será tres veces menor que cuando se conectan en estrella. Por esto para disminuir el costo de los condensadores y el área que ocupan generalmente, se utilizan condensadores de alta tensión conectados en delta.

a) A partir de la factura eléctrica.

Cuando la carga que se va a compensar no presenta variaciones importantes durante la jornada de trabajo, el cálculo de la potencia reactiva de los capacitores a instalar (kVARC) puede realizarse a partir de la factura eléctrica.

[webmaster@electricaweb.com](mailto:webmaster@electricaweb.com)

Para esto se escoge el mes donde el reporte de energía reactiva sea más elevado y se toman los valores de kWh y kVArh facturados. Se determina el factor de potencia promedio existente en la instalación, al que se le denominará  $\cos\phi_1$ . La potencia reactiva necesaria de los capacitores, para corregirlo a un nuevo valor de  $\cos\phi_2$ , se puede calcular aplicando directamente la siguiente expresión derivada de las relaciones del triángulo representativo de la potencia aparente, activo y reactivo:

$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \dots\dots\dots (11).$$

donde:

$$\tan \phi_1 = \tan(\cos^{-1} \phi) \dots\dots\dots (12).$$

Con el objetivo de simplificar los cálculos, los fabricantes de capacitores han preparado materiales auxiliares, como el que se tiene en la Tabla 1. (Anexo 2) en la

que se puede encontrar rápidamente el valor del multiplicador  $(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$ . El factor de potencia que se desea corregir está mostrado como ordenada y el factor de potencia deseado, como abscisa. La magnitud del multiplicador es leída en la intersección.

Por ejemplo, considérese una carga de 1000 kW con un factor de potencia de 0.8, que se desea modificar a 0.9. De la Tabla 1. (Anexo 2) el multiplicador es 0.266; por lo tanto, la potencia de los capacitores es:  $1000 \times 0.266 = 266$  kvar.

#### b) A partir de mediciones en condiciones de demanda máxima

Si la carga presenta cambios significativos, puede emplearse tanto el factor de potencia, como la potencia en condiciones de demanda máxima. Se debe tener cuidado que los capacitores así seleccionados, cuando se esté en condiciones de mínima carga, no causen una sobre compensación, ya que ésta se traduciría en una elevación del voltaje, lo cual podría alcanzar niveles peligrosos. Si esto ocurriera, debe considerarse la utilización de bancos desconectables o de regulación automática, con los que se puede mantener un factor de potencia dentro de un rango apropiado.

Otra alternativa para evitar una sobre compensación, consiste en instalar los capacitores junto con las cargas, de tal forma que sólo estén en servicio cuando éstas estén conectadas. Esta solución, generalmente más costosa, se llega a justificar en equipos de capacidad importante.

### **1.3.7. Localización de los medios de compensación**

Después de la previa determinación orientadora de la potencia necesaria y selección de los tipos de equipos de compensación, aparece la tarea de la óptima localización de estos en los circuitos del sistema de suministro industrial.

De la selección de la ubicación de los equipos de compensación dependen su costo y la magnitud de las pérdidas de energía eléctrica.

El costo más bajo de los equipos de compensación de 5/ Kvar se obtiene con la localización de estos en los circuitos con voltajes de 6---10 kv.

A la localización óptima de los equipos compensadores corresponde la variante técnicamente aceptable con los gastos anuales mínimos. (Feodorov, 1987) y (Rodríguez, 1987).

Para la orientación previa en la tarea acerca del fundamento técnico-económico de la focalización de los equipos compensadores se deben tener presentes las siguientes consideraciones.

1. En las industrias con circuitos de fuerza de 0,66 kv, como regla general, deben ser instalados condensadores a voltajes de 0,66 kv.

Si estas industrias tienen motores asíncronos de alto voltaje, para la compensación de éstos será conveniente la instalación de condensadores de 6—10 kv.

1. En industrias con circuitos de fuerza de 0,38 kv, como más ventajosa puede resultar tanto la instalación mezclada de condensadores de 0,38 y 6—10 kv, como la instalación de condensadores solamente a 0,38 kv.

La selección de la variante se realiza sobre la base de la comparación de los cálculos técnico-económicos.

2. En industrias con circuitos de fuerza de 0,22 kv se permite la instalación de capacitores de 0,22 kv, si el factor de potencia natural del lado de 0,22 kv es menor de 0,7. en el caso de factores de potencia superiores a 0,7 se deben instalar condensadores de 6—10 kv.

3. los condensadores de 0,22—0,5 kv deben ser instalados, con la observación de las medidas de seguridad contra incendios, en las pizarras de distribución de grupos de carga, debido a que la instalación centralizada, como regla, es menos conveniente.

En aquellos casos en que resulta necesario aliviar la carga de los transformadores de fuerza y la instalación de los condensadores de 0,22—0,5 kv no es posible en los

paneles o pizarras de grupos, se permite la instalación centralizada de estos condensadores.

4. La potencia de las baterías de condensadores instaladas en las pizarras de distribución de grupos, se recomienda tomar no menor de 30 kvar, para evitar el crecimiento sustancial de los gastos en equipos de desconexión, instrumentos de medición y el panel de control y ajuste.

## **CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El trabajo se realizó en la UEB Fernando de Dios Buñuel. Se encuentra situada en la carretera que conduce a Banes, en el Km. 19 del poblado de Tacajó, perteneciente al municipio Báguano, provincia Holguín, con dirección sito en calle 2 de abril No 82, siendo el principal renglón económico de la localidad. El estudio se realizó en el periodo de las zafras 2010 – 2011 y 2011–2012.

La Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Fernando de Dios posee una capacidad potencial instalada de 4 025 Tn/día, siendo su norma operacional de 3 220 T/día para el 80 % del aprovechamiento de su capacidad.

Para desarrollar la investigación se emplearon métodos de investigación teóricos como son:

**Método de análisis y síntesis:** para el estudio de los componentes del sistema eléctrico. Estudio y análisis de la literatura vinculada con el problema a tratar. Para realizar la interpretación de los resultados obtenidos a través de los métodos empíricos, así como para la elaboración del informe.

**Método de análisis histórico y lógico:** para analizar el comportamiento del factor de potencia a partir de los datos de las dos zafras anteriores 2010 y 2011, desde diferentes posiciones estudiadas y la evolución de la solución propuesta.

**Método inductivo – deductivo:** Para establecer generalizaciones a partir de datos obtenidos de los documentos, así como de la observación directa.

## **Métodos empíricos**

**Observación:** permite conocer la realidad mediante la percepción directa del problema a investigar. Para recoger la información de cada uno de las variables definidas en la hipótesis de trabajo. En la observación de los datos proporcionados por los analizadores de redes.

**Entrevista:** se realizó a operadores de Planta Eléctrica para determinar las características de operación del turbo generador y obtener criterios acerca del sistema de estimulación y a técnico del área para conocer los medios de compensación instalados en la fábrica.

**Revisión de documentos:** Se empleo en la revisión de los documentos normativos del sector, informes de las inspecciones realizadas por la EEP.

**Métodos estadísticos:** para procesar los datos que proporcionan los métodos empíricos.

### **2.1 Procedimiento a emplear para realizar el diagnóstico**

Para la elaboración del diagnóstico de la parte eléctrica de la UEB Central Azucarero Fernando de Dios Buñuel con respecto al factor de potencia ( $\cos \phi$ ). Se empleó el siguiente procedimiento teniendo en cuenta que el mismo nos brinda las herramientas necesarias para definir el plan de acciones de mejora con el objetivo de lograr un comportamiento adecuado del factor de potencia que permita incrementar la eficiencia y evitar las penalizaciones de las que es objeto la unidad.

#### **Primera etapa. Iniciar la Preparación**

**Objetivo:** Garantizar el apoyo y colaboración de técnicos y trabajadores con experiencia y conocimientos en la materia, personal especializado y dirigentes de la entidad. Durante esta etapa es necesario informar al personal involucrado a cerca del objetivo que persigue el trabajo y su importancia para la UEB.

**Primer paso.** Recopilar toda la información que se necesite para realizar el diagnóstico.

Para recopilar la información necesaria para el diagnóstico se realizó la revisión de documentos, informes de zafra, fichas técnicas de los equipos y registros históricos de autómatas y analizadores de redes. Además de la recogida de los datos que se relacionan con las características técnicas del equipamiento instalado y de las redes de distribución de energía, así como el comportamiento de los parámetros de operación de estos equipos.

### **Segunda etapa. Ejecución del diagnóstico**

**Objetivo:** Analizar en cada uno de los centros de carga de la fábrica los consumidores de mayor potencia, por ser los de mayor influencia en el comportamiento del ( $\cos \varnothing$ ) teniendo presente sus características y el régimen de trabajo a que están sometidos.

#### **Primer paso. Caracterización del proceso.**

Se describe brevemente la ubicación de la empresa y la capacidad de generación instalada. Se caracteriza el sistema de distribución de energía a las diferentes áreas del proceso de producción, apoyados en los monolineales y fichas técnicas de los equipos, se describe cada subestación reductora, sus principales consumidores y los parámetros que los caracterizan (potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia).

**Segundo paso.** Indicadores de comportamiento del factor de potencia ( $P_a$ ,  $Q_r$ ,  $\cos \varphi$ ).

Se analizan los indicadores del factor de potencia ( $P_a$ ,  $Q_r$ ,  $\cos \varphi$ ) dados por los fabricantes de los equipos y se comparan con los registros históricos tabulados en el anexo 3. Se aplicó la entrevista a operadores de planta eléctrica (anexo 4) para conocer características de operación del turbo generador y del sistema de estimulación aplicado.

La entrevista al técnico del área (anexo 5) permitió conocer los medios de compensación instalados en la fábrica. De acuerdo a sus características se calcula la potencia de los medios de compensación que se requieren para alcanzar el valor de 0,9 en función de los principales consumidores de cada subestación reductora.

Se analizan los resultados globales de la empresa obtenidos del analizador de redes que monitorea los metros de entrega de SEN Tabla 5 Anexo 3.

**Tercera etapa. Análisis de los resultados obtenidos.**

**Objetivo:** Elaborar plan de acción a partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico

En dependencia de los resultados del diagnóstico se propone el plan de acción para solucionar los problemas detectados.

