

CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA EN MOLINOS AZTECA DE CHIAPAS “MASECA”

POWER FACTOR CORRECTION IN MOLINOS AZTECA DE CHIAPAS "MASECA"

Rubén Herrera Galicia

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez / Tecnológico Nacional de México, México
h_galicia24@hotmail.com

Luis Armando Santiago Ovando

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, México
layu_armando@hotmail.com

Karlos Velázquez Moreno

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, México
karlosvelazquez@hotmail.com

José Ángel Zepeda Hernández,

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, México
jzpedah@ittg.edu.mx

Álvaro Hernández Sol

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, México
ahernandezs@ittg.edu.mx

Recepción: 21/octubre/2019

Aceptación: 23/noviembre/2019

Resumen

En este artículo se presenta un estudio energético hecho a la empresa Molinos Azteca de Chiapas SA de CV dedicada a la elaboración, distribución y venta de productos derivados del maíz. Como consecuencia del estudio, se propone una solución para la corrección del factor de potencia. En el trabajo se muestran los resultados de la solución y sus implicaciones energéticas y económicas. La corrección del factor de potencia de 0.86 a 0.93 se logra mediante la instalación de un banco de capacitores. Con la corrección, se reduce el consumo energético, que se traduce en un ahorro de \$67,185.00 cada mes por concepto de pago del monto presentado en la facturación.

Palabras Claves: Banco de capacitores, factor de potencia, potencia reactiva.

Abstract

In this paper an energy study is presented to the company Molinos Azteca de Chiapas SA of CV dedicated to the preparation, distribution and sale of products derived from corn. As a result of the study, a solution for the power factor correction is proposed. In the paper the results of the solution and its energetic and economic implications are shown. The correction of the power factor from 0.86 to 0.93 is achieved through the installation of a capacitor bank. With the correction, the energy consumption is reduced, which translates into a saving of \$67,185.00 monthly in billing.

Keywords: Capacitor bank, power factor, reactive power.

1. Introducción

Una carga compuesta es aquella que consta de elementos resistivos y reactivos. En cargas eléctricas como las lámparas incandescentes la parte reactiva es prácticamente nula. En cargas como los transformadores y los motores eléctricos, la parte reactiva es de magnitud similar a la parte resistiva. Por su naturaleza eléctrica, las cargas industriales son reactivas debido a la presencia predominante de motores y transformadores. En las cargas compuestas circulan dos tipos de corriente: la corriente activa y la corriente reactiva. La corriente activa está relacionada con la potencia activa y es la requerida para producir el trabajo. La potencia reactiva no produce trabajo directo en los equipos, pero es necesaria para producir el flujo magnético que pone en funcionamiento a los motores, transformadores, y equipos de refrigeración.

Las potencias activas y reactivas se relacionan a través del factor de potencia, que es un concepto que representa la cantidad de energía eléctrica convertida en trabajo. Un factor de potencia igual a uno indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía de la necesaria para producir el trabajo deseado.

Causas de bajo factor de potencia. Cuando la cantidad de motores y transformadores es apreciable los requerimientos de potencia reactiva son altos, lo

cual produce una disminución significativa del factor de potencia. En este tipo de instalaciones la corriente se desfasa con relación al voltaje. El factor de potencia es inversamente proporcional a ese desfasamiento.

Efectos de un factor de potencia bajo. Para un suministrador, un factor de potencia bajo significa una potencia reactiva alta, una corriente reactiva alta, y finalmente una corriente eficaz alta. Una corriente eficaz alta puede sobrepasar los límites de diseño y manifestarse en forma de sobrecalentamiento de cables, sobrecalentamiento de embobinados de los transformadores de distribución, y disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección. El problema del sobrecalentamiento ocasiona reducción de la vida útil de los equipos, deterioro irreversible del aislamiento de los conductores, e incremento del riesgo de corto circuito.

El exceso de corriente eficaz, mayor a la prevista en una red, debido a la generalización de un factor de potencia bajo, ocasiona que los generadores, transformadores y líneas de distribución, trabajen con sobrecarga. Estos equipos son diseñados para un valor de corriente y para evitar daños se deben operar sin rebasar los límites permitidos.

La potencia reactiva puede ser suministrada por las propias empresas. Al ser suministrada por la compañía de electricidad debe ser producida y transportada por las redes, lo que ocasiona necesidades de inversión en capacidades mayores para los equipos y redes de transmisión y distribución.

Consecuencias de un bajo factor de potencia para el usuario. Un factor de potencia bajo implica mayor intensidad de corriente fluyendo por la instalación. El aumento de la intensidad de la corriente significa un incremento en pérdidas por efecto Joule. En consecuencia: los conductores entre el medidor y el usuario deben ser de mayor calibre, los embobinados de los transformadores de distribución generan más calor, los dispositivos de operación y protección deben ser de mayor tamaño y por tanto de mayor precio, la temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida de su aislamiento.

Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión. Las caídas de tensión en los conductores, por el aumento de la corriente, ocasionan una alimentación de

los equipos con un voltaje menor al nominal. Un voltaje de alimentación menor al nominal ocasiona degradación de la eficiencia energética de los motores, que se traduce en baja eficiencia en el consumo de energía eléctrica y desperdicio de la misma. Un voltaje menor también ocasiona insuficiente suministro de potencia a los equipos. Con ello las cargas sufren una reducción en su potencia de entrada y deterioro en su funcionamiento. Estas caídas de voltaje afectan también a los sistemas de protección y control.

Factor de potencia y factura por consumo de energía eléctrica. Un bajo factor de potencia ocasiona una mayor demanda de potencia e implica pérdidas de energía en el sistema de generación, transmisión y distribución. El productor y distribuidor de energía eléctrica penalizan al usuario que tiene bajo factor de potencia y se le considera que hace un uso incorrecto de la energía. Por consiguiente, en la facturación lo bonifican o lo penalizan, según sea alto o bajo su factor de potencia. En el concepto factor de potencia, penalizan hasta con un 120% del costo de facturación.

Corrección del factor de potencia mediante el uso de capacitores. Un capacitor es un dispositivo que almacena energía en forma de campo eléctrico. Los capacitores al conectarse en paralelo a la red eléctrica proveen potencia reactiva que antes suministraba la red. Con un banco de capacitores se puede suministrar potencia reactiva desde la propia empresa, así la potencia reactiva suministrada por la compañía eléctrica es menor.

Formas de instalación de un banco de capacitores. La compensación de una instalación eléctrica de una planta por banco de capacitores puede hacerse de diferentes formas; instalación individual, instalación por sectores, o instalación global. La instalación global o central ofrece una solución generalizada para corregir el factor de potencia. El banco de capacitores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución que suministran la potencia reactiva demandada por los equipos con diferentes potencias y tiempos de operación.

La compensación centralizada presenta ventajas; mejor utilización de la capacidad de los bancos de capacitores, mejor regulación del voltaje en el sistema eléctrico, suministro de potencia reactiva según los requerimientos del momento, fácil

supervisión, y es la alternativa más económica porque toda la instalación se concentra en un lugar.

La desventaja de corregir el factor de potencia mediante la compensación centralizada, es que dentro de la empresa las líneas de distribución siguen conduciendo la potencia reactiva. La corriente reactiva circula por toda la instalación y las pérdidas por calentamiento se mantienen y no permite una reducción de su dimensionamiento. Además, se requiere de un regulador automático del banco de capacitores para compensar la potencia reactiva, según las necesidades de cada momento.

Banco de capacitores automático. Estos bancos están formados por bloques de capacitores conectados en paralelo. Los bloques se conectan y desconectan por las acciones de un regulador electrónico automático incorporado en el banco. Los bloques son activados de acuerdo a las variaciones de carga de la instalación.

Cálculo de la potencia reactiva a liberar. Conociendo la energía activa W_R [kWh] y la energía reactiva W_X [kVAh], consumidas en el período de un mes t_M [h], con las ecuaciones 1 y 2, se calculan los valores promedio de la potencia activa P [kW] y la potencia reactiva Q [kVAh].

$$P = \frac{W_R}{t_M} \quad (1)$$

$$Q = \frac{W_X}{t_M} \quad (2)$$

Estado del arte. Los sistemas de transmisión CA incorporan equipos de control de electrónica de potencia, para compensar la potencia reactiva e incrementar la capacidad de transmisión de potencia. Pero su costo de inversión y su costo de mantenimiento son desfavorables. Además, a largas distancias de transmisión tienen pérdidas de la potencia considerables [Park, 2015].

Con el objeto de suministrar potencia a equipos con diferentes requerimientos de alimentación, tales como motores, computadoras y circuitos integrados de sistemas de comunicaciones, la tendencia ampliamente adoptada es la de una arquitectura de red de suministro distribuida, con convertidores CA-CD, CD-CD, y CD-CA, con buses CD y buses CA monofásicos y trifásicos [Gu, 2018].

Los convertidores de voltaje, con modulación por anchura de pulso y corrección de factor de potencia, con estructura multinivel, conectados a redes trifásicas, son ampliamente usados. Debido a la conmutación en el convertidor, una corriente de armónicos de alta frecuencia es inyectada a la red del suministro y es necesario atenuarla para cumplir con los estándares estrictos de la red [Chang, 2016] [Kouchaki, 2018] [López, 2018].

