



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

NIVEL DE POSTGRADO

DIPLOMADO SUPERIOR EN GESTIÓN ENERGÉTICA

“ESTUDIO PARA MEJORAR EL FACTOR DE
POTENCIA EN LA PLANTA DE ASFALTO
DEL CAMPAMENTO DR. PEDRO AGUIRRE”

Tesis de Grado previa a la Obtención del Título de Diploma Superior en
Gestión Energética

AUTORES:

Ing. Carlos Fidel Ojeda Ordóñez.

Ing. Robert Steve Vega Rosales.

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Miguel Angel Caraballo Núñez

LOJA – ECUADOR

2010

CERTIFICACIÓN

Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, durante el desarrollo de la investigación, bajo el tema “**ESTUDIO PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA EN LA PLANTA DE ASFALTO DEL CAMPAMENTO DR. PEDRO AGUIRRE**”, previo a la obtención del título de Diploma Superior en Gestión Energética, realizado por los ingenieros Carlos Fidel Ojeda Ordoñez y Robert Steve Vega Rosales, la misma que cumple con la reglamentación correspondiente, por lo que autorizo su presentación.

Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Ingenieros Carlos Fidel Ojeda Ordoñez y Robert Steve Vega Rosales, asumimos la responsabilidad de los contenidos, resultados y criterios expuestos en el presente trabajo y certificamos el patrimonio de la misma a la Universidad Nacional de Loja.

Ing. Carlos Fidel Ojeda Ordoñez. Ing. Robert Steve Vega Rosales.

DEDICATORIA

Primero quiero dedicar el presente trabajo de investigación a Dios por acompañarme todos los días a cumplir mis metas ya mi familia, quienes supieron darme el recurso más importante su incondicional apoyo además el incentivo de su constante fe en mi capacidad profesional y familiar, factores que de no haber existido, hubieran no solo interrumpido mis sueños, sino que hubieran también truncado mi futuro.

Ing. Carlos Fidel Ojeda Ordoñez

Dedico esta Tesis de Diplomado con todo mi corazón a Dios, por permitirme existir y por darme una familia tan amorosa y unida. A mi esposa, mi hijo y mi hija por su amor, paciencia y comprensión. A mis padres y hermanos por estar siempre a mi lado, apoyándome en todo momento.

A todos ellos por estar siempre pendientes el uno del otro, se la dedico con todo mi amor

Ing. Robert Steve Vega Rosales

AGRADECIMIENTO

Dejamos constancia, a través de esta página, nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, representada por sus distinguidos y abnegados educadores, que en demostración del inusual y generoso desprendimiento, hicieron de nosotros provechosos ciudadanos en capacidad de ponernos al servicio de la Patria por la vía del saber y la ciencia.

Agradecemos de manera particular la oportunidad brindada a través de este DIPLOMADO, el mismo que hizo de nosotros unos postulantes con reales posibilidades de alcanzar esta ansiada profesionalización.

Nuestro especial reconocimiento a los instructores y autoridades Universitarios, quienes a través de todo este proceso dejaron huellas de su existencia y de su vocación, por estar al sagrado servicio de la educación.

A los Docentes que intervinieron en el DIPLOMADO DE GESTIÓN ENERGÉTICA, así mismo le expresamos nuestro reconocimiento y la admiración al Director de Tesis Dr. Miguel Ángel Caraballo, no solo por la brillantez de sus conocimientos, sino y sobre todo por la generosidad que hicieron gala, con seguridad, a cambio de nada como solo suelen hacerlo los grandes maestros.

LOS AUTORES

INDICE

a) Titulo-----	7
b) Resumen-Summary-----	7
c) Introducción-----	8
d) Revisión de la literatura-----	10
1. Factor de potencia-----	10
2. Inconvenientes de un bajo factor de potencia-----	11
3. Regulaciones del CONELEC referente a la calidad de energía y el factor de potencia-----	15
4. Métodos de corrección del factor de potencia-----	18
5. Ventajas técnico económicas del aumento del factor de potencia--	26
6. Experiencias sobre mejoramiento del factor de potencia-----	28
e) Materiales y métodos-----	33
1. Cálculo del reactivo necesario para corregir el factor de potencia de una instalación-----	33
2. ¿Dónde instalar los capacitores?-----	34
3. Instrumento de medición-----	36
4. Medición de las variables de sistema-----	38
f) Resultados y discusión-----	39
1. Resultados obtenidos-----	39
2. Discusión-----	43
g) Conclusiones-----	45
h) Recomendaciones-----	46
i) Bibliografía-----	47
j) Anexos-----	48
Anexo1. Subestación del campamento Dr. Pedro Aguirre-----	48
Anexo2. Libro de mediciones obtenidas-----	49

a) TITULO

“ESTUDIO PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA EN LA PLANTA DE ASFALTO DEL CAMPAMENTO DR. PEDRO AGUIRRE”

b) RESUMEN

El presente trabajo de tesis está orientado a la identificación y corrección del factor de potencia en la planta de asfalto del campamento Dr. Pedro Aguirre del Cantón Catamayo. Como punto de partida se utilizaron los valores detectados en las mediciones realizadas por el personal de la EERSSA en sus procedimientos de mediciones a clientes, con lo cual se pudo demostrar que este indicador de calidad de energía tiene un valor promedio de 0,5 el cual es inferior al límite permisible (0,92) por las regulaciones del CONELEC, empeorando los índices de calidad de energía del sistema eléctrico de esta industria y provocando penalizaciones por este concepto. Empleando la metodología del cálculo directo de la capacidad del banco de condensadores necesario para corregir el factor de potencia y teniendo en cuenta los resultados del estudio de las características de la carga instalada, se pudo plantear un plan de medidas que finalmente ha permitido obtener un valor promedio de 0,94 en el factor de potencia con lo cual se logra incrementar la eficiencia energética en esta industria. Se muestran además otras investigaciones en la temática con los cuales se contrastan los resultados de la presente investigación.

SUMMARY

The present thesis work is guided to the identification and correction of the factor of power in the plant of asphalt of the camp Dr. Pedro Aguirre of the Canton Catamayo. As starting point the values were used detected in the mensurations carried out by the personnel of the EERSSA in their procedures of mensurations to

clients, with that which could demonstrate that this indicator of energy quality has a value promedio 0.5 which is inferior to the permissible limit (0.92) for the regulations of the CONELEC, worsening the indexes of quality of energy of the electric system of this industry and causing penalizations for this concept. Using the methodology of the direct calculation of the capacity of the necessary bank of condensers to correct the factor of power and having in all the results of the study of the characteristics of the installed load, it could think about a plan of measures that finally has allowed to obtain a value average of 0.94 in the factor of power with that which is possible to increase the energy efficiency in this industry. They are also shown other investigations in the thematic one with which the results of the present investigation are contrasted.

c) INTRODUCCIÓN

El mundo contemporáneo asiste a uno de los mayores retos que han sido planteados al hombre como especie. La disyuntiva está en continuar manteniendo los niveles de consumo, mayoritariamente a costa de la naturaleza, o por el contrario ser más consecuentes con las actuales condiciones que se imponen en un planeta cada vez más globalizado.