## **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Aplicación del procedimiento para el diagnóstico energético en la UEB Central Azucarero Fernando de Dios Buñuel**

En este capítulo se describen los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento descrito en el capítulo anterior para realizar el diagnóstico del comportamiento del factor de potencia.

#### **3.1.1 Etapa 1. Preparación inicial**

Se comunica a especialistas, jefes técnicos y trabajadores los objetivos de la investigación y la importancia de su colaboración para realizar el diagnóstico.

**Paso 1.** Para recopilar la información necesaria para el diagnóstico se realizó la revisión de documentos en la fábrica de azúcar que incluyen informes finales de zafra, fichas técnicas de los equipos, paquete informático Mainpack, partes diarios de energía emitidos por el energético de la fábrica, registros aportados por la UBE, registros históricos de autómatas y analizadores de redes instalados en el proceso, donde se obtuvieron los datos de las Últimas zafras. Otras mediciones se obtuvieron del Sistema de supervisión y control industrial GRACIL y en la actual zafra del EROS.

#### **3.1.2 Etapa 2. Ejecución del diagnóstico del comportamiento del factor de potencia**

La capacidad disponible de Generación instalada es de 4 MW/H, y aunque el consumo de la fábrica en determinados momentos supera este valor, en muchas ocasiones en el período de zafra es posible entregar alrededor de 0.5 MW/H al SEN, por lo que eléctricamente la industria se encuentra próxima al estado de balance energético. Al mismo tiempo que se percibe una bonificación por la entrega de energía al SEN (potencia activa), la empresa esta siendo objeto de penalizaciones por un monto muy superior al de las bonificaciones motivado por consumir (potencia

reactiva) del SEN. Esto se debe a que se está operando la fábrica con un bajo factor de potencia.

Se realizó la caracterización del proceso a partir de la aplicación de los instrumentos de diagnóstico descritos en el capítulo anterior. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Ø Planta eléctrica.

La planta eléctrica posee una fuente de alimentación desde el SEN, con una capacidad instalada de 3000 Kva y un turbogenerador soviético con una capacidad de generación de 5000 Kva, 3600 rpm,  $\text{Cos}\phi = 0,8$  y un consumo específico de 44 t/h que opera con vapor directo procedente del bloque de generación a 18.5 kg /cm<sup>2</sup> (abs) y 320 °C de temperatura, el vapor de escape de las turbinas de contra presión sale a 2.6 kg /cm<sup>2</sup> y 186 °C. A continuación se muestra su esquema general de distribución en la Figura 8.

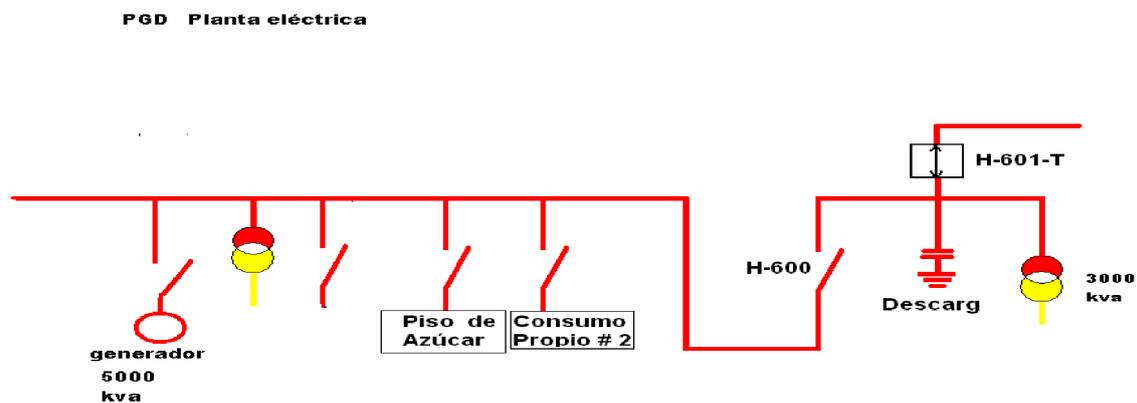


Figura. 8. Esquema general de distribución Planta Eléctrica

Fuente: Elaboración propia.

∅ Planta moledora.

La planta moledora consta de cinco molinos que son movidos por motores eléctricos, que están distribuidos de la siguiente forma:

Molino No 1 –  $500Kw$ ,  $Cos\phi = 0,68$ ;  $Un = 6,3Kv$ .

Molinos No 2 y 3 -  $630Kw$ ,  $Cos\phi = 0,66$ ;  $Un = 6,3Kv$ .

Molinos No 4 y 5 -  $630Kw$ ,  $Cos\phi = 0,66$ ;  $Un = 6,3Kv$ .

La energía eléctrica se genera a un voltaje nominal de  $6,3 Kv$  y se distribuye a la industria a través de cinco subestaciones reductoras de  $1000 Kva$   $6,3/0,48 Kv$ , las cuales detallamos a continuación, con los datos de sus consumidores fundamentales.

∅ Subestación reductora calderas 1

Esta subestación reductora como su nombre lo indica alimenta la caldera No 1 en el área de generación de vapor y sus principales consumidores se relacionan a continuación:

Tabla1. Subestación reductora calderas 1.

MOTOR	P(Kw)	$Cos\phi$	Q(Kvar)
Ventilador tiro inducido No. 1	180	0,76	136,8
Ventilador tiro forzado No. 1	160	0,85	136.0
Ventilador tiro secundario No. 1	90	0.86	77.4
TOTAL	430	0.81	350.2

Fuente: Elaboración propia.

Su esquema general de distribución se muestra en la Figura 9.

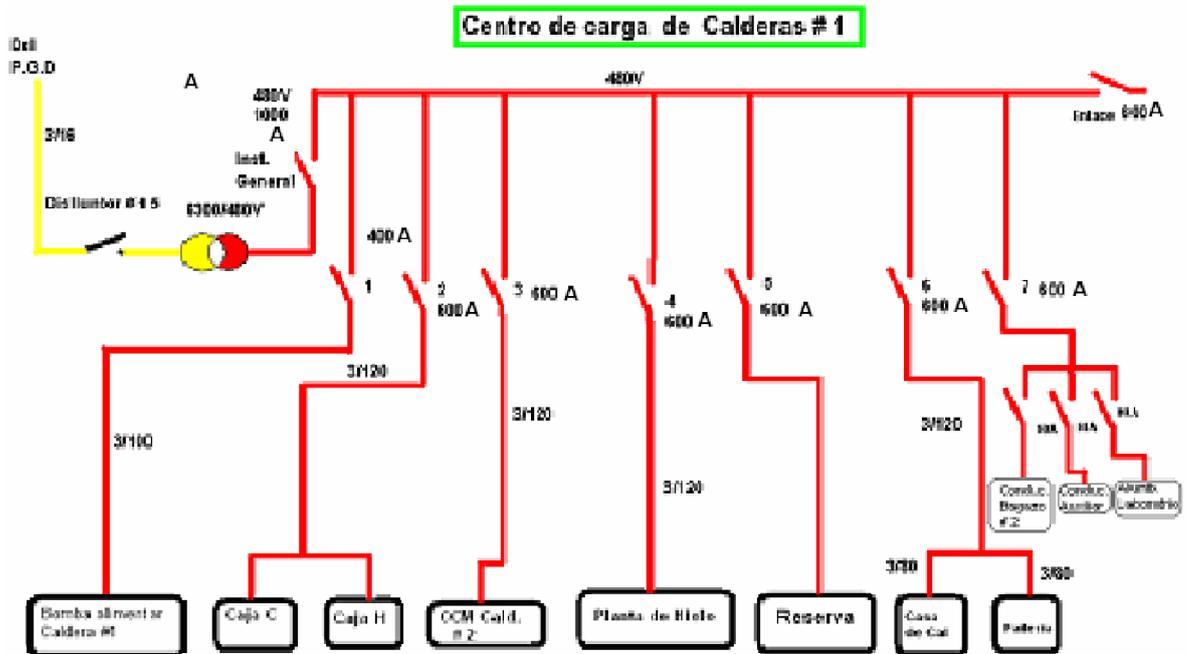


Figura 9. Esquema general de distribución Caldera 1.

Fuente: Elaboración propia.

### Ø Subestación reductora calderas 2

Los principales consumidores de la subestación reductora caldera 2 se relacionan a continuación:

Tabla 2. Subestación reductora calderas 2.

MOTOR	P(Kw)	$\text{Cos}\phi$	Q (kva.)
Ventilador tiro inducido No. 2	180	0,76	136.8
Ventilador tiro forzado No. 2	160	0,85	136.0
Ventilador tiro secundario No. 2	120	0,86	103.2
<b>TOTAL</b>	<b>460</b>	<b>0.81</b>	<b>376</b>

Fuente de elaboración propia

El esquema general de distribución se muestra a continuación en la figura 10.