Suministrar la potencia reactiva que requieren los equipos en las empresas ocasiona pérdidas por calentamiento y deteriora la regulación del voltaje en las líneas de transmisión. Por consiguiente, es deseable reducir los efectos introduciendo soluciones locales. Ejemplos de ello son las técnicas de compensación de corriente de armónicos y la corrección del factor de potencia, con aplicación de electrónica de potencia. La mayoría de los trabajos de corrección del factor de potencia encontrados en la literatura involucran diseños aguas abajo y son aplicados como una etapa previa a las fuentes de alimentación y variadores de velocidad [Lim, 2016]. También existen trabajos cuya solución de la corrección del factor de potencia consiste en hacer modificaciones en los circuitos de conversión CA CD [Kanaan, 2015]. Otros trabajos usan el paradigma de los multiniveles, donde el primer nivel de conversión CA CD es para garantizar un alto factor de potencia y los siguientes son para cumplir con las demás características deseadas de una fuente de alimentación, alta eficiencia energética y control preciso del voltaje de alimentación. Los diseños más avanzados involucran técnicas de compensación de corriente de armónicos [Singh, 2015].

SECOVI es una empresa mexicana que elaboró un estudio del factor de potencia a la maquiladora INVAMEX, Planta Reynosa, con la finalidad de conocer el sistema eléctrico para hacer la corrección del factor de potencia a un valor de 0.99. Además del factor de potencia, se observó el comportamiento del resto de los parámetros eléctricos en la planta: el perfil de voltaje, corriente, potencia, distorsión armónica en voltaje y distorsión armónica en corriente [Secovi, 2007].

En la Universidad de Costa Rica se elaboró un proyecto que tuvo como fin mejorar el factor de potencia en un sistema de distribución eléctrica mediante la instalación de un banco de capacitores conmutado en el ramal trifásico la Palma del circuito de

distribución Fortuna de Coopesca R.L. Los autores describen las implicaciones para el generador, la empresa distribuidora, y el consumidor. También presentan información de los dos estándares principales de IEEE que aplican sobre capacitores en sistemas de distribución [Gutiérrez, 2014].

Enrique Gómez Morales del Instituto Politécnico Nacional presentó los beneficios de compensar la potencia reactiva por medio de capacitores. En su caso de estudio corrigió el factor de potencia con un ahorro mensual en las facturas eléctricas de 9%. Esto se suma a los beneficios por la disminución de pérdidas en los alimentadores, reducción del calibre de conductores y la liberación de capacidad en los transformadores en un 20%. Esto se observa en la simulación hecha en el Power World Simulator 13 para análisis de flujos [Gómez, 2009].

El propósito de escribir el presente artículo es mostrar los resultados de reducir el monto por concepto de la facturación de energía eléctrica, evitando cargos y multas por un factor de potencia bajo. El proceso se inicia con el diagnóstico energético a la empresa Molinos Azteca de Chiapas SA de CV dedicada a la elaboración, distribución y venta de productos derivados del maíz. La corrección del factor de potencia se logra mediante la instalación de un banco de capacitores.

2. Métodos

Monitoreo de parámetros eléctricos. Se usó un analizador de redes trifásicas AEMC 8335 que fue instalado en la acometida de la instalación eléctrica de la empresa. Por un periodo de siete días se registraron las mediciones de las potencias, voltaje, corriente, frecuencia, y factor de potencia. El equipo se programó para tomar mediciones, promediar valores, y hacer un registro de cada parámetro por cada minuto. **Análisis de parámetros eléctricos.** El primer registro sucedió a las 11:58 am y el último sucedió a las 11:55 am del séptimo día. Se visualizaron los resultados con el software DataView.

Análisis de la potencia activa [kW]. La gráfica de la potencia activa se observa en la figura 1: la línea azul corresponde a la fase A, la línea color de rosa es la fase B, la línea color negro es la fase C, la potencia activa total es la línea color rojo.

La tabla 1 muestra la potencia activa consumida durante el período de mediciones de siete días. Se observa que la demanda máxima total es de 3,166.80 kW.

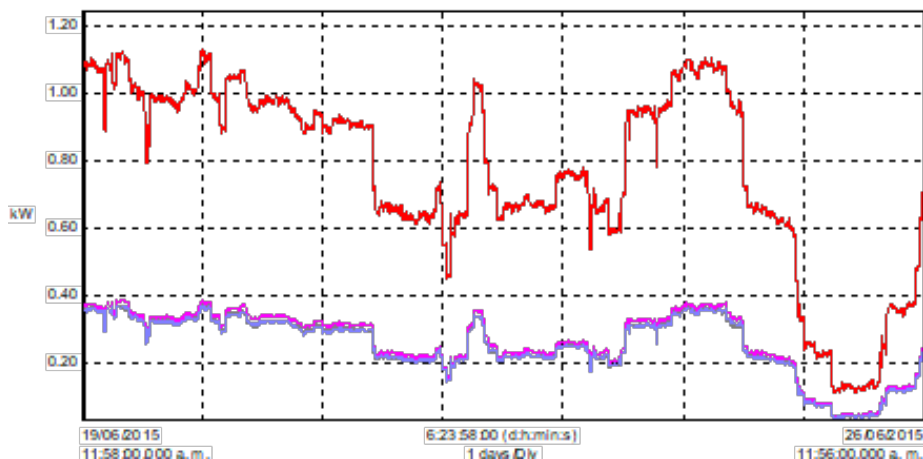


Figura 1 Curva de potencia activa.