Todo parece indicar que ante la magnitud del problema, por su esencia energético, la apuesta estaría en el desarrollo de fuentes alternativas de energía como la solar, la eólica, hidráulica, etc., que no consumen naturaleza. Sin embargo, en el momento actual el aporte que estas representan es aún limitado, más bien la solución habría que buscarla en la potenciación de la gestión energética y como parte sustancial de la misma, el incremento de la eficiencia energética en los procesos productivos industriales como lo es el mejoramiento del factor de potencia.

En este contexto resulta pertinente el desarrollo de investigaciones para el

mejoramiento de los índices de calidad de energía en el sector industrial. La planta de asfalto del campamento Dr. Pedro Aguirre del Cantón Catamayo, muestra valores promedio del factor de potencia de 0,5, el cual es inferior al límite permisible (0,92) por las regulaciones del CONELEC, empeorando los índices de calidad de energía del sistema eléctrico de esta industria y provocando penalizaciones por este concepto. La situación descrita fue detectada en mediciones realizadas por el personal de la EERSSA en sus procedimientos de mediciones a clientes.

En base a lo anterior se plantea el siguiente problema científico: ***“El factor de potencia en la Planta de Asfalto del Campamento Dr. Pedro Aguirre (0,50) se encuentra por debajo de los límites permisibles (0,92) en las regulaciones del CONELEC, lo cual empeora los índices de calidad de energía del sistema eléctrico de esta industria provocando penalizaciones por este concepto”***

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

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

La mayoría de las cargas industriales son de naturaleza inductiva. Precisamente las cargas inductivas son el origen del bajo factor de potencia, con los inconvenientes que esto ocasiona.

La investigación proporcionará el plan de medidas que en base al estudio de las características de la carga instalada en la Planta de Asfalto del Campamento Dr. Pedro Aguirre, posibilitará el incremento del factor hasta los valores aceptados por las regulaciones del CONELEC.

Objetivo general

- Proponer un plan de medidas que permita elevar el factor de potencia de la instalación

Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización del sistema eléctrico de la planta.
- Realizar mediciones de las principales variables del proceso eléctrico en la planta.
- Identificar los elementos que inciden en el bajo factor de potencia.
- Análisis técnico-económico de las variantes.
- Proponer un plan de medidas para corregir el factor de potencia.

d) REVISIÓN DE LITERATURA

1. Factor de potencia

Energéticamente hablando, el factor de potencia es la relación entre la potencia activa (que produce trabajo en la carga) y la potencia aparente del circuito:

$$\cos \varphi = fp = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{3}VI} = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} = \cos(\tan^{-1}(Q/P)) \quad (1)$$

Esta es la expresión del factor de potencia instantáneo en un momento dado. Sin embargo, considerando la variabilidad de la carga eléctrica en el tiempo, se

acostumbra a emplear el término de *factor de potencia medio pesado* para referirse a un valor constante que representa la relación entre la energía activa $E_a = (kWh)$ y la energía aparente $E_s = (kVAh)$ suministrada por la carga.

$$fp_{MP} = \frac{E_a}{\sqrt{E_a^2 + E_r^2}} = \cos(\tan^{-1}(E_r/E_a)) \quad (2)$$

Donde:

$$\sqrt{E_a^2 + E_r^2} = E_s \quad (3)$$

El factor de potencia medio pesado es el que corrientemente se emplea por las empresas distribuidoras de energía eléctrica para facturar la energía que se suministra a una empresa industrial dada.

Por otra parte, se habla de *factor de potencia natural* de una instalación, cuando se refiere al factor de potencia instantáneo o medio pesado de dicho circuito sin considerar el efecto de los motores sincrónicos, capacitores u otros equipos compensadores del factor de potencia instalados, mientras que cuando se consideran dichos equipos se habla de *factor de potencia global* o simplemente *factor de potencia* de la instalación.

2. Inconvenientes de un bajo factor de potencia.

Una instalación industrial común tiene un factor de potencia natural que puede ser relativamente bajo, en el rango de 0.6 a 0.8 inductivo. Este bajo factor de potencia se debe a la presencia de motores asíncrónicos subcargados, el uso de convertidores electrónicos para el suministro de corriente directa, la utilización de dispositivos de inducción, de unidades de climatización, y el empleo de lámparas fluorescentes. En la medida en que la planta está más motorizada, puede esperarse un empeoramiento del factor de potencia, a menos que se tomen

medidas correctivas.

La potencia aparente y, como consecuencia, la corriente de la carga depende inversamente del factor de potencia de la misma:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \text{ (VA)} \quad (4)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \varphi} \text{ (A)} \quad (5)$$

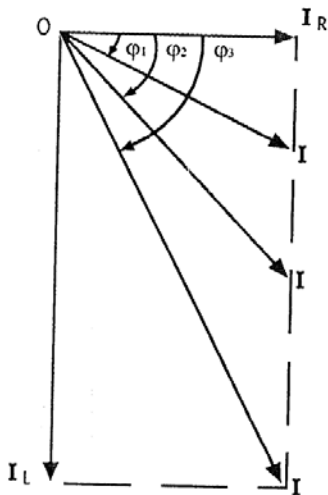


Figura 1. Disminución del factor de potencia al incrementarse la corriente reactiva I_L .

Del análisis de las expresiones 4 y 5 puede concluirse que un bajo factor de potencia incrementa la corriente. Gráficamente esto se pudo observar en la Figura 1, donde se evidencia que cuanto mayor sea la corriente reactiva inductiva I_L para una misma potencia activa (I constante), mayor es el ángulo φ y por tanto, más bajo el factor de potencia. Como consecuencia, se produce un incremento en la corriente total I .

El incremento de la corriente produce serios inconvenientes (no sólo para el

usuario sino también para la empresa que suministra energía eléctrica), como los que se describen a continuación:

a) Disminución de la capacidad de los equipos de generación, distribución y maniobra de la energía eléctrica.

Muchos equipos eléctricos, como son los generadores, transformadores, conductores, seccionadores, fusibles, interruptores automáticos, etc., se dimensionan a partir de una capacidad de corriente. El incremento de la corriente debido a un bajo factor de potencia aumenta la carga térmica de los equipos que suministran o permiten el paso de dicha corriente, produciendo fallas, reducción de la vida útil, operaciones inadecuadas, etc.