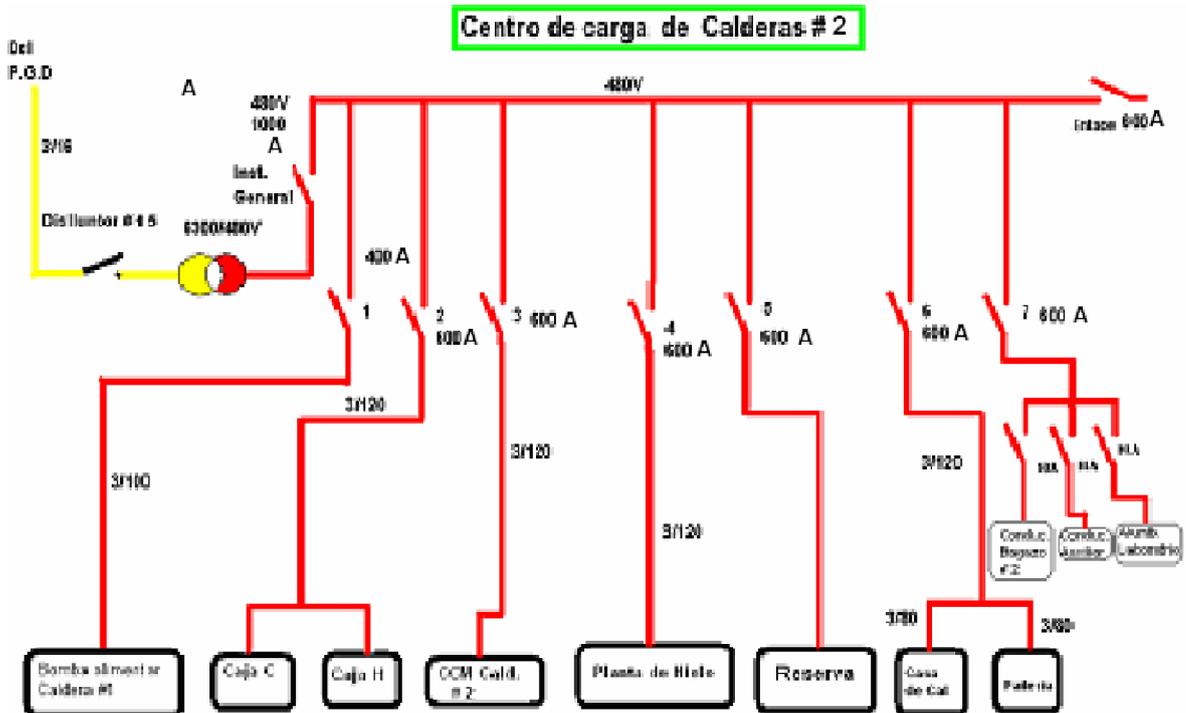


Figura 10. Esquema general de distribución Caldera 2

Fuente: Elaboración propia.

Ø Subestación reductora proceso 1

Esta subestación reductora esta destinada a la reducción y distribución de la energía en el área de fabricación de azúcar figura.2.3 y sus principales consumidores son.

Tabla 3. Subestación reductora proceso 1.

MOTOR	P(Kw)	Cosφ	Q(Kvar)
Bomba de Inyección No. 1	250	0,87	217.5
Bomba de Inyección No. 3	160	0,85	136
Bomba de vacío No. 1	132	0,76	100.32
Bomba de vacío No. 2	180	0,80	144.0

Bomba de guarapo No. 1	125	0,82	102.5
<b>TOTAL</b>	<b>847</b>	<b>0.82</b>	<b>700.32</b>

Fuente: Elaboración propia.

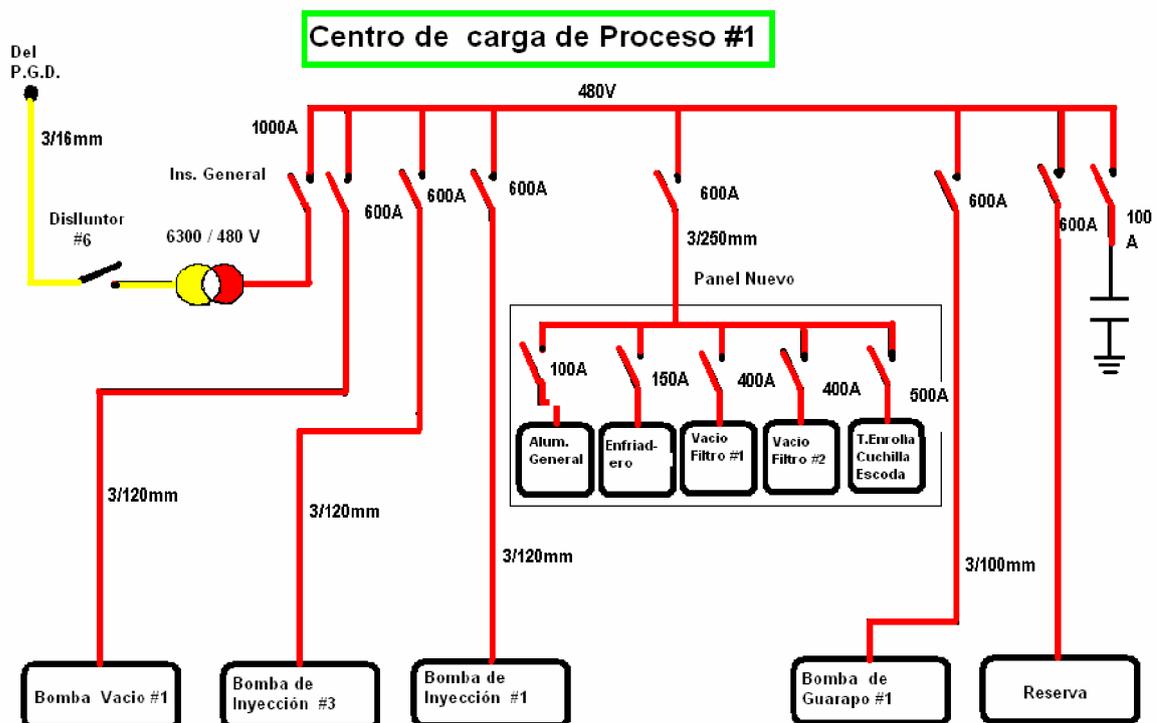


Figura.2.3 Esquema general de distribución proceso 1 de fabricación.

Fuente: Elaboración propia.

#### Ø Subestación reductora proceso 2

Esta subestación reductora esta destinada a la reducción y distribución de la energía en el área de fabricación de azúcar figura 11. y sus principales consumidores son.

Tabla 4. Subestación reductora proceso 2.

MOTOR	P(Kw)	$\text{Cos}\phi$	Q(Kvar)
Bomba de Inyección No. 2	250	0,87	217.5
Bomba de vacío No. 2	180	0,78	140.4
Bomba de guarapo No. 2	125	0,82	102.5
TOTAL	555	0.82	460.4

Fuente: Elaboración propia.

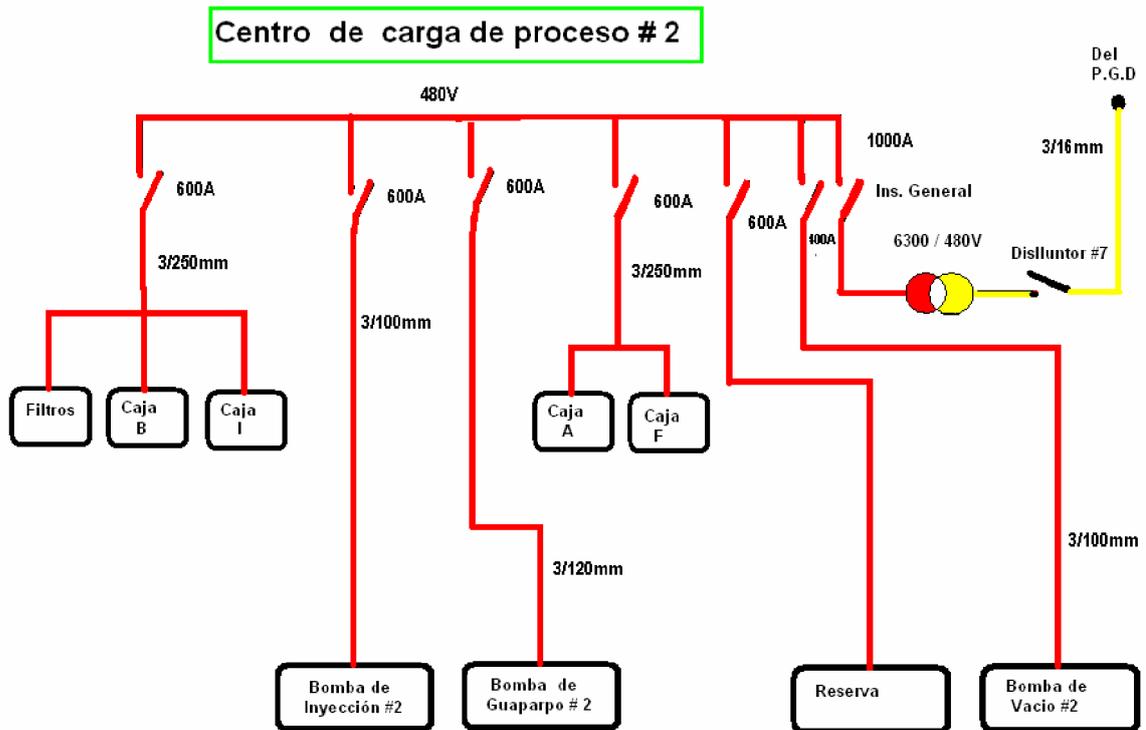


Figura 11. Esquema general de distribución proceso 2 de fabricación.

Fuente: Elaboración propia.

∅ Subestación reductora piso de azúcar.

Esta subestación reductora esta destinada a el suministro de energía al área de centrifugas y la de envase y manipulación. Está compensado con dos bancos de capacitores, uno para las centrifugas comerciales y el otro para compensar el factor de potencia de forma centralizada al resto de los consumidores de esta subestación. Figura 12.

El estudio del mejoramiento del factor de potencia en esta subestación reductora fue objeto de un análisis precedente por ser este un circuito alto consumidor de reactivo, por esta razón será excluida en la presentación.

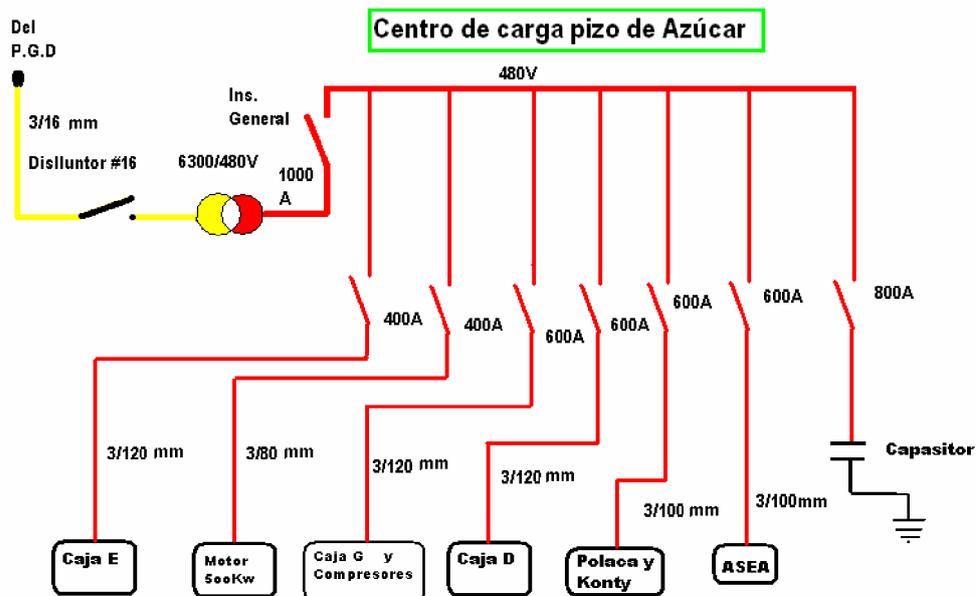


Figura 12. Esquema general de distribución piso de Azúcar.