Tabla 1 Mediciones de potencia activa [kW].

| Nombre | Fecha | Hora | Promedio [kW] | Mín [kW] | Máx [kW] | Duración [d:h:min:s] |
|---------|-------|----------|---------------|----------|----------|----------------------|
| W Total | 19/06 | 11:58:00 | 2142.00 | 302.40 | 3166.80 | 6:23:58:00 |
| W1 | 19/06 | 11:58:00 | 707.15 | 101.22 | 1051.20 | 6:23:58:00 |
| W2 | 19/06 | 11:58:00 | 736.69 | 105.53 | 1092.39 | 6:23:58:00 |
| W3 | 19/06 | 11:58:00 | 698.75 | 93.21 | 1036.98 | 6:23:58:00 |

Análisis de la potencia reactiva [kVAr]. La gráfica de la potencia reactiva se observa en la figura 2: la línea azul corresponde a la fase A, la línea color de rosa es la fase B, la línea color negro es la fase C, la potencia reactiva total es la línea color rojo. En la figura 2 es más notoria la diferencia entre las potencias de cada fase y llaman la atención los picos de corta duración que aparecen los días 1, 4, 5, y 7, mismos que no aparecen en las figuras 1 y 3. En la tabla 2 se muestra la potencia reactiva consumida por la empresa durante el período de medición. Se observa que la demanda máxima total es de 980.086 kVAr.

Análisis de la potencia aparente [kVA]. La gráfica de la potencia aparente se observa en la figura 3. Las figuras 1 y 3 son muy similares. Esto se debe a la relación de las potencias con el triángulo rectángulo, donde la potencia aparente es la hipotenusa y la potencia activa es el cateto adyacente. En presencia de potencia

reactiva, la potencia aparente será mayor a la potencia activa, pero tendrán valores cercanos.

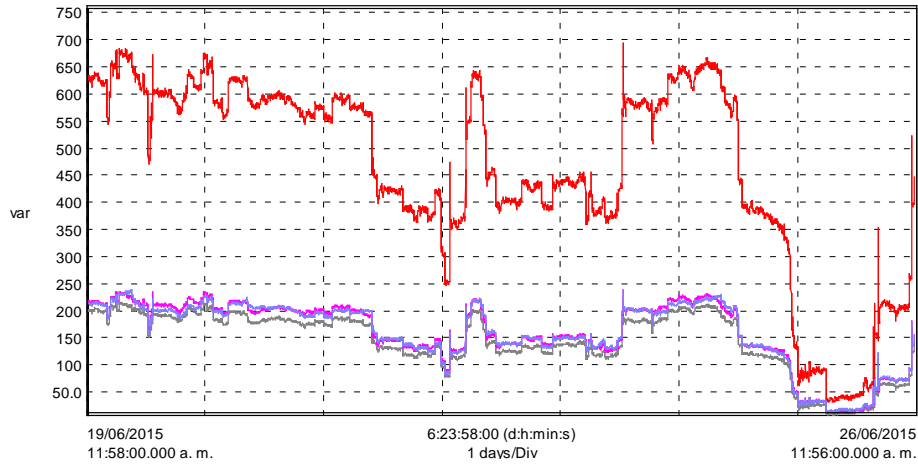


Figura 2 Curva de potencia reactiva.

Tabla 2 Mediciones de potencia reactiva [kVAr].

| Nombre | Fecha | Hora | Promedio [kVAr] | Mín [kVAr] | Máx [kVAr] | Duración [d:h:min:s] |
|-----------|-------|----------|-----------------|------------|------------|----------------------|
| var Total | 19/06 | 11:58:00 | 795.448 | 25.93 | 980.086 | 6:23:58:00 |
| var1 | 19/06 | 11:58:00 | 263.012 | 7.16 | 324.211 | 6:23:58:00 |
| var2 | 19/06 | 11:58:00 | 267.645 | 9.41 | 328.025 | 6:23:58:00 |
| var3 | 19/06 | 11:58:00 | 264.791 | 9.23 | 327.850 | 6:23:58:00 |

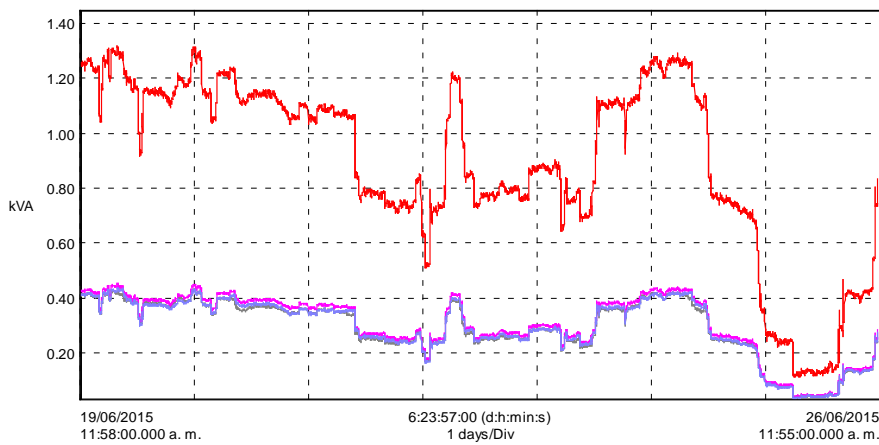


Figura 3 Curva de potencia aparente [kVA].