Esto puede obligar, por ejemplo, a utilizar conductores de mayor calibre, transformadores de mayor capacidad que serán, por lo tanto, más caros. En la Figura 3.2, se muestra una gráfica de un transformador, donde se puede observar cómo su capacidad depende del factor de potencia. Para valores reducidos de éste, la carga útil del equipo se ve notoriamente disminuida.

b) Incremento en las pérdidas de potencia y energía

Las pérdidas de potencia y energía en transformadores, cables y otros elementos del sistema dependen de la circulación por dichos elementos, tanto de la potencia activa como reactiva de las cargas. Así, como ya se había planteado anteriormente, las pérdidas de energía P (W) son:

$$\Delta P = 3I^2 R = 3 \left[\frac{P}{\sqrt{3}V \cos \varphi} \right]^2 R = \frac{P^2}{V^2 \cos^2 \varphi} R \quad (6)$$

$$\Delta P = 3 \left[\frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}V} \right]^2 R = \frac{P^2 + Q^2}{V^2} R \quad (7)$$

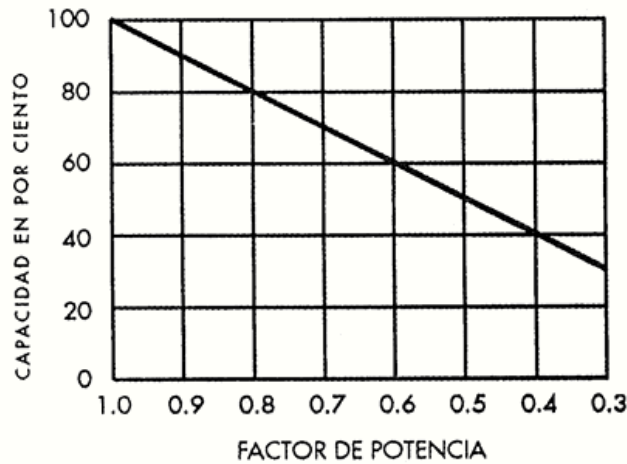


Figura 2. Influencia del factor de potencia en la capacidad de un transformador

Un bajo factor de potencia provoca un incremento apreciable de las pérdidas de potencia en los elementos serie y por ende, en las pérdidas de energía.

c) Deficiente regulación de tensión.

La caída de tensión en un elemento serie determinado (cable, transformador, etc.), se define como la diferencia entre los valores modulares de fase a neutro de la tensión en el lado de la fuente V_s y en el lado de la carga V_r :

$$\Delta V = V_s - V_r \text{ (V)} \quad (8)$$

En forma general, la caída de tensión de una fase a neutro en una línea que tiene una resistencia R y reactancia X , depende de la corriente I circulante y su factor de potencia. Se demuestra que la caída de tensión depende en forma exacta de la expresión:

$$\Delta V = V_s + IR \cos \varphi + IX \sin \varphi - \sqrt{V_s^2 - (IX \cos \varphi - IR \sin \varphi)^2} \quad (9)$$

O de forma aproximada mediante:

$$\Delta V \approx IR \cos \varphi + IX \sin \varphi \quad (10)$$

Y como:

$$I = \frac{P}{V \cos \varphi} = \frac{Q}{V \sin \varphi} \quad (11)$$

Queda que:

$$\Delta V \approx \frac{RP + XQ}{V} \quad (12)$$

Debido a que la reactancia inductiva es generalmente mayor que la resistencia, las caídas de tensión en los elementos del sistema dependen primordialmente de la magnitud de la potencia reactiva circulante. De esta forma, si las cargas tienen bajo factor de potencia, pueden esperarse caídas de tensión más pronunciadas en transformadores y cables.

d) Incremento en la factura de energía eléctrica

Por lo anteriormente visto, un bajo factor de potencia significa energía desperdiciada y afecta a la adecuada utilización del sistema eléctrico. Por esta razón, en las tarifas eléctricas se imponen cuotas a manera de multas si el factor de potencia es menor que cierta cifra.

3. Regulaciones y normativas del CONELEC referente a la calidad de la energía y el factor de potencia

La norma IEC (61000-2-2/4) y la norma CONELEC (50160) definen la Calidad de

la Energía Eléctrica como: "Una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo"

Para garantizar a los consumidores un suministro eléctrico continuo y confiable, fue necesario dictar regulaciones relacionadas con los estándares mínimos de calidad y procedimientos técnicos de medición y evaluación a los que deben someterse las empresas distribuidoras del servicio eléctrico, los mismos que fueron emitidos y aprobados por el CONELEC, nos referimos a la Regulación 004/01.

Por lo tanto el CONELEC con esta regulación, controla y vigila a las empresas eléctricas del Ecuador, la calidad de Servicio eléctrico, que ofrecen, y se medirán considerando los siguientes aspectos:

Calidad del Producto

La calidad del producto técnico que se controlarán son el nivel de voltaje, las perturbaciones y el factor de potencia, siendo el Distribuidor responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago a los mismos. Toda la información deberá estar a disposición del CONELEC al momento que se le requiera.

Calidad del Servicio Técnico

La calidad del servicio técnico prestado se evaluará sobre la base de la frecuencia y la duración total de Interrupción.

Durante la subetapa 1 se efectuarán controles en función a Índices Globales para

el distribuidor discriminando por empresa y por alimentador de MV. El levantamiento de información y cálculo se efectuará de forma tal que los indicadores determinados representen en la mejor forma posible la cantidad y tiempo total de las interrupciones que afectan a los consumidores. Para los consumidores con suministros en Media tensión o en Alta tensión, se determinarán índices individuales.

En la subetapa 2 los indicadores se calcularán a nivel de consumidor, de forma tal que se determine la cantidad de interrupciones y la duración total de cada una de ellas que afecten a cada consumidor.

El período de control será anual, por tanto, los Distribuidores presentarán informes anuales al CONELEC, especificando las interrupciones y los índices de control resultantes. Sin embargo de lo anterior, los cálculos de los índices de calidad se efectuarán por cada mes del año considerado y para el año completo.

Calidad del Servicio Comercial

Las empresas eléctricas de distribución tienen la obligación de proveer, además del suministro de la energía eléctrica, un conjunto de servicios comerciales relacionados, necesarios para mantener un nivel adecuado de satisfacción a los consumidores.

La calidad del servicio comercial al consumidor, que debe ser cumplida por el distribuidor, responderá a los siguientes parámetros:

- a) Niveles Individuales de Calidad Comercial: Son aquellos vinculados a las prestaciones garantizadas a cada Consumidor.
- b) Niveles Globales de Calidad Comercial: Se corresponden con metas de calidad para todo el Distribuidor.

Normativas referidas al factor de potencia

Para efectos de la evaluación de la calidad en cuanto al factor de potencia, si en el 5% de o más del periodo evaluado el factor de potencia es inferior a los límites el consumidor estará incumpliendo con el índice de calidad, con lo cual será penalizado en un valor correspondiente el porcentaje de incumplimiento multiplicado por el valor de la facturación.

Mediciones

Adicionalmente a las disposiciones que constan en el artículo 12 del Reglamento de Suministro de Electricidad, el distribuidor efectuará registros del factor de potencia en cada mes, en el 2% del número de consumidores servidos en AV y MV. Las mediciones se harán mediante registros en periodos de 10 minutos con régimen de funcionamiento y carga normales por un tiempo no menor a siete días.

Límites

Según la REGULACIÓN 004/01 del CONELEC el valor mínimo permisible del factor de potencia es 0.92.

4. Métodos para corrección del factor de potencia.

El mejoramiento del factor de potencia en la industria o los servicios, 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 considerados dentro de los grupos generales siguientes:

a) Reducción del consumo de potencia reactiva, sin la aplicación de medios compensadores

b) Con la aplicación de medios compensadores

a) 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:

- Ordenamiento del proceso tecnológico.
- Selección correcta del tipo de motor.
- Sustitución de los motores asíncronos subcargados por otros de menor potencia.
- Reducción de la tensión de los motores que sistemáticamente trabajan con poca carga.
- Limitación del trabajo de los motores en vacío.
- Sustitución de motores asíncronos por motores síncronos.
- Elevación de la calidad de la reparación de los motores.
- Sustitución de los transformadores subcargados.