Fuente: Elaboración propia.

### **Paso 3. Indicadores del comportamiento del factor de potencia.**

Para medir el desempeño del factor de potencia se han tenido presente los datos proporcionados por los fabricantes de los equipos y los registros históricos obtenidos como se muestran en los datos contenidos en el (Anexo 3).

Los resultados alcanzados por los indicadores en la fábrica en las tres últimas zafas en los circuitos monitoreados por los analizadores de se muestran en las tablas y gráficos del anexo 3.

En la tabla 1 (anexo3) correspondiente al analizador de redes que monitorea los motores de la Planta Moledora, se puede apreciar que en dicha área, el comportamiento de los indicadores del factor de potencia fue mejor en el año 2011 y se deterioró en el año 2012 debido a la sustitución de una de las turbinas de vapor por un motor eléctrico por necesidades de la empresa, también se muestra de forma gráfica en la figura 1 de este mismo anexo.

En la tabla 2 (anexo) 3 que pertenece al área de calderas 1 los indicadores del comportamiento del factor de potencia con el transcurso de los años han ido mejorando, se han instalado algunos capacitores pero todavía no son suficientes pues el valor máximo del factor de potencia alcanzado es de 0.78 y el valor deseado se de 0.90. Ver figura 2 anexo 3.

En el área de calderas 2 tabla 3 (anexo 3). El factor de potencia en este circuito no se ha comportado de la mejor forma, estando por debajo del valor deseado, por lo que es necesario realizar un estudio de las causas del bajo factor de potencia en esta área de generación de vapor, la cual se describirá mas adelante. Ver figura 3 anexo 3.

De la tabla 4 (anexo 3) que corresponde al turbo generador en el área Planta eléctrica también se comportan de forma satisfactoria los indicadores de eficiencia energética en un estudio preliminar; pero si se realiza un análisis exhaustivo se precia que existen deficiencias de operación en el mismo, como se expreso con anterioridad el turbogenerador es de potencia 5000 Kva de potencia aparente, el

cual trabajando a un factor de potencia de 0,8 puede entregar 4000 Kw de potencia activa, al analizar la tabla 4 en el (anexo 3), los operadores de planta eléctrica están operando el turbogenerador a un  $\cos\phi = 0,98$ , toda la potencia que se entrega es activa por lo que el sistema electroenergético industrial, que por las características de sus cargas tiene un factor de potencia inferior a este se ve obligado a consumir la energía reactiva que necesita desde la otra fuente que le suministra energía que es el SEN, hacia esta fuente fluye parte de la energía activa generada, insignificante en relación con la reactiva consumida, siendo esta una de las causas de las penalizaciones que se le están aplicando a la empresa. Ver figura 4 anexo 3.

La causa de esta mala operación esta motivada por las políticas que rigen el sistema de estimulación que se aplica a los operadores de planta eléctrica, que solo se les estimula por la potencia activa entregada sin tener en cuenta el factor de potencia a que opera la máquina, sin dejar de señalar el bajo factor de potencia industrial, el cual se puede compensar con la instalación de capacitores estáticos.

En la tabla 5 anexo 3 se muestran los resultados globales de la empresa, obtenida del analizador de redes que monitorea los metros de entrega y consumo del SEN, estos resultados son comparados con los datos obtenidos con la colaboración del personal de la empresa eléctrica, donde se aprecia que el factor de potencia esta bastante deteriorado, a pesar de entregarse potencia activa al SEN siempre se consume de este potencia reactiva.

Las subestaciones reductoras Proceso 1 y 2, no poseen analizadores de redes que permitan observar en ellos el comportamiento de los parámetros de consumo de potencia activa, reactiva y factor de potencia, en estos centros de carga, como se aprecia en la relación de los principales consumidores hecha durante la caracterización de las áreas se encuentran instalados un importante numero de motores de gran potencia por lo que se puede afirmar que estas subestaciones unidos al de calderas 1 y 2 son los principales responsables del bajo del factor de potencia en la UEB Central Azucarero Fernando de Dios Buñuel.

En este trabajo se realiza la compensación del factor de potencia de los receptores altos consumidores de energía, los cuales consumen más de la mitad de la energía consumida por la industria.

Para la ubicación de los medios compensadores (capacitores) para mejorar el factor de potencia industrial se parte de lo analizado en la fundamentación teórica y se tomaron las siguientes consideraciones.

- a) Verificar si el banco de capacitores instalado en la línea de 6,3 Kv es suficiente para la compensación, teniendo en cuenta el consumo de reactivo de los motores del tándem.

Existe actualmente un banco de capacitores en la línea de 6,3 Kv con las siguientes características.

Tabla 5. Banco de capacitores de 6,3 kv.

Capacitor	Conexión	Cantidad	Un(Kv)	Cn( µf)	Qc(Ckvar)	Qc(total)
Tip-6,3 E	Estrella	12	6,3	6,3	95,3	1140

Fuente: Elaboración propia.

La potencia de los medios de compensación para mejorar el factor de potencia hasta 0,90 es.

Tabla 6. Planta moledora. Ejemplo para llevar el factor de potencia hasta 0.9.

MOTOR	P(Kw)	cos(φ)	Q(Kvar)	tan(φ <sub>1</sub> )	tan(φ <sub>2</sub> )	Qc(cKvar)
Motor molino No. 1	500	0,68	340.0	1.07	0.48	295
Motor molino No. 2 y 3	630	0,66	415.8	1,14	0.48	415.8
Motor molino No. 4 y 5	630	0,66	415.8	1,14	0.48	415.8
TOTAL						1126.6

Fuente: Elaboración propia.

donde:  $\tan(\varphi_1) = \tan(\cos^{-1} \varphi)$ ;  $\tan(\varphi_2) = \tan(\cos^{-1} 0,9)$  y  $Qc = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$ .

Como se puede apreciar que el banco de capacitores instalados en la línea que alimenta los motores de la planta moledora por 6,3 Kv con capacidad  $Qc=1140$  Ckvar nos permite la compensación del factor de potencia a los motores de esta

área hasta  $\cos\phi = 0,9$ , los cuales requieren una capacidad de  $Q_c = 1126,6 \text{ Ckvar}$ . Cabría preguntarse, ¿Como es posible que si existen los medios compensadores para los motores de la planta moledora, el factor de potencia en los mismos se comporte por debajo de 0,9?, la respuesta es muy sencilla, existen dos razones fundamentales, la primera es el tiempo de régimen de trabajo en vacío o subcargado a que están sometidos estos motores producto de las malas políticas de zafra y a las interrupciones en el suministro de caña y la segunda razón es que en realidad en la línea general de 6,3 Kv están conectados los transformadores de las subestaciones reductoras, las cuales consumen el reactivo que necesitan las cargas conectadas en los circuitos a tensión nominal de 0,48 Kv, los cuales se alimentan desde dichos transformadores, los que se tratarán a continuación.

- b) Realizar la compensación por el lado de 0,48 Kv a receptores con potencias mayores de 75 Kw de forma individual o por grupos, garantizando así que la misma se realice lo más cercana posible a los consumidores, evitando que la corriente reactiva circule lo menos posible por las líneas, disminuyendo por consiguiente las pérdidas térmicas en las líneas.

A continuación se muestra los valores calculados por cada subestación reductora, para cada motor con su total por subestación, para si no es posible realizarle la compensación individual hacerla por grupos para un valor de  $\cos\phi = 0,92$ .

Tabla 7.Planta moledora.

MOTOR	P(Kw)	$\cos(\phi)$	Q(Kvar)	$\tan(\phi_1)$	$\tan(\phi_2)$	Qc(cKvar)
Motor molino No. 1	500	0,68	340.0	1.07	0,42	325
Motor molino No. 2 y 3	630	0,66	415.8	1,14	0,42	447.3
Motor molino No. 4 y 5	630	0,66	415.8	1,14	0,42	447.3
<b>TOTAL</b>						<b>1219.6</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Subestación reductora caldera No 1.

Motor	Pn(Kw)	cos $\phi$	Q(Kvar)	tan $\phi_1$	tan $\phi_2$	Qc(Ckvar)
Vent. tiro inducido.1	180	0.76	136.8	0.86	0,42	77.4
Vent. tiro forzado.1	160	0.85	136.0	0.62	0,42	30.4
Vent. tiro secund.1	90	0.86	77.4	0.59	0,42	15.3
TOTAL						123.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Subestación reductora caldera No 2

Motor	Pn(Kw)	cos $\phi$	Q(Kvar)	tan $\phi_1$	tan $\phi_2$	Qc(Ckvar)
Vent.Tiro inducido. 2	180	0.76	136.8	0.85	0,42	77.4
Vent. Tiro forzado. 2	160	0.85	136.0	0.61	0,42	30.4
Vent. Tiro secund. 2	120	0.86	103.2	0.59	0,42	20.4
TOTAL						128.2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Subestación reductora proceso No 1.

Motor	Pn(Kw)	cos $\phi$	Q(Kvar)	tan $\phi_1$	tan $\phi_2$	Qc(Ckvar)
Bomba Inyecc. 1	250	0.87	217.5	0.57	0,42	37.5
Bomba Inyecc. 3	160	0.85	136	0.62	0,42	35.2
Bomba vacío. 1	132	0.76	100.32	0.86	0,42	58.08
Bomba vacío. 3	180	0.8	144	0.75	0,42	59.4
Bomba guarapo 1	125	0.82	102.5	0.7	0.42	35
TOTAL						225.18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Subestación reductora proceso No 2.