La tabla 3 muestra la potencia aparente consumida por la empresa durante el período de medición. Se observa que la demanda máxima total es 3687.60 kVA.

Tabla 3 Mediciones de potencia aparente [kVA].

| Nombre | Fecha | Hora | Promedio [kVA] | Mín [kVA] | Máx [kVA] | Duración [d:h:m:s] |
|----------|-------|----------|----------------|-----------|-----------|--------------------|
| VA Total | 19/06 | 11:58:00 | 2494.80 | 310.80 | 3687.60 | 6:23:58:00 |
| VA1 | 19/06 | 11:58:00 | 813.17 | 103.35 | 1208.54 | 6:23:58:00 |
| VA2 | 19/06 | 11:58:00 | 858.93 | 109.20 | 1269.69 | 6:23:58:00 |
| VA3 | 19/06 | 11:58:00 | 822.75 | 96.91 | 1226.48 | 6:23:58:00 |

Análisis del factor de potencia. El factor de potencia promedio es 0.867, ver la tabla 4. En la figura 4, durante los siete días, el factor de potencia toma valores por debajo de los límites permitidos, a excepción de la primera mitad del séptimo día (domingo), donde el factor de potencia se eleva por momentos a valores por arriba de 0.95.

Tabla 4 Mediciones del factor de potencia.

| Nombre | Fecha | Hora | Promedio | Mín | Máx | Duración [d:h:min:s] |
|----------|-------|----------|----------|-------|-------|----------------------|
| DPF Mean | 19/06 | 11:58:00 | 0.867 | 0.690 | 0.984 | 6:23:58:00 |
| DPF1 | 19/06 | 11:58:00 | 0.878 | 0.705 | 0.994 | 6:23:58:00 |
| DPF2 | 19/06 | 11:58:00 | 0.866 | 0.697 | 0.984 | 6:23:58:00 |
| DPF3 | 19/06 | 11:58:00 | 0.857 | 0.669 | 0.981 | 6:23:58:00 |

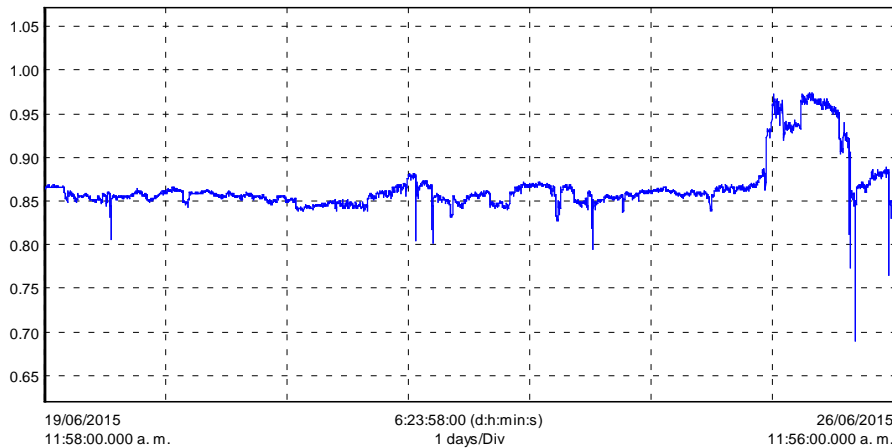


Figura 4 Curva del factor de potencia.

Facturación de energía eléctrica. En la figura 5 se presenta una grafica elaborada con los datos extraídos de doce facturas de consumo eléctrico. Las facturas corresponden a los meses de marzo a febrero, periodo de pagos que incluye al

periodo de las mediciones. En la gráfica se especifica la penalización por bajo factor de potencia en pesos, y el factor de potencia.