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.

Selección correcta del tipo de motor

Los motores asincrónicos de alta velocidad y gran potencia poseen un mayor factor de potencia, como se puede observar en las curvas típicas de motores estándar que se muestran en la Figura 3.3. 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.

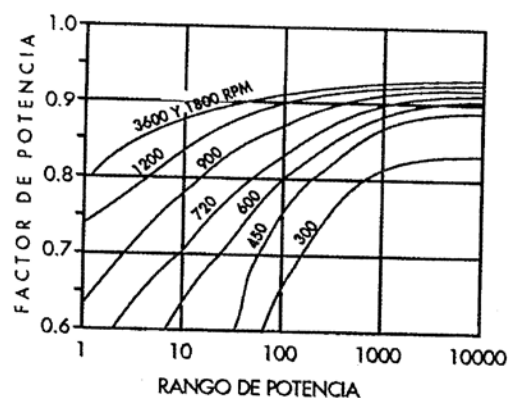


Figura 3. Curvas típicas de motores trifásicos asincrónicos estándar, donde se observa la variación del factor de potencia con respecto a la velocidad sincrónica y

la potencia del motor en hp.

Sustitución de los motores asíncronos subcargados por otros de menor potencia

Los motores que operan con bajas cargas disminuyen su factor de potencia. En la Figura 4 se tiene una curva característica para un motor estándar 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.

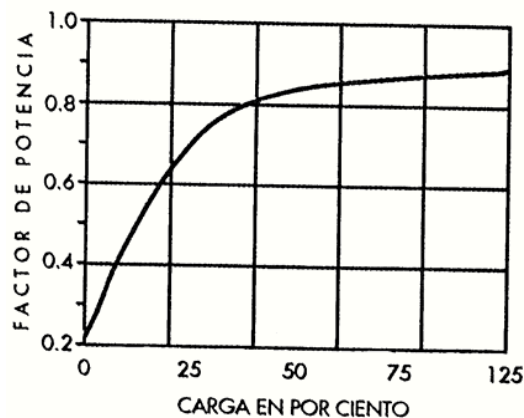


Figura 4. Variación del factor de potencia con la carga de un motor asíncrono

Reducción de la tensión de los motores que sistemáticamente trabajan con poca carga

Por esto, es importante adecuar la capacidad de los motores a sus cargas reales y evitar su operación prolongada en vacío. Desde luego, siempre se requerirá de un adecuado análisis técnico económico de cualquier medida de sustitución de motores en operación, que deberá incluir la valoración de los costos de mejorar el factor de potencia con el uso de medios compensadores, sin sustituir el motor.

Ante la imposibilidad técnica o económica de sustituir motores asíncronos subcargados, se debe estudiar la conveniencia de la reducción de la tensión hasta un determinado valor mínimo permisible, lo 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 de la tensión:

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

La reconexión puede ser recomendada para motores de baja tensión 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 de la tensión 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 los otros receptores que alimente el transformador, por sus características y regímenes de trabajo, admitan la reducción de la tensión aplicada a sus terminales.

d) Aprovechamiento del uso de arrancadores suaves (softstarters) y variadores de velocidad

El las situaciones en que resulta conveniente, técnica y económicamente, emplear arrancadores suaves o variadores de velocidad con los motores asíncronos, la posibilidad que la mayoría de estos equipos brinda de reducir la tensión cuando los motores trabajan con carga reducida, permite (además de sus otras ventajas) mejorar el factor de potencia y el consumo de energía.

Limitación del trabajo de los motores en vacío

El trabajo de muchos motores asíncronos se caracteriza porque en los intervalos entre cargas ellos operan en vacío. En no pocas aplicaciones, el tiempo de trabajo de los motores en vacío llega a ser del 50 - 60 % del tiempo total del ciclo. Si los intervalos de trabajo en vacío son suficientemente grandes, resulta conveniente desconectar el motor de la red durante este tiempo. Esto disminuirá el consumo de potencia activa y, particularmente, de potencia reactiva.

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 tamaño 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 volverá sobre este asunto.

Elevación de la calidad de la reparación de los motores

Una reparación deficiente, puede provocar (entre otras cosas) una disminución del factor de potencia en los motores, debido al incremento de la corriente en vacío. Además, defectos en la reparación pueden producir desbalances y otros fenómenos que reducen el factor de potencia y provocan un incremento de las pérdidas. Es necesario que la reparación se realice en talleres que apliquen los procedimientos adecuados 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 en la mayoría de los casos de utilidad económica.

b) Con la aplicación de medios compensadores

Usualmente 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 a la tensión, 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 3.5 se observa cómo la potencia reactiva capacitiva $kVAR_C$ reduce el requerimiento de potencia reactiva total ($kVAR_L - kVAR_C$) disminuyendo tanto el ángulo ϕ como la potencia kVA.

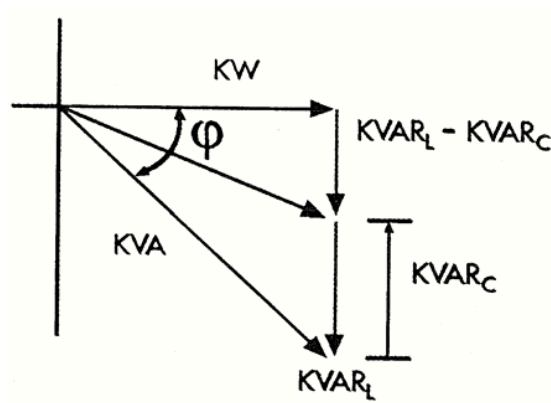


Figura 5. Efecto de los $kVAR_C$ sobre los $kVAR_L$ en una instalación.

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

Equipos compensadores de potencia reactiva

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

- 1) Bancos de capacitores estáticos.
- 2) Condensadores sincrónicos (motores sincrónicos sobreexcitados).

3) Compensadores activos (basados en electrónica de potencia: SVC, FACTS, etc.).

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

5. Ventajas técnico económicas del aumento del factor de potencia.

Ahorro en el pago de la factura de electricidad.

El objetivo principal de la utilización de los condensadores industriales es la reducción de los costos de la energía, eliminando la penalización por bajo factor de potencia que es parte de las normativas del CONELEC.

Normalmente la inversión en condensadores se recupera en un periodo de 1 a 3 años lo cual representa una tasa de retorno del capital mayor del 30%. La tasa de retorno dependerá del costo de los capacitores y el nivel de voltaje requerido y la cláusula de penalización por bajo factor de potencia.

Una regla bastante utilizada para mejorar el factor de potencia a valores entre 90 y 95%, sin embargo, la mejor forma de determinar los kVAR. De los condensadores es calcular la tasa de retorno y ahorro de Bs. Para varios valores del factor de potencia.

Mejora de la eficiencia eléctrica.

Otras ventajas de la corrección del factor de potencia se relacionan con el mejor comportamiento del equipo eléctrico al trabajar sin grandes cargas con exceso de potencia reactiva.

Liberación de capacidad del sistema.