Motor	Pn(Kw)	cos $\varphi$	Q(Kvar)	tan $\varphi_1$	tan $\varphi_2$	Qc(Ckvar)
Bomba Inyecc. 2	250	0.87	217.5	0.57	0,42	37.5
Bomba vacío. 2	180	0.78	140.4	0.8	0,42	68.4
Bomba guarapo. 2	125	0.82	102.5	0.7	0,42	35
TOTAL						140.9

Fuente: Elaboración propia.

De la entrevista realizada a operadores de planta eléctrica se obtuvo la información siguiente.

1. El ingenio si esta interconectado con el SEN.
2. El turbogenerador no está en condiciones de autoabastecer eléctricamente al ingenio, con las inversiones realizadas en la planta moledora la demanda del ingenio superó la capacidad de generación de energía eléctrica.
3. No está automatizada la carga activa del turbogenerador.
4. Los parámetros que se tienen en cuenta para regular la carga activa del turbogenerador son. Presión de vapor directo y de escape, corriente de excitación, potencia activa y entrega de energía al SEN.
5. Si, se tiene en cuenta el comportamiento del factor de potencia para regular la carga activa pero con carácter secundario.
6. No existe actividad sistemática para la capacitación de los operadores referida al comportamiento del factor de potencia.
7. Si, Se entrega potencia activa al SEN.
8. No se entrega potencia reactiva al SEN se consume desde el.
9. No, el sistema de estimulación no tiene en cuenta el comportamiento del factor de potencia.

En relación con la entrevista al Técnico de planta eléctrica, se pudo constatar lo siguiente:

1. En el ingenio existen motores y transformadores sobredimensionados.
2. La subestación reductora calderas 1 no posee medios compensadores del factor de potencia por 0,48 kv.
3. Los medios compensadores del factor de potencia instalados en la subestación reductora calderas 2 son insuficientes y se encuentran en mal estado.
4. La subestación reductora proceso 1 no posee medios compensadores del factor de potencia por 0,48 kv.
5. El estado técnico los medios compensadores del factor de potencia de La subestación reductora proceso 2 no es bueno.
6. La capacidad de generación del turbogenerador instalado no es suficiente para alcanzar el autoabastecimiento eléctrico.
7. El sistema de estimulación no favorece el comportamiento del factor de potencia.
8. Si, los analizadores de redes instalados facilitan la observación del comportamiento del factor de potencia.
9. Durante el periodo de reparaciones el ingenio no es penalizado por operar con bajo factor de potencia, es bonificado pues durante este periodo el factor de potencia se comporta de forma satisfactoria.
10. El consumo de potencia reactiva desde el SEN si afecta el comportamiento del factor de potencia.

### **3.1.3 Etapa 3. Análisis de los resultados obtenidos**

Las principales deficiencias detectadas en el diagnóstico se enuncian a continuación:

- 1) Consumo de reactivo innecesario por equipos sobredimensionados (Las bombas de inyección 1 y 2 y los tiros inducidos de las calderas 1 y 2).
- 2) La subestación reductora de proceso 1 carece de banco de capacitores por 0,48 kv.

- 3) Los medios compensadores instalados en la subestación reductora de proceso 2 están en mal estado y son insuficientes.
- 4) La subestación reductora de calderas 1 carece de banco de capacitores por 0,48 kv.
- 5) Los medios compensadores instalados en la subestación reductora de calderas 2 están en mal estado y son insuficientes.
- 6) En el área de Planta Moledora la energía reactiva producida por los medios compensadores instalados por 6,3 Kv es consumida por los transformadores de las distintas subestaciones reductoras por lo que se requiere efectuar la compensación por 0,48 Kv a las anteriormente mencionadas subestaciones reductoras.
- 7) En el área de planta eléctrica la capacidad de generación del turbogenerador instalado es inferior a la demanda de la industria motivada por la sustitución en la Planta Moledora de turbinas de vapor por motores eléctricos.
- 8) No existe un personal calificado para atender la esfera electroenergética.
- 9) Los motores eléctricos instalados en la planta moledora son y en otras áreas de la UEBCA son de una tecnología obsoleta que se fabricaban con un bajo factor de potencia además de tener muchos años de explotación.
- 10) El sistema de estimulación aplicado a operadores de planta eléctrica no favorece el comportamiento del factor de potencia.

### 3.2 Plan de acción

Acción	Objetivo	Medios	Procedimientos
1. Automatizar en el área de planta eléctrica.	Mejorar la operación del turbogenerador	Autómata, transmisor de P. activa, reactiva y $\cos\phi$ .	Programación en el autómata de la planta eléctrica de un lazo de control que regule la carga activa y reactiva de la máquina.
2. Instalar analizadores de redes en los circuitos que no lo poseen.	Monitorear los parámetros de P, Q y $\cos\phi$ .	Analizadores de redes, transformadores de potenciales y de corriente.	Montaje de los analizadores de redes y enlace con la computadora del área de planta eléctrica.
3. Analizar las posibilidades de sustituir los motores y transformadores sobredimensionados o reducir al máximo su tiempo de operación en estas condiciones.	Reducir el consumo de potencia reactiva por esta vía.	Transformadores y motores.	Hacer un análisis de la posibilidad de adquisición de estos equipos en los centrales inactivos o establecer un plan para la desconexión de estos equipos si es posible durante largas interrupciones operativas.

<b>Acción</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Medios</b>	<b>Procedimientos</b>
4. Gestionar con el SEN la desconexión durante el periodo de reparaciones de uno de los transformadores que alimenta a la industria.	Reducir el consumo de reactivo por esta vía en esta etapa.	Desconectivos generales de la subestación de alimentación a la industria.	Efectuar la desconexión del transformador por un personal calificado del SEN.
5. Ubicar capacitores estáticos de potencia a los consumidores con potencia nominal mayores de 75 Kw para el mejoramiento del factor hasta $\cos\phi=0.92$ .	Mejorar el factor de potencia en las principales cargas de la industria, que representan más de un 50% del consumo total.	Capacitores, cables, cajas metálicas y desconectivos	Adquirir y montar los Capacitores lo más cercano posible a los consumidores.
6. Capacitar a los operadores de planta eléctrica, Jefe de planta y electricistas en general.	Mejorar los resultados electro-energéticos con la operación óptima del turbogenerador.	Bibliografía, lápiz Y todos los medios para la capacitación.	Aplicar el plan de capacitación en el periodo de reparación por un personal calificado.

Acción	Objetivo	Medios	Procedimientos
7. Analizar con la administración la inclusión del parámetro $\cos\phi$ y consumo de energía reactiva del SEN en el sistema de estimulación.	Mejorar los resultados electro-energéticos con la operación óptima del turbogenerador a partir de la estimulación de los operadores para este fin.	Recursos humanos	Realizar una reunión con el administrador y todo el personal involucrado en la estimulación de los trabajadores.

### 3.3 Valoración económica potencial, social y medioambiental

La industria se encuentra sincronizada al SEN del cual se puede obtener la energía necesaria en el periodo de reparaciones y en zafra, en instantes que las condiciones lo requieran. El país inmerso en un programa de ahorro de energía, motivado por los altos precios del petróleo en el mundo ha tomado una serie de medidas de bonificación y penalizaciones a las empresas consumidoras de energía del SEN entre las que se destacan:

- ∅ Penalización monetaria a empresas con bajo factor de potencia industrial
- ∅ Corte del servicio temporal a empresas que excedan el plan de consumo mensual
- ∅ Pago de la energía entregada por las empresas que poseen medios de generación propios con fuentes de energía renovables. (Ejemplo centrales azucareros)
- ∅ Bonificación por alto factor de potencia industrial

En la tabla que se muestra a continuación se reflejan las pérdidas económicas que ha tenido la empresa por concepto de penalización durante los meses de zafra de los

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380  
 www.uho.edu.cu

años 2011 y 2012 por realizar los procesos productivos operando la fábrica con un bajo factor de potencia.

Tabla 12. Pérdidas económicas de la UEB por concepto de penalización.

Meses	Importe de penalización(\$)		Total facturado(\$)		Diferencia(\$)		Consumo real Potencia activa (kw)	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Enero	101300	9382	142453	38,381	41153	28999	195,596.00	117,817.00
Febrero	110463	111850	130812	130734	20349	18884	96,031.00	74,397.00
Marzo	67684	63104	89581	83961	21897	20857	106,617.00	84,782.00
Abril	72090	45201	94030	73966	21940	28765	102,608.00	118,958.00
Mayo	16043	24684	45121	72525	29078	47841	139,850.00	194,290.00
Total	367,579.27	254,221.71	501997	399,567	134,417	145,346		
Promedio	73,516.00	61,209.75						

Fuente: Análisis estadístico UEB Fernando de Dios Inspección de empresa eléctrica años 2011 y 2012.

La empresa debido al bajo factor de potencia industrial, lo que se traduce en excesivo consumo de energía reactiva del SEN, ha sido penalizada en el año 2011 por un monto de \$ 367 579,27 durante los meses de enero a mayo para un promedio de \$ 73 516,00 por meses y en el año 2012 por \$ 254 221,71 en igual periodo de tiempo para un promedio de 61 209,75 \$ lo que influye negativamente en las utilidades de la empresa, viéndose afectado el pago por resultados de los trabajadores.

La tabla que se muestra a continuación ofrece información sobre las magnitudes totales de potencias activas y reactivas que consume la fábrica, con su correspondiente factor de potencia a nivel de centros de carga. También refleja los valores de potencia reactiva capacitiva que demanda cada centro de estos para lograr que el factor de potencia sea igual a 0,92.

Tabla 13. Valores de Qc(kvarc) Para  $\cos \varphi = 0.9$

Centro de carga	Pn(Kw)	Q(Kvar)	$\cos \varphi$	$\cos \varphi(d)$	Qc(Ckvarc)
Planta moladora	1760	1171.6	0.66	0.92	1219.6
Caldera No. 1	430	350.2	0.81	0.92	123.1
Caldera No. 2	460	376.0	0.81	0.92	128.2
Proceso No. 1	847	700.32	0.82	0.92	225.18
Proceso No. 2	555	460.4	0.82	0.92	140.9
Total	4052	3257.64			1836.98

Fuente: elaboración propia.