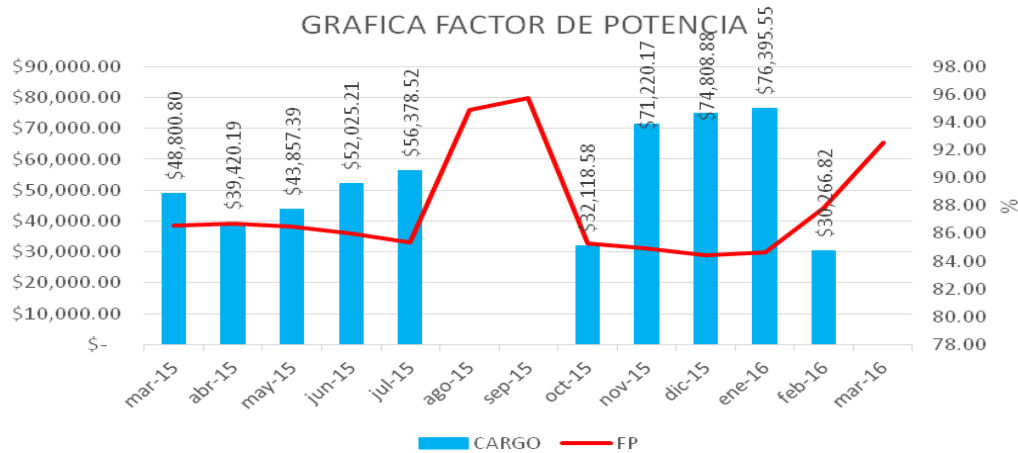


Figura 5 Facturación eléctrica de la empresa MASECA.

Selección del banco de capacitores. Con el conocimiento de las energías reactivas demandadas dentro de periodos de un día, para los siete días de una semana, se calculan los valores extremos de la demanda de potencia reactiva. La demanda mínima total de potencia reactiva para un día es 25 kVAr, y la demanda máxima total de potencia reactiva para un día es 980 kVAr, tabla 2. Además, conociendo la energía reactiva demandada dentro del periodo de una semana, se calcula la demanda promedio de potencia reactiva para un día. La demanda promedio total de potencia reactiva para un día es 795 kVAr, tabla 2.

Con las mediciones mencionadas, registradas en la tabla 2, se seleccionó el banco de capacitores para la corrección del factor de potencia en la empresa MASECA. La demanda de potencia reactiva es mínima en el periodo de tiempo de 06:15 pm del sexto día (sábado) a 03:26 am del séptimo día (domingo). En ese periodo se presenta un factor de potencia por encima de 0.98 cercano a la unidad, debido a la ausencia de cargas que demanden potencia reactiva. Por tal motivo en dicho periodo la compensación es innecesaria. Si se aplica una compensación fija de 980 kVAr igual a la demanda máxima, entonces en ciertas horas se origina una sobrecompensación, figura 6. Esto es debido a que 980 kVAr de potencia reactiva no es requerida durante todo el periodo de análisis.

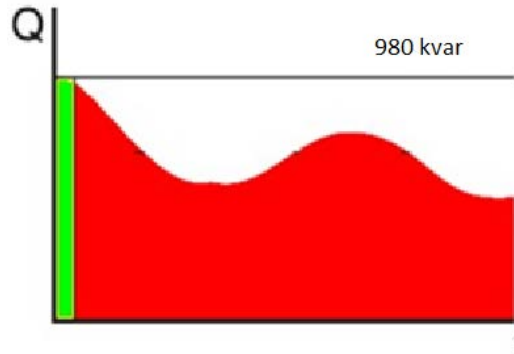


Figura 6 Sobre compensación, por compensación fija igual a 980 kVAr.

Si se aplica una compensación fija de 795 kVAr igual a la demanda total promedio, entonces en ciertas horas el sistema eléctrico se encuentra compensado. Sin embargo, se tiene la desventaja de que en ciertas horas el sistema eléctrico de la planta se encuentra sobre compensado y en otras horas se encuentra sub compensado, como se muestra en la figura 7.



Figura 7 Sobre y Sub compensación, por compensación fija igual a 795 kVAr.

Debido a que se compensa a una instalación cuya potencia reactiva tiene fluctuaciones, se seleccionó una compensación adaptable a la demanda de cada momento. Para conseguir esto se consideró el uso de un banco de capacitores automático. El factor de potencia que se tiene para los valores mínimos totales es $FP = 302 \text{ kW}/310\text{kVA} = 0.9741$, tablas 1 y 3. Este es el caso para el cual la compensación debe ser nula. El factor de potencia que se tiene para los valores máximos totales es $FP = 3166 \text{ kW}/3687\text{kVA} = 0.8586$. Para las potencias promedio totales el factor de potencia es $FP = 2142 \text{ kW}/2494\text{kVA} = 0.8588$.

Los días de lunes a sábado, durante seis días del periodo de mediciones, los valores del desplazamiento del factor de potencia oscilan alrededor de 0.85, figura 4. Solo durante una parte de la primera mitad del día domingo, los valores del desplazamiento del factor de potencia son mayores a 0.95. Estas observaciones concuerdan con los valores presentados en la tabla 4. Ante esta circunstancia se optó por considerar las mediciones de potencia reactiva, ver tabla (2). Cuando se tiene una demanda máxima de 980 kVAr, se optó por compensar 900 kVAr. La potencia reactiva de 900 kVAr se implementó mediante un banco automático de capacitores trifásicos de tres pasos. El banco de capacitores está compuesto por tres módulos de capacitores conectados en estrella con conexión solida de neutro a tierra. Los escalones que se obtienen son: 100 – 200 – 300 kVAr por cada módulo y 300 – 600 – 900 kVAr por el banco completo. Cada módulo de capacitores es de tres pasos con tres capacitores en paralelo. Al conectar los tres pasos, de cada modulo, se completan los 300 kVAr requeridos para cada fase y los 900 kVAr requeridos para el sistema eléctrico completo.