La potencia reactiva usada por circuitos inductivos consiste de una corriente reactiva o corriente magnetizante multiplicada por el voltaje del sistema. La potencia reactiva total (y la corriente) aumentan mientras el factor de potencia decrece, cuando la cantidad de elementos inductivos que requiere potencia reactiva se incrementa. Cada elemento inductivo añadido al sistema contribuye a los requerimientos de potencia reactiva totales.

Cuando el factor de potencia es mejorado, la cantidad de corriente reactiva que fluía a través de los transformadores, alimentadores, tableros, cables es reducida. Los condensadores para corrección de factor de potencia, conectado directamente a los terminales de las cargas inductivas tales como los motores, generan la mayor o toda la potencia reactiva necesaria para crear el campo magnético de los motores y así reduce o elimina la necesidad de suplir potencia desde el sistema de distribución.

Por ejemplo, si cuatro motores operan a un factor de potencia de 75%, la corriente del factor de potencia a 95%, liberara suficiente capacidad del sistema para instalar un motor adicional del mismo tamaño.

Donde los transformadores y circuitos estén sobrecargados los condensadores de potencia instalados en varias fuentes de carga inductiva pueden liberar capacidad del sistema y permitir servicios o aumentos de cargas. La instalación de los condensadores de potencia puede, en algunas circunstancias eliminar la necesidad de instalar grandes transformadores de potencia, recablear una planta o posiblemente ambas cosas.

Mejoramiento de las condiciones de voltaje.

Un bajo factor de potencia puede reducir voltajes en la planta cuando los kVAR son exigidos del sistema de distribución. Cuando el factor de potencia decrece, la

corriente total del línea se incrementa (mayormente corriente reactiva) causando grandes caídas de voltaje a través de la impedancia de línea. Esto se debe a que la caída de voltaje en una línea es igual a la corriente que fluya multiplicada por la impedancia de la línea. Para mayores corrientes mayor será la caída de voltaje.

Reducción de las pérdidas de potencia.

El bajo factor de potencia también puede causar pérdidas de potencia en el sistema de distribución interno de la planta. La corriente en los alimentadores es alta debido a la presencia de la corriente reactiva. Cualquier reducción en esta corriente resulta en menores kW perdidos en la línea.

Los condensadores de potencia, reduciendo o eliminando la corriente reactiva en los alimentadores, pueden ahorrar una cantidad significativa de dinero al reducir la facturación de los kWh.

6. Experiencias sobre el mejoramiento del factor de potencia

En el campo de investigación de la corrección del factor de potencia y la calidad de energía se han desempeñado algunos investigadores dentro del país, siendo los aportes más valorados los siguientes trabajos:

1. **Título:** Análisis de la calidad de la energía eléctrica y estudio de carga de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca

Autor: SarmientoJadán Freddy

Fecha de publicación: 30-abr-2009

Resumen: Esta tesis tiene por finalidad realizar un análisis de la calidad de la energía eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. En la misma se analizaron los parámetros de calidad de la energía y los mismos fueron contrastados con la Regulación CONELEC - 004/01, la cual establece los límites permitidos para cada una de estas anomalías.

Realizado el análisis se sugirió implementar algunas medidas para corregir estas anomalías en el suministro de energía y mejorar la calidad de las instalaciones eléctricas de la UPS. Entre algunas están readecuar las instalaciones eléctricas de la institución e instalar algunos equipos, los mismos como son bancos de capacitores automáticos Varplus2 y filtros activos ACCUSINE PCS, de la familia Schneider Electric.

2. **Título:** Análisis y estudio energético para mejorar la calidad del servicio eléctrico en la fábrica textil San Pedro.

Autor: Palacios Jiménez Víctor Manuel

Fecha de publicación: febrero-2009

Resumen: En este trabajo se expuso las condiciones mínimas de calidad de energía presentes en una instalación, a la vez que se desarrollo un minucioso diagnóstico energético que arrojó las principales dificultades de operación de la industria así como los puntos donde se hacía vulnerable la calidad de la energía.

Se concluyó con un con un plan de medidas el cual detalló las medidas organizativas y de inversión que contribuirían a la elevación de la calidad del suministro eléctrico en la planta.

3. **Título:** Determinación de la calidad de la energía del sistema eléctrico de potencia en la sociedad de lucha contra el cáncer – SOLCA - 2007

Autor: Heras P. Wilmer

Fecha de publicación: 5-oct-2010

Resumen: Se investigó los conceptos de la calidad de la energía eléctrica, ya que los niveles de perturbación aceptados internacionalmente nos sirvieron de base para comparar los con los medidos en la Sociedad de Lucha contra el Cáncer SOLCA. Las perturbaciones están clasificadas en siete parámetros que son: transitorio, variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, desbalance de tensión, distorsión de la forma

de la señal, fluctuaciones y variaciones de frecuencia en la red. De la misma manera se investigó la normalización que existe en nuestro país llegando a encontrar que el ente encargado es el CONELEC y los parámetros de calidad que se controlan son: calidad del servicio técnico, calidad del servicio comercial y calidad del producto; este último parámetro es el que nos servirá de referencia para el desarrollo del proyecto. En la calidad del producto se controla el nivel de voltaje, perturbaciones y factor de potencia. Al final de los cálculos se cuantificó la cantidad de equipos y luminarias que se necesitarían para mejorar el nivel de iluminación. Se hizo el análisis del costo beneficio para el hospital y una vez más se vio que la alternativa mejoraba los niveles de iluminación y a su vez disminuía el consumo de energía, que a la final este dinero ahorrado costearía el gasto de comprar más equipos y luminarias. Se indicaron algunas recomendaciones para mejorar la eficiencia del sistema de iluminación de SOLCA.

4. **Título:** Estudiopara mejorar la calidad de energía en el mixer de la planta de asfalto

Autor: Ing Paute Jorge

Fecha de publicación: julio-2010

Resumen: en este trabajo se analizó solamente la calidad de energía del mixer de la planta de asfalto que es objeto de nuestra investigación. Actualmente el Mixer de la planta de asfalto tiene servicio de energía a través de un centro de transformación una cabina de 300 kVA, 13.200/440V, DY5, BIL 115, SICAP 13693 (P), la carga consiste en 21 motores monofásicos y trifásicos, variando su potencia de 1/4 Hp hasta 40 Hp, iluminación interna y externa, de los cuales 4 motores tienen control de velocidad, con horario de trabajo de 08h00 a 16h00 de lunes a viernes.

En este trabajo se analizaron las principales causas que influyen en la baja calidad de energía de este proceso de la planta así como se proponen medidas para elevar la calidad del suministro.

Desde el punto de vista de calidad de energía se han llevado a cabo varios trabajos que abordan desde diferentes ámbitos esta problemática, pero muy pocos se centran en el análisis detallado del factor de potencia y los inconvenientes que una reducción en sus niveles traería a una instalación eléctrica industrial. El más importante de estos trabajos es una investigación realizada para elevar el factor de potencia de la mecánica del señor Carlos Medina. El señor Carlos Medina, es propietario de una Mecánica en el sector de Cumbaratza, Provincia de Zamora Chinchipe, la misma que es alimentada eléctricamente mediante un banco de 2 transformadores con conexión estrella-delta abierta con capacidad de 15 kVA cada uno, estos transformadores son de propiedad del Sr. Carlos Medina y su Medidor de Energía es el # 32209, este Transformador se encuentra instalado en el Alimentador primario # 23-21 CUMBARATZA en la estructura tipo RRC que se encuentra en las coordenadas: 17 735948 E, 9557375 N a 893 msnm, de acuerdo al plano y fotografías.