Después que se aplique el plan de acciones propuesto, si se tienen en cuenta el precio del combustible a \$95,00 el barril, al contratar la demanda a \$0.061 kw/h, y 3600 horas de zafra (24hx150 días), si se logra que el comportamiento del factor de potencia sea del orden de 0,92 o superior la UEB CA Fernando de Dios Buñuel tendrá ahorros del orden de.

La planta moladora 486.5 kw/h que representan

El centro de cargas caldera No.1 (49.34) kw/h.

El centro de cargas caldera No.2 (51.3) Kw/h.

El centro de cargas proceso No.1 (85.78) kw/h.

El centro de cargas proceso No.2 (54.4) kwh.

Para un ahorro total de (726.82) Kw/h. equivalentes a \$159 649.20.

Las acciones de capacitación a los trabajadores en los conocimientos necesarios para realizar su labor y ejecutar con agilidad las operaciones tendrá influencia en el incremento de la producción, elevar la calidad de los productos finales, disminuir los costos y la sustitución de importaciones, fortalecer la disciplina tecnológica, disminuir los accidentes y los errores en la operación de los equipos.

En el aspecto social se percibe mayor remuneración de los trabajadores con el consiguiente bienestar para el hombre y su familia, un positivo sentido de pertenencia lo que entraña mayor compromiso y motivación por la superación constante en aras de la mejora continua para su actividad y de la entidad para la cual tributa.

En el aspecto medioambiental representa ahorro de agua, combustibles y lubricantes que se emplean para generar la energía eléctrica, menos carga contaminante a la atmósfera menor disipación de calor en los conductores al mismo tiempo menos ruido y mayor eficiencia en el uso de la tecnología.

## **CONCLUSIONES**

1. En la UEB Central Azucarero Fernando de Dios Buñuel existen problemas relacionados con el factor de potencia que ocasionan excesivo consumo de potencia reactiva, causa de penalizaciones, incidiendo en elevadas pérdidas en las utilidades de la empresa.
2. Se diseñó y aplicó el procedimiento para realizar el diagnóstico que permitió detectar las deficiencias que afectan el comportamiento del factor de potencia.
3. Se propone un plan de acción para favorecer el comportamiento del factor de potencia en la UEB Central Azucarero Fernando de Dios Buñuel, que incida en el aprovechamiento de la energía eléctrica.

## **RECOMENDACIONES**

1. A la dirección de la UEB CA implementar plan de acción propuesto para mejorar el bajo factor de potencia y disminuir pérdidas económicas por este concepto
2. Continuar el estudio del comportamiento del factor de potencia, estableciendo un control que confirme los resultados de la aplicación del plan de acción propuesto.

## **BIBLIOGRAFÍA Y CITAS BIBLIOGRÁFICAS**

Arnaiz Ulloa. Milagros. (2013). Fundamentación técnico económica para la adquisición de bancos de capacitores.

Báez. J. y Llamas. A. Septiembre (2000). Corrección del factor de potencia en presencia de armónicos.

Borroto, A. (2001). Eficiencia energética y medio ambiente. Diplomado ahorro de energía en el Sector Educativo.

Borroto, A. (2001). Gestión energética empresarial. / Aníbal. - - [S.L.]: [S.N.], - - [s.p.]

Caicedo, Gilberto. Carrillo y Plata, Gabriel. Ordoñez (2001). Simposio internacional sobre calidad de la energía eléctrica. Universidad industrial de Santander Colombia. El artículo fue publicado en. (<http://www.paas.unal.edu.co/sicel2001.htm>.) Y Consultado en Mayo 2011.

Cálculo y corrección de la potencia reactiva (corrección del factor de potencia con ayuda de condensadores). Publicado en ([webmaster@electricaweb.com](mailto:webmaster@electricaweb.com).) El 8 de Abril de 1998. Actualizado el 1º de Enero del 2001. (Consultado en febrero del 2012).

Cálculo y corrección de la potencia reactiva. (Corrección del factor de potencia con ayuda de condensadores). (<http://webmaster@electricaweb.com/eléctrica>.) (Consultado en diciembre 2012).

Chávez. Víctor. (2008). Los bancos de capacitores en las industrias Publicado en abril del (2008). En (<http://victorchavez.blogspot.es1209445680/>). (Consultado en febrero 2013).

Comisión Federal de Electricidad. Recomendaciones para mejorar el factor de potencia en la industria. Consultado en diciembre 2011.

Córdova L, Luís Enrique. (2013). Análisis estadístico UEB Fdo de Dios 2012. Soporte digital. (Consultado febrero 2013).

Cuba, Ministerio del azúcar (2008). Informe Técnico 352.1690000 iT(2008). Grupo de Proyectos y desarrollo, UEB TEICO. Santiago de Cuba.

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380  
www.uho.edu.cu

Cuba, Ministerio del azúcar (2010). Seminario para Trabajadores eléctricos del sector azucarero. Soporte digital.

Cuba, Ministerio del azúcar. Manual de operaciones para la producción de azúcar crudo. Energética en proceso.

Eduard, NY (1996). Transmisión Systems. G.E (1996). Soporte digital.

Energy Information Administration. 1995. Electricity Generation and Environmental Externalities: Case Studies. --USA: National Energy Information Center, 100 p.

Feodorov. A.A y Rodríguez, López. Eduardo. (1987) Suministro Eléctrico a Empresas Industriales. Editorial Pueblo y Educación. (Cuarta Edición).

Gironella Fernández, Jorge Luís. (2013). Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos. Centro de investigaciones y pruebas eléctricas ISPJAE.

HAYT, William H y KEMMERLY, Jack E. (1993). Análisis de Circuitos en Ingeniería. (Quinta Edición). México. McGraw-Hill, 1993.

ingenios azucareros. ICINAZ. (Consultado 28 de Diciembre del 2011).

Irwin J.D. (2003). Análisis Básico de Circuitos en Ingeniería. 6ed. Limusa Wiley. México.

LOPEZ, Yuri Uliánov. (2006). ¿De donde viene la energía? Módulo de clase. Universidad Autónoma de Occidente. Cali. Soporte digital.

Maliuk Petrovna, Sviatlana. (1980) Factor de potencia en la producción, Editorial Oriente.

Manades Scci. Formación técnica Div Calle 10. Factor de potencia, corrección y armónicos. Documento tomado de Internet de la página: Power Quality. Publicado en [http://members.tripod.com/JaimeVp/electricidad/factor\\_de\\_potencia\\_1.HTMY](http://members.tripod.com/JaimeVp/electricidad/factor_de_potencia_1.HTMY) consultado en septiembre 2012.

Mayor eficiencia energética (<http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2010-06-23/mayor-eficiencia-energetica>). -Cuba ( Consultado 20 de Diciembre del 2011).

- Merlin Gerin (2003). Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos. Catálogo lista de precios febrero (2003). Grupo Schneider. Soporte digital. México. Medición de Potencia Trifásica con dos wattímetros. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México Disponible en (<http://webdiee.cem.itesm.mx/>). Soporte digital. (Consultado marzo 2011).
- México. Medición potencia y factor de potencia (f.p) con amperímetro. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México (<http://webdiee.cem.it.esm.mx/>). Soporte digital. (Consultado febrero 2011)
- Mungia. (2011) EAHSA ARTECHE Bancos automáticos de capacitores. (Consultado en abril 2013)
- Mungia. (2011) EAHSA ARTECHE Soluciones en compensación de reactivo y filtrado de armónicos publicado en ([www.artechecom.com](http://www.artechecom.com)). Soporte digital. (Consultado en enero del 2013)
- Pérez, G. L. (2005). Metodología para desarrollar un diagnóstico energético en los Rivas Cárdenas, E.W (2008). Informe técnico 35269.1000IT. Departamento de Ingeniería y software. Minaz. Villa Clara.
- Ruelas Gómez, Roberto. 1998 Alternativa Económica para la Corrección del factor de potencia. ([R.ruelas-gomez@ieee.org](mailto:R.ruelas-gomez@ieee.org)). Universidad del Bajío, A.C. Av. Universidad s/n. 37150 León, Gto. Consultado en Diciembre del 2011.
- Sangroniz Natalia y López Francisco Calidad de la energía Publicado en ([www.artechecom.com](http://www.artechecom.com)). Soporte digital. (Consultado en junio del 2012).
- Schneider. (2000). Publicación Técnica Schneider PT 075: Corrección del factor de potencia Octubre del 2000. (Consultado marzo del 2012).
- Toledo Carrión, Norman. Algunas consideraciones prácticas para el cálculo de bancos de capacitores y aparamenta para instalaciones de baja tensión (hasta

1000v). ([norman\\_toledo@ecuabox.com](mailto:norman_toledo@ecuabox.com)). (Consultado en febrero del 2011).

Soporte digital

UC, (2006). Colectivo de autores, Centro de estudio de Energía y Medio ambiente, Universidad de Cienfuegos.”Gestión y Economía Energética. Soporte digital

UC, (2006). Colectivo de autores, Centro de estudio de Energía y Medio ambiente, Universidad de Cienfuegos “Ahorro de Energía en Sistemas de Suministro Eléctrico Industrial”. Soporte digital

UNE. (2011). Unión Nacional Eléctrica. *Dirección de uso racional de la energía marzo del 2011. Manual instructivo para el uso y control de portadores energéticos.*

Wade Eckler Power Systems Engineer. Harmonic Analysis and Power factor Correction Evaluation –Plastic Creations Line 13. Electrotek Concepts, Inc. Knoxville, TN (<http://www.electrotek.com>). (Consultado 12 de Septiembre 2012).