Cada vez que, en la línea principal de alimentación, el sistema de control del banco de capacitores, detecta un valor del factor de potencia menor a 0.95 habilita a los contactores paso a paso y suministra potencia reactiva de acuerdo a la demanda de la planta, figura 8. Cuando el controlador de factor de potencia detecta un factor de potencia mayor a 0.98 deshabilita a los contactores paso a paso. Esto evita una sobrecompensación al momento que se tiene una demanda de potencia reactiva menor.

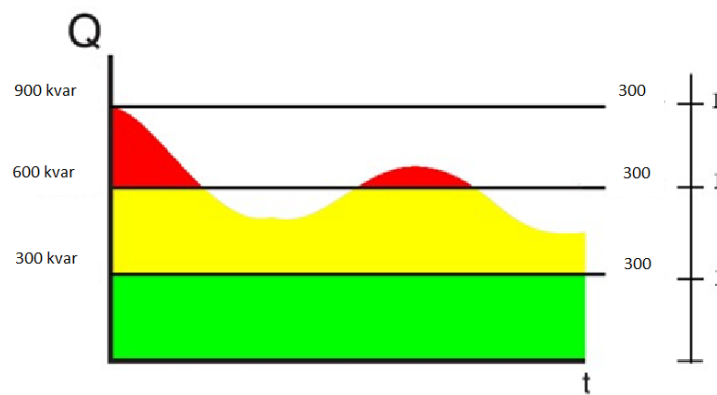


Figura 8 Compensación automática de tres pasos (1:1:1).

3. Resultados

Finalmente se logró tener, en cualquier momento, un factor de potencia cercano a 0.96. La figura 9 presenta la gráfica del factor de potencia después de la instalación del banco de capacitores. Al instalar la compensación de potencia reactiva se logró corregir el factor de potencia de 0.86 a 0.93. Esto significó un ahorro mensual de \$67,185.00 y anual de \$806,185.00. Por lo que resultó beneficioso económicamente. La amortización resultó en un plazo de 6 meses y seguirá produciendo ahorros económicos durante su funcionamiento.

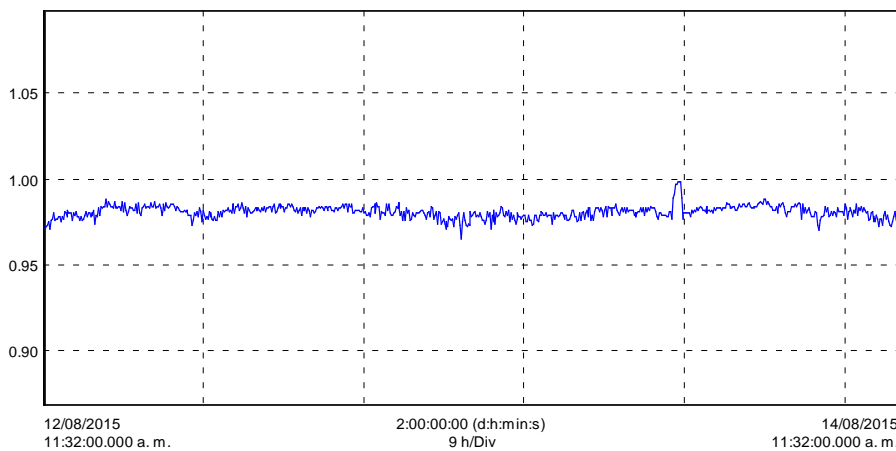


Figura 9 Factor de potencia con banco de capacitores.

Se analizaron los puntos de compensación en el sistema eléctrico de la empresa y durante el estudio se optó por realizar una compensación centralizada. La compensación central fue la mejor opción ya que una compensación individual es recomendable para motores de gran potencia. En general la carga de la planta está compuesta por motores de baja potencia y una implementación individual implicaría un mantenimiento tedioso y dificultad para percibir fallas en el funcionamiento de los capacitores. Se aplicó una compensación automática que no depende del factor humano para la conexión y desconexión del sistema de compensación. Este tipo de compensación fue capaz de seguir la evolución de la curva de carga de la instalación y mantener un valor de factor de potencia igual al deseado. La figura 10 presenta los datos de facturación que se obtuvieron al instalar el banco de capacitores. Se observa que a partir de junio ya no existen penalizaciones y comienzan a recibir

bonificaciones por buen factor de potencia.