Por razones de que se le envió al Sr un oficio de la EERSSA comunicándole sobre el bajo factor de potencia que presenta su instalación y unido esto a la elevación de la factura por concepto de penalización por bajo factor de potencia se concibió la idea de realizar un estudio para instalar en el local un banco de capacitores que contribuyera a elevar el factor de potencia por encima de las especificaciones técnicas de la EERSSA (0,92 mínimo).

Para el cálculo de los kVAR necesarios para corregir el factor de potencia fueron utilizados los datos de potencia activa efectiva del negocio del Sr Carlos Medina proporcionado por la EERSSA es decir un factor de potencia medio en la instalación de 0.50.

Luego se pasó al cálculo de kVAR para la corrección, para esto se determina el factor de potencia promedio existente en la instalación, al que se le denominará $\cos \varphi_1$. La potencia reactiva necesaria de los capacitores, para corregirlo a un nuevo valor de $\cos \varphi_2$, se puede calcular aplicando directamente la siguiente expresión derivada de las relaciones del triángulo representativo de la potencia aparente, activo y reactivo:

$$Q_c = kW_{\text{máx}} * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Los datos necesarios para el cálculo se describen a continuación en la siguiente tabla:

		Ángulo de φ	Tangente del ángulo φ
Fp a mejorar (φ_1)	0,50	60	1.73
Fp mejorado (φ_2)	0,95	18	0.32

Se decidió elevar el FP al valor de 0.95 para tener una reserva pues según los requerimientos técnicos de la EERSSA el mínimo factor de potencia sin penalización es de 0.92. Para la selección de la potencia activa requerida para el cálculo se tomó la potencia efectiva máxima medida en el medidor del Sr Carlos Medina con número 32209 la cual es de 14 kW.

Después de aplicados los cálculos se determinó que la potencia reactiva necesario para corregir el factor de potencia de la instalación era de 19.7 kVAR, por lo cual se determinó instalar el banco de capacitores automático de 3 pasos el primero de 3 kVAR, el segundo de 6 kVAR (total 9 kVAR) y el tercero 12 kVAR (total 21 kVAR).

e) MATERIALES Y MÉTODOS

1. Cálculo del reactivo necesario para corregir el factor de potencia de una instalación.

Cuando la carga total de una planta 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 (kVAR) puede realizarse a partir de la factura eléctrica. Pero en los casos donde el proceso productivo requiere un trabajo discontinuo la variación de potencia puede provocar errores a la hora de aplicar el método antes expuesto, por lo cual determinamos realizar el cálculo mediante el método directo.

Para esto se escoge el mes donde el valor de energía reactiva sea más elevado y se toman el valor máximo de potencia activa obtenida. Se determina el valor 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 factor de potencia $cos\phi_2$, se puede calcular aplicando directamente la siguiente expresión derivada de las relaciones del triángulo representativo de potencia aparente, activa y reactiva:

$$KVARc = KW(tan\phi_1 - tan\phi_2) \quad (13)$$

Donde

$$tan\phi_1 = \tan(\cos\phi_1^{-1}) \quad (14)$$

Igualmente pueden hacerse cálculos y análisis semejantes en ramales y cargas de gran capacidad siempre y cuando presenten las mismas características antes mencionadas.

2. ¿Dónde instalar los capacitores?

Para la instalación de los capacitores deberán tomarse en cuenta diversos factores que influyen en su ubicación como lo son: La variación y distribución de cargas, el factor de carga, tipo de motores, uniformidad en la distribución de la carga, la disposición y longitud de los circuitos y la naturaleza del voltaje. Se puede hacer una corrección del grupo de cargas conectando en los transformadores primarios y secundarios de la planta, por ejemplo, en un dispositivo principal de distribución o en una barra conductora de control de motores.

La corrección de grupo es necesaria cuando las cargas cambian radicalmente entre alimentadores y cuando los voltajes del motor son bajos, como por ejemplo, 440V.

Cuando los flujos de potencia cambian frecuentemente entre diversos sitios de la planta y cargas individuales, se hace necesario efectuar la corrección primero en una parte de la planta, verificar las condiciones obtenidas y después compensar en la otra. Sin embargo, es más ventajoso usar un capacitor de grupo ubicado lo más equidistante que se pueda de las cargas. Esto permite la desconexión de una parte de los capacitores de acuerdo a condiciones específicas de cargas variables.

Cuando la longitud de los alimentadores es considerable, se recomienda la instalación de capacitores individuales a los motores, por supuesto se necesitarán varios condensadores de diferentes capacidades, resultando esto en un costo mayor. Sin embargo deberá evaluarse el beneficio económico obtenido con la compensación individual. Considerando que el costo de los capacitores para bajos

voltajes es más del doble que los de altos voltajes. Por esto, cuando el voltaje de los circuitos de motores es de 440 V, es más económico usar una instalación de grupo si es que ésta se puede efectuar en el primario a 2.400 ó 4.160 V. Debemos también considerar que, cuando los capacitores se instalan antes del banco principal de transformadores, éstos no se benefician y no se alivia su carga en kVA. Esta es una buena razón para usar capacitores de 440 V a pesar de su alto costo.

Los beneficios que los condensadores en paralelo y los motores sincrónico dan al sistema es el de proveer una base para la reducción de los kVAR. Estos beneficios se manifiestan en una reducción de sus facturas de electricidad, liberación de capacidad de kVA en el sistema, mejoramiento de voltaje y reducción de pérdidas. En sistemas de 240 a 600 voltios y siempre que sea posible, los condensadores deben ser localizados en o cerca de las cargas a fin de obtener el mínimo costo y los máximos beneficios. En el caso de motores sincrónicos, no es fácil lograr esta flexibilidad; usualmente los motores sincrónicos son de gran potencia y no son económicos para la operación a 240 o 480 voltios, que es el voltaje común en las plantas industriales. Sin embargo siguen vigentes los principios ya mencionados, esto es corrección a la carga cuyo factor de potencia se desea mejorar.

Correcciones aisladas

La corrección aislada del factor de potencia se debe hacer conectando los capacitores tan cerca como sea posible de la carga o de las terminales de los alimentadores. Debe recordar que la corrección se lleva a cabo sólo del punto considerado a la fuente de energía y no en dirección opuesta. Los capacitores instalados cerca de las cargas pueden dejar de operar automáticamente cuando las cargas cesan, incrementan el voltaje y por ende el rendimiento del motor

3. Instrumento de medición.

La energía eléctrica se caracteriza por ser una onda perfecta, pero esta se ve afectada por diferentes anomalías que hacen que estas se distorsionen y difiera como era originalmente, todas estas variaciones que se producen en la señal de energía eléctrica, hacen que el sistema comience a dar problemas en la operación de los equipos conectados al suministro, mal funcionamiento de protecciones eléctricas, calentamiento anormal de los conductores eléctricos, e interrupción del suministro de energía eléctrica. Estas anomalías están determinadas en el mayor parte de los casos por la baja en la calidad de la energía que produce un bajo factor de potencia.