## Anexos

### Anexo 1. Factor de potencia de los receptores más usados factor de potencia de los receptores más usuales

aparato	carga	cos $\varphi$	tg $\varphi$
motor asíncrono ordinario	0 %	0,17	5,8
	25 %	0,55	1,52
	50 %	0,73	0,94
	75 %	0,8	0,75
	100 %	0,85	0,62
lámparas de incandescencia		1	0
lámparas de fluorescencia		0,5	1,73
lámparas de descarga		0,4 a 0,6	2,29 a 1,33
hornos de resistencia		1	0
hornos de inducción		0,85	0,62
hornos de calefacción dieléctrica		0,85	0,62
máquinas de soldar por resistencia		0,8 a 0,9	0,75 a 0,48
centros estáticos monofásicos de soldadura al arco		0,5	1,73
grupos rotativos de soldadura al arco		0,7 a 0,9	1,02
transformadores-rectificadores de soldadura al arco		0,7 a 0,9	1,02 a 0,75
hornos de arco		0,8	0,75

Fig.1. Factor de potencia de los receptores más usuales.  
 Fuente: Merlin Gerin. (2003).

**Anexo 2.** Corrección del factor de potencia.

Tabla 1. Corrección del factor de potencia.

FACTOR DE POTENCIA ORIGINAL ( $\cos\phi_1$ )	FACTOR DE POTENCIA QUE SE DESEA ( $\cos\phi_2$ )										
	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90
0.65	1.169	1.027	0.966	0.919	0.877	0.840	0.806	0.774	0.743	0.714	0.685
0.66	1.138	0.996	0.935	0.888	0.847	0.810	0.775	0.743	0.712	0.683	0.654
0.67	1.108	0.966	0.905	0.857	0.816	0.779	0.745	0.713	0.682	0.652	0.624
0.68	1.078	0.936	0.875	0.828	0.787	0.750	0.715	0.683	0.652	0.623	0.594
0.69	1.049	0.907	0.846	0.798	0.757	0.720	0.686	0.654	0.623	0.593	0.565
0.70	1.020	0.878	0.817	0.770	0.729	0.692	0.657	0.625	0.594	0.565	0.536
0.71	0.992	0.849	0.789	0.741	0.700	0.663	0.629	0.597	0.566	0.536	0.508
0.72	0.964	0.821	0.761	0.713	0.672	0.635	0.601	0.569	0.538	0.508	0.480
0.73	0.936	0.794	0.733	0.686	0.645	0.608	0.573	0.541	0.510	0.481	0.452
0.74	0.909	0.766	0.706	0.658	0.617	0.580	0.546	0.514	0.483	0.453	0.425
0.75	0.882	0.739	0.679	0.631	0.590	0.553	0.519	0.487	0.456	0.426	0.398
0.76	0.855	0.713	0.652	0.605	0.563	0.526	0.492	0.460	0.429	0.400	0.371
0.77	0.829	0.686	0.626	0.578	0.537	0.500	0.466	0.433	0.403	0.373	0.344
0.78	0.802	0.660	0.599	0.552	0.511	0.474	0.439	0.407	0.376	0.347	0.318
0.79	0.776	0.634	0.573	0.525	0.484	0.447	0.413	0.381	0.350	0.320	0.292
0.80	0.750	0.608	0.547	0.499	0.458	0.421	0.387	0.355	0.324	0.294	0.266
0.81	0.724	0.581	0.521	0.473	0.432	0.395	0.361	0.329	0.298	0.268	0.240
0.82	0.698	0.556	0.495	0.447	0.406	0.369	0.335	0.303	0.272	0.242	0.214
0.83	0.672	0.530	0.469	0.421	0.380	0.343	0.309	0.277	0.246	0.216	0.188
0.84	0.646	0.503	0.443	0.395	0.354	0.317	0.283	0.251	0.220	0.190	0.162
0.85	0.620	0.477	0.417	0.369	0.328	0.291	0.257	0.225	0.194	0.164	0.135
0.86	0.593	0.451	0.390	0.343	0.302	0.265	0.230	0.198	0.167	0.138	0.109
0.87	0.567	0.424	0.364	0.316	0.275	0.238	0.204	0.172	0.141	0.111	0.082
0.88	0.540	0.397	0.337	0.289	0.248	0.211	0.177	0.145	0.114	0.084	0.055
0.89	0.512	0.370	0.309	0.262	0.221	0.184	0.149	0.117	0.086	0.057	0.028
0.90	0.484	0.342	0.281	0.234	0.193	0.156	0.121	0.089	0.058	0.029	-
0.91	0.456	0.313	0.253	0.205	0.164	0.127	0.093	0.060	0.030	-	-
0.92	0.426	0.284	0.223	0.175	0.134	0.097	0.063	0.031	-	-	-
0.93	0.395	0.253	0.192	0.145	0.104	0.067	0.032	-	-	-	-
0.94	0.363	0.220	0.160	0.112	0.071	0.034	-	-	-	-	-
0.95	0.329	0.186	0.126	0.078	0.037	-	-	-	-	-	-
0.96	0.292	0.149	0.089	0.041	-	-	-	-	-	-	-
0.97	0.251	0.108	0.048	-	-	-	-	-	-	-	-
0.98	0.203	0.061	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.99	0.142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Merlin Gerin. (2003).

### Anexo 3. Comportamiento del factor de potencia por área

Tabla 1. Comportamiento del factor de potencia Planta Moledora

Años	2010	2011	2012	Deseado
Factor de potencia ( $\cos \varphi$ ).	<b>0.82</b>	<b>0.84</b>	<b>0.83</b>	<b>0.90</b>
Potencia activa P(Mw).	1.05	1.02	1.532	—
Potencia reactiva Q(Mvar).	0.750	0.715	1.050	—

Fuente: datos obtenido de analizadores de redes Planta Eléctrica

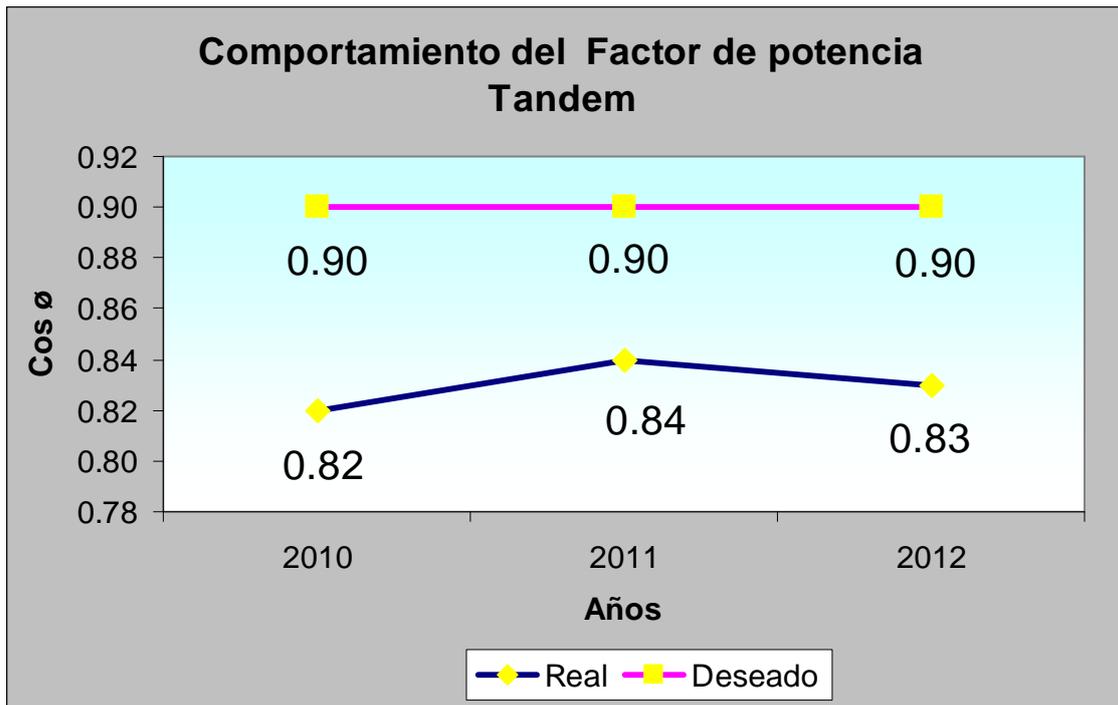


Figura 1. Comportamiento del factor de potencia en la planta moledora.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Comportamiento del factor de potencia Caldera 1.

Años	2010	2011	2012	Deseado
Factor de potencia ( $\cos \varphi$ ).	<b>0.67</b>	<b>0.74</b>	<b>0.78</b>	<b>0.90</b>
Potencia activa P(Kw).	403.8	391.5	388.3	—
Potencia reactiva Q(Kvar).	322.1	309.1	306.2	—

Fuente: datos obtenido de analizadores de redes Planta Eléctrica

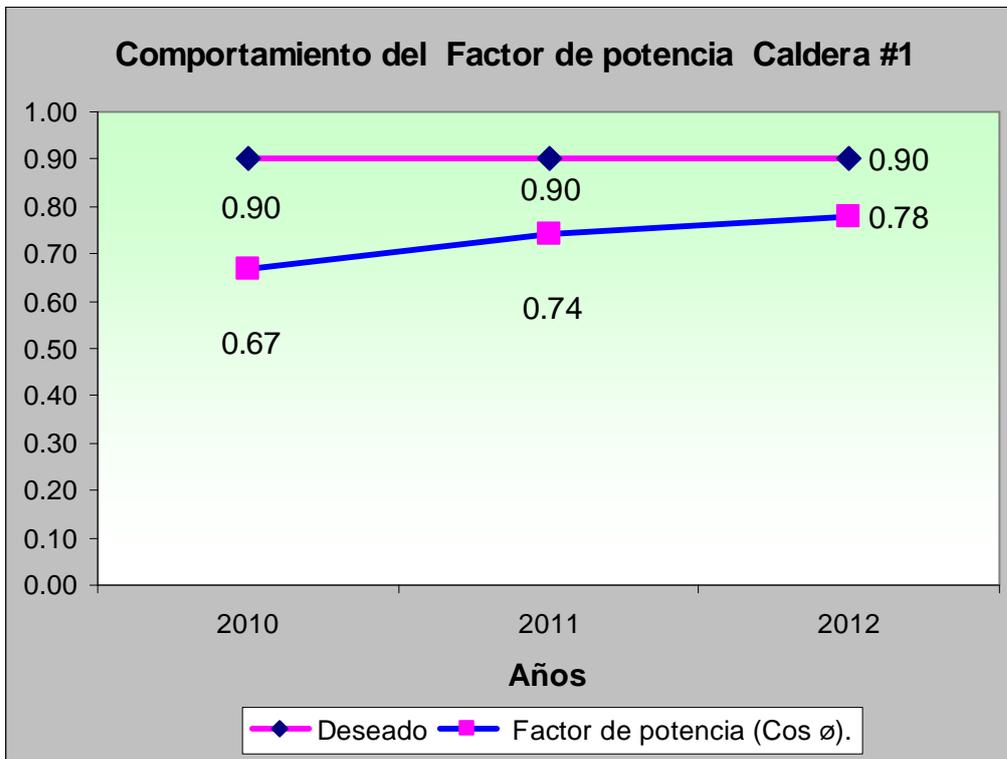


Figura 2. Comportamiento del factor de potencia en la caldera 1.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Comportamiento del factor de potencia Caldera 2.