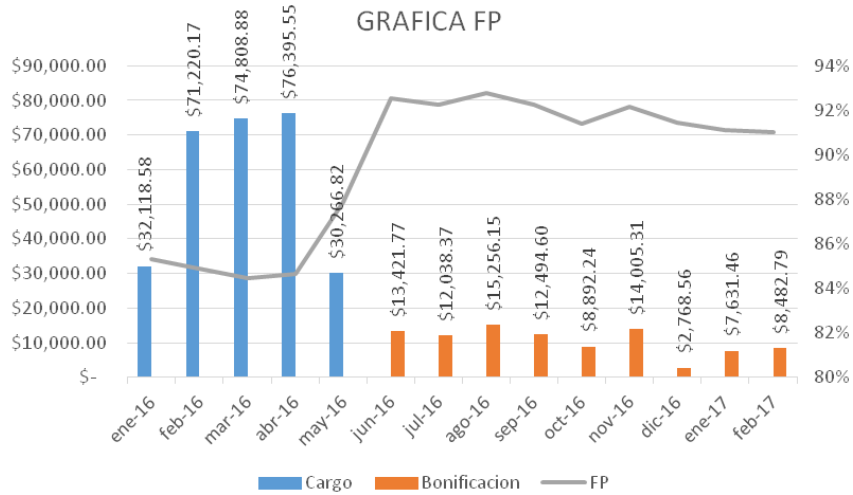


Figura 10 Facturación con banco de capacitores.

4. Discusión

Las mediciones de las energías activa y reactiva consumidas durante cada día, para un periodo de trabajo de una semana, son información suficiente para calcular las demandas de cada día. Con las demandas de potencia activa y reactiva de cada día, se calculan la demanda mínima y la demanda máxima, y se les considera parte integrante del rango de los valores probables de la demanda para un día cualquiera del periodo de trabajo. También, se calculan el factor de potencia mínimo y el factor de potencia máximo, para un día cualquiera del periodo de trabajo. La demanda mínima, la demanda máxima y el comportamiento del historial de la demanda son información de diseño, útil y suficiente, para identificar los requerimientos del funcionamiento y la potencia reactiva a compensar con la aplicación de un banco de capacitores.

5. Conclusiones

La puesta en marcha de este proyecto se basó en el requerimiento especificado por la empresa solicitante en relación a la corrección del factor de potencia. Parte fundamental del proyecto fueron el registro de mediciones y el estudio técnico de las condiciones del sistema. El estudio permitió conocer el comportamiento del

sistema eléctrico, y conocer el requerimiento de energía reactiva a compensar. Para la planta MASECA la corrección del factor de potencia se refleja en el ahorro energético y en la posibilidad de incrementar la producción. Además, con un factor de potencia mayor a 0.9, se encuentra dentro de los parámetros permitidos por CFE evitando penalizaciones y teniendo bonificaciones cuando el factor de potencia sea mayor a 0.90. Por lo expuesto es posible decir que en el caso de un sistema eléctrico no compensado seguramente se están pagando penalizaciones por uso inadecuado de energía eléctrica. También se puede decir que la aplicación de bancos de capacitores reduce las pérdidas por efecto Joule. Por ejemplo; al pasar de un factor de potencia de 0.7 a 0.97, las pérdidas se reducen aproximadamente 47% y la corriente en el transformador se reduce aproximadamente 27%.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Gu Lei, A wide-input-range high-efficiency step-down power factor correction converter using a variable frequency multiplier technique, *IEEE Transactions on power electronics*, pp. 9399-9411, November 2018.
- [2] Chang Chien-Hsuan, An integrated high-power-factor converter with ZVS transition, *IEEE Transactions on power electronics*, pp.2362-2371, March 2016.
- [3] Gómez Morales Enrique, Tesis: Compensación de potencia reactiva, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Instituto Politécnico Nacional, México, octubre 2009.
- [4] Gutiérrez Alfaro Ismael, Mejoramiento del factor de potencia del ramal trifásico La Palma del circuito de distribución Fortuna de Copelesca R.L., Escuela de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, Julio 2014.
- [5] Kouchaki Alireza, Analytical design of passive LCL filter for three-phase two-level power factor correction rectifiers, *IEEE Transactions on power electronics*, pp. 3012-3022, April 2018.
- [6] Secovi, Estudio de factor de potencia; Invamex S. de R.L de C.V., Planta Reynosa, Tamaulipas, agosto 2007.

- [7] López–Martin Victor M., Power quality enhancement in residential smart grids through power factor correction stages, *IEEE Transactions on industrial electronics*, pp. 8553-8564, November 2018.
- [8] Kanaan Hadi Y., Power factor correction with a modified Sheppard-Taylor topology operating in discontinuous capacitor voltage and low output voltage, *IEEE Transactions on emerging and selected topics in power electronics*, pp. 430-439, June 2015.
- [9] Lim Seungbum, New AC-DC power factor correction architecture suitable for high frequency operation, *IEEE Transactions on power electronics*, pp. 2937-2949, April 2016.
- [10] Park Sung Min, Versatil control of unidirectional AC-DC Boost converters for power quality mitigation, *IEEE Transactions on power electronics*, pp. 4738-4749, September 2015.
- [11] Singh Shikha, Power factor corrected zeta converter based improved power quality switched mode power supply, *IEEE Transactions on industrial electronics*, pp. 5422-5433, September 2015.