Años	2010	2011	2012	Deseado
Factor de potencia ( $\cos \varphi$ ).	<b>0.82</b>	<b>0.83</b>	<b>0.82</b>	<b>0.90</b>
Potencia activa P(Kw).	535.2	533.5	516.1	—
Potencia reactiva Q(Kvar).	452,43	130.4	98.05	—

Fuente: datos obtenido de analizadores de redes Planta Eléctrica

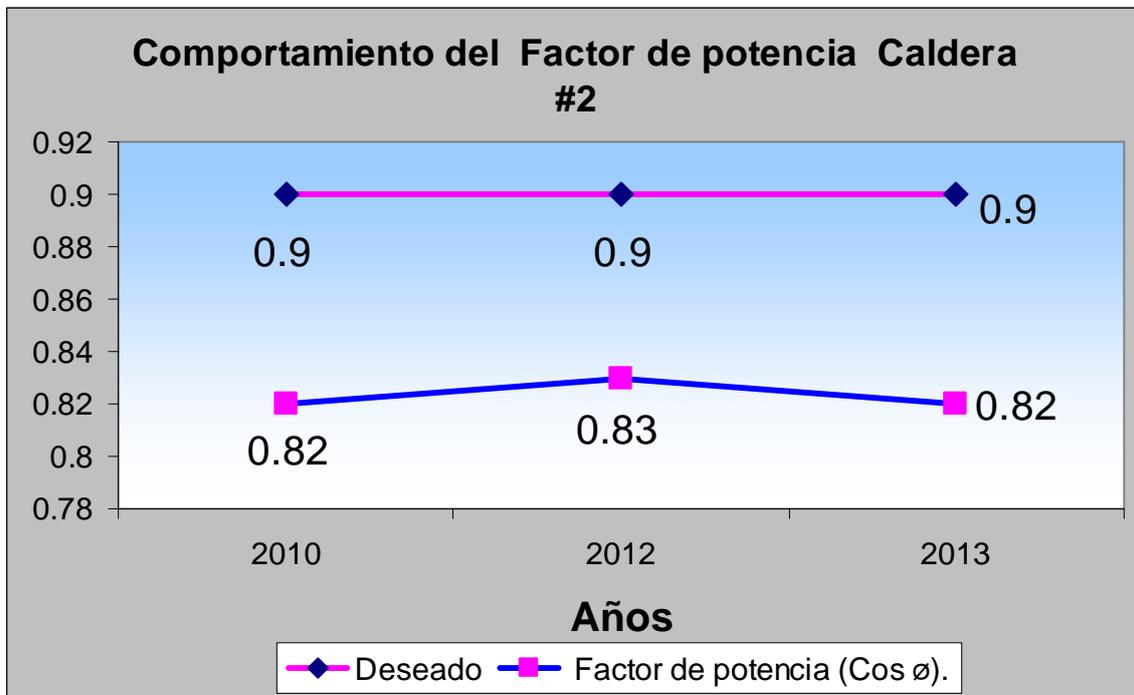


Figura 3. Comportamiento del factor de potencia en la caldera 2.  
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Comportamiento del factor de potencia Planta eléctrica (turbo generador).

Años	2010	2011	2012	Deseado
Factor de potencia (cos $\varphi$ ).	<b>0.88</b>	<b>0.94</b>	<b>0.96</b>	<b>0.90</b>
Potencia activa P(Mw).	4.00	4.19	4.48	—
Potencia reactiva Q(Mvar).	1.09	1.43	2.30	—

Fuente: datos obtenido de analizadores de redes Planta Eléctrica.

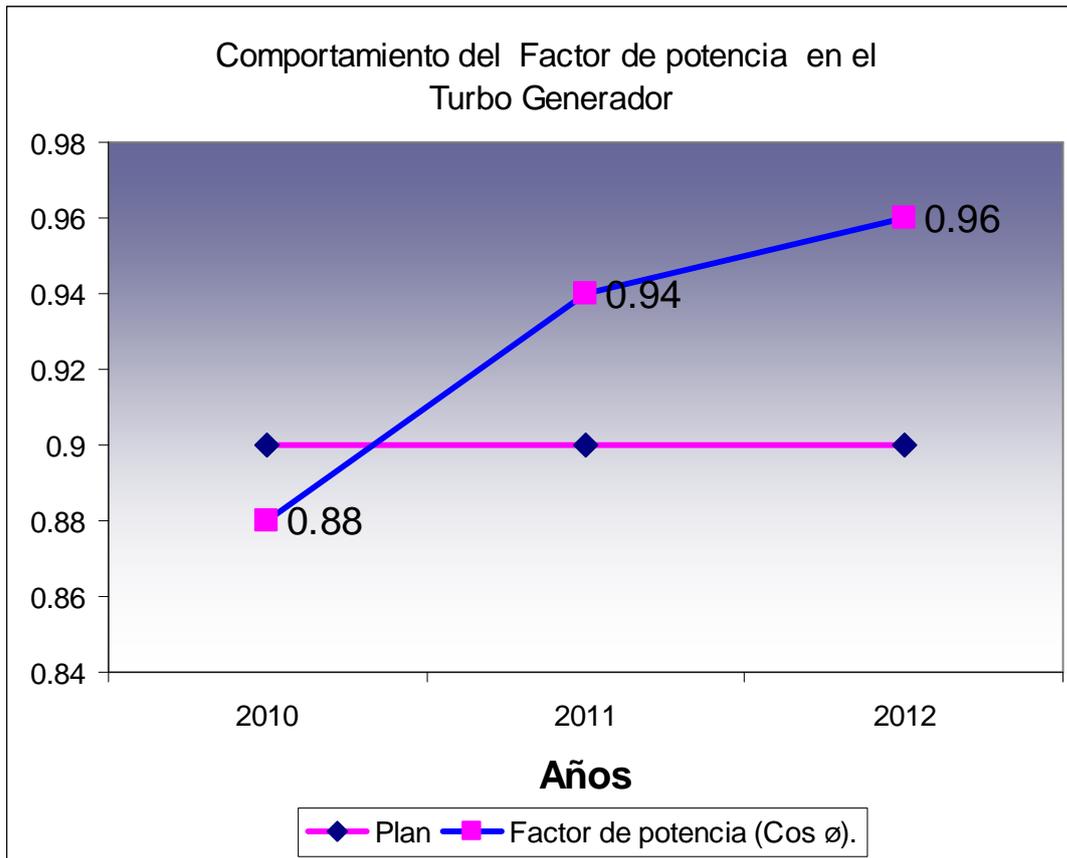


Figura 4. Comportamiento del factor de potencia en el turbo Generador.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Comportamiento del factor de potencia SEN.

Q (kVArH)	S (kVA)	FP	Mes	Año
489825	500456.7237	0.21	Abril	2011
196027	240799.932	0.58	Mayo	2011
414	117696.7281	1.00	Junio	2011
0	104627	1.00	Julio	2011
0	112574	1.00	Agosto	2011
0	106441	1.00	Septiembre	2011
1	118875	1.00	Octubre	2011
275	114139.3313	1.00	Noviembre	2011
9232	141994.4346	1.00	Diciembre	2011
128597	174407.6658	0.68	Enero	2012
551332	556328.9385	0.13	Febrero	2012
209809	211758.926	0.14	Marzo	2012

Fuente: Datos obtenidos de analizador de redes Planta Eléctrica

#### **Anexo 4. Entrevistas a operadores de planta eléctrica**

1. ¿Está el ingenio interconectado con el SEN?
2. ¿Está en condiciones el turbogenerador de autoabastecer eléctricamente al ingenio?
3. ¿Si el ingenio está sincronizado con el SEN, está automatizada la carga activa del turbogenerador?
4. ¿Qué parámetros se tienen en cuenta para regular la carga activa del turbogenerador?
5. ¿Se tiene en cuenta los indicadores del factor de potencia para regular la carga activa?
6. ¿Hay alguna actividad sistemática para la capacitación de los operadores referida al comportamiento?
7. ¿Se entrega potencia activa al SEN?
8. ¿Se entrega potencia reactiva al SEN?
9. ¿El sistema de estimulación tiene en cuenta el comportamiento del factor de potencia?

### **Anexo 5. Entrevista al técnico de planta eléctrica**

1. ¿En el ingenio existen motores y transformadores sobredimensionados?
2. ¿La subestación reductora calderas 1 posee medios compensadores del factor de potencia?
3. ¿Son suficientes los medios compensadores del factor de potencia instalados en la subestación reductora calderas 2?
4. ¿La subestación reductora proceso 1 posee medios compensadores del factor de potencia?
5. ¿Es bueno el estado técnico los medios compensadores del factor de potencia de La subestación reductora proceso 2?
6. ¿La capacidad de generación del turbogenerador instalado es suficiente para alcanzar el autoabastecimiento eléctrico?
7. ¿El sistema de estimulación favorece el comportamiento del factor de potencia?
8. ¿Los analizadores de redes instalados facilitan la observación del comportamiento del factor de potencia?
9. ¿Durante el periodo de reparaciones es penalizado el ingenio por operar con bajo factor de potencia?
10. ¿Durante el periodo de reparaciones es bonificado el ingenio por operar con un adecuado factor de potencia?
11. ¿El consumo de potencia reactiva desde el SEN afecta el comportamiento del factor de potencia?