Con el objetivo de obtener un valor real de medición para esta variable eléctrica nos valemos de alguno de los equipos o analizadores eléctricos, los cuales nos sirven para realizar un monitoreo y también llevar un registro de la calidad de la energía; un analizador eléctrico de calidad de suministro, debe ser capaz de analizar por sí mismo todos los fenómenos eléctricos no deseados que podrían afectar a la carga y/o a la fuente suministradora de la energía eléctrica.

En el caso de sistemas de corriente alterna, estos equipos deberán ser capaces de mostrar en pantalla en tiempo real a la onda variable en el tiempo (voltaje corriente) con todas las perturbaciones asociadas a esta, con un muestreo superior a las 128 muestras por ciclo eléctrico (1 Hz) y por canal de medida, sin multiplexación de ningún tipo de los muestreos de los diversos canales, analizando los ciclos pre y post evento. También es necesario que los eventos se categoricen, para su análisis independiente e interpretación correcta de resultados.

Los equipos o tecnologías empleados para llevar el registro y monitoreo de las

principales variables eléctrica de una instalación son numerosos, pues muchas casas comerciales han lanzado sus propias unidades para lograr este fin.

A continuación realizaremos una descripción general del analizador registrador de potencia y energía PQ55A el cual fue el principal útil en esta aplicación.

El modelo PQ55A ofrece supervisión, registro y análisis en tiempo real de sistemas trifásicos. El juego completo incluye la unidad principal portátil, 4 sondas de corriente, cables de prueba con pinzas de cocodrilo, cable RS232 y CD software, amplio estuche de transporte flexible con compartimentos y manual de uso.

Entre sus características están:

- Supervisión, registro y análisis completos en tiempo real de sistemas trifásicos.
- Medida de corriente y tensión de verdadero valor eficaz.
- Resultados de factor de potencia y ángulo de fase.
- Análisis de potencia (aparente, activa y reactiva).



Analizador registrador de potencia y energía PQ55A.

4. Medición de las variables eléctricas del sistema

Los valores de las variables del sistema eléctrico de la instalación se obtuvieron a través de mediciones in situ utilizando el analizador antes detallado. Las mediciones fueron realizadas en el trimestre julio, agosto y septiembre durante los cuales se realizaron mediciones diarias con intervalos de toma de datos instantáneos de 15 minutos. Los variables medidas para la realización de este estudio fueron:

- Potencia aparente representada por S y con unidad de kVA. Esta representa la totalidad de la potencia utilizada en la instalación.
- Potencia activa representada por P y con unidad de kW. Esta variable muestra la potencia útil consumida por los receptores de energía.
- Potencia reactiva se representa por Q y se muestra con unidad kVAR. Esta simboliza el reactivo o sea potencia de residuo consumido fundamentalmente por los motores eléctricos de la instalación.
- Factor de potencia. Esta unidad es el coseno del ángulo formado por las potencias aparente y activa y simboliza el grado de utilización de potencia útil en la instalación.

Con estas variables se elaboró un detallado perfil de carga que constituyó la base de datos fundamental para nuestra investigación. Según los datos obtenidos relacionamos los principales datos seleccionados para el cálculo de los kVAR necesarios para corregir el factor de potencia, estos fueron:

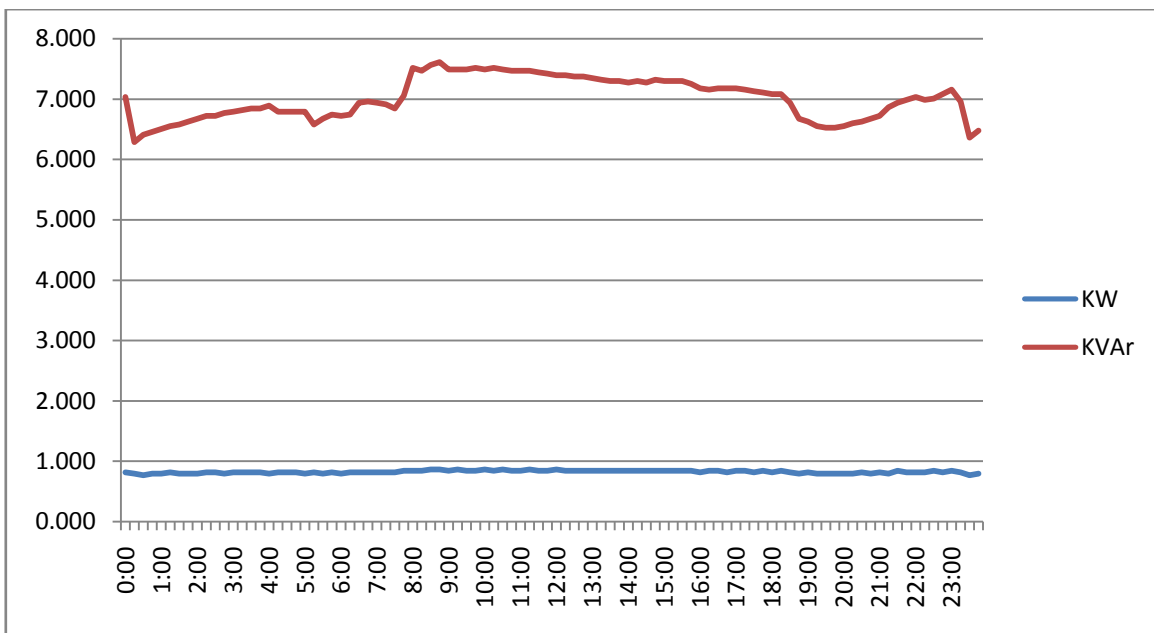
- Potencia activa máxima de la instalación. Esta resultó ser igual a 183 kw lo cual representa menos del 50% de la potencia instalada al sistema.
- Factor de potencia promedio de la instalación. Para este valor relacionamos los valores obtenidos del factor de potencia. Las mediciones útiles obtenidas mostraron una variación comprendida entre los valores 0.20 y 0.75 por lo cual tomamos un valor promedio de 0.50. Otros valores

comprendidos en valores por debajo de 0.15 fueron desechados mediante filtrado por estar influenciados por mediciones anómalas.

f) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Resultados obtenidos

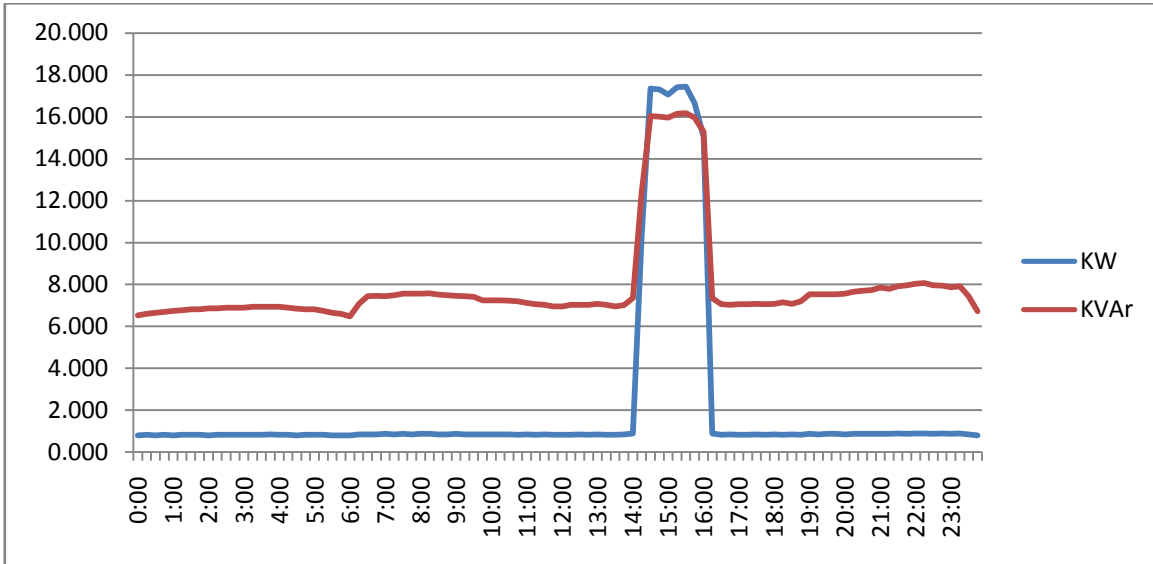
Para la obtención de resultados elaboramos un perfil de carga y con el objetivo de optimizar los cálculos utilizamos el teorema de Pareto y escogimos la semana donde los valores de potencia activa y reactiva fueron más elevados. A continuación mostramos los diagramas de carga de las potencias activas y reactivas durante la semana comprendida en los días 5 de septiembre y 11 de este mismo mes:



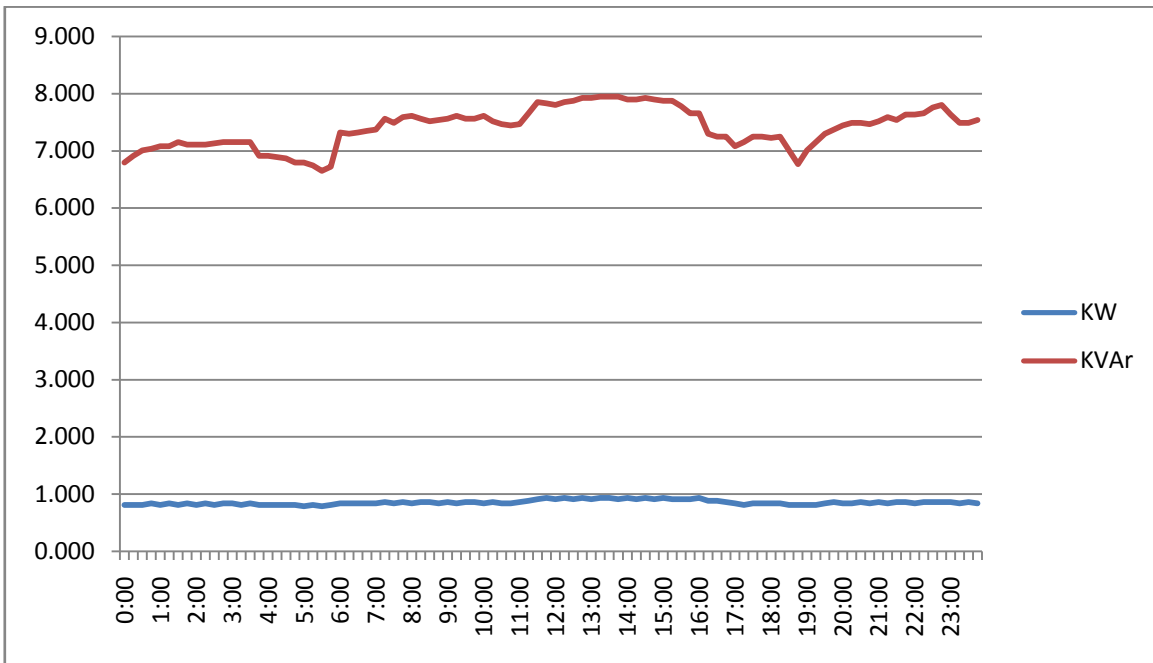
Domingo 5 de septiembre 2010

ESTUDIO PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA EN LA PLANTA DE ASFALTO DEL CAMPAMENTO DR. PEDRO AGUIRRE

Ing. Carlos Fidel Ojeda Ordoñez
Ing. Robert Steve Vega Rosales



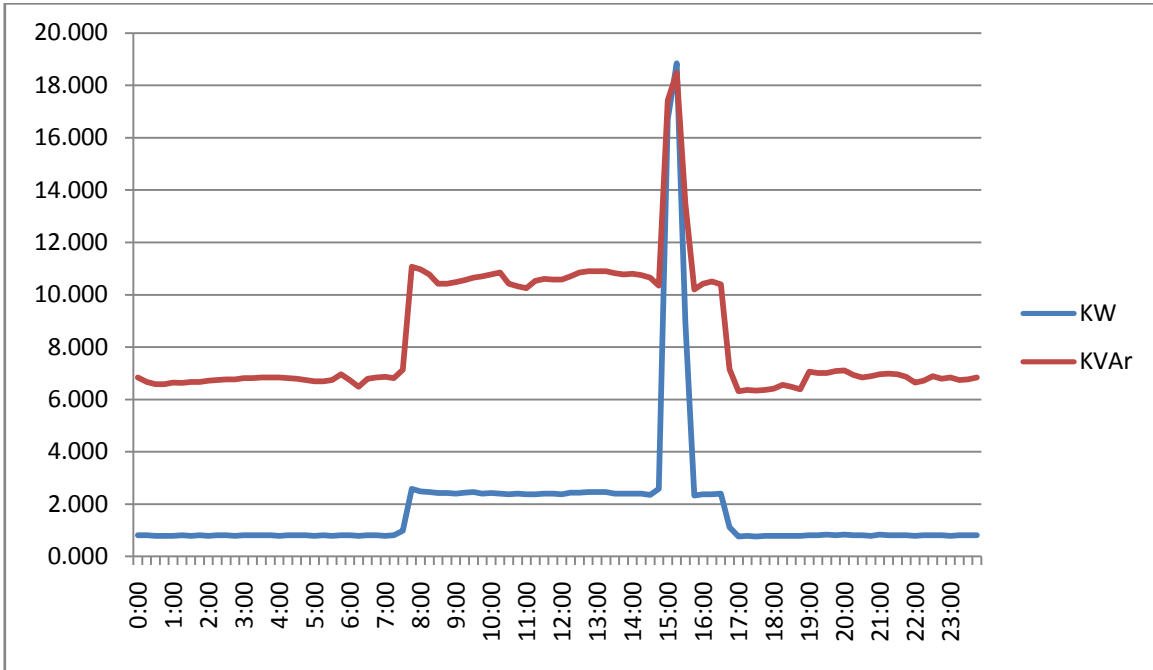
Lunes 6 de septiembre 2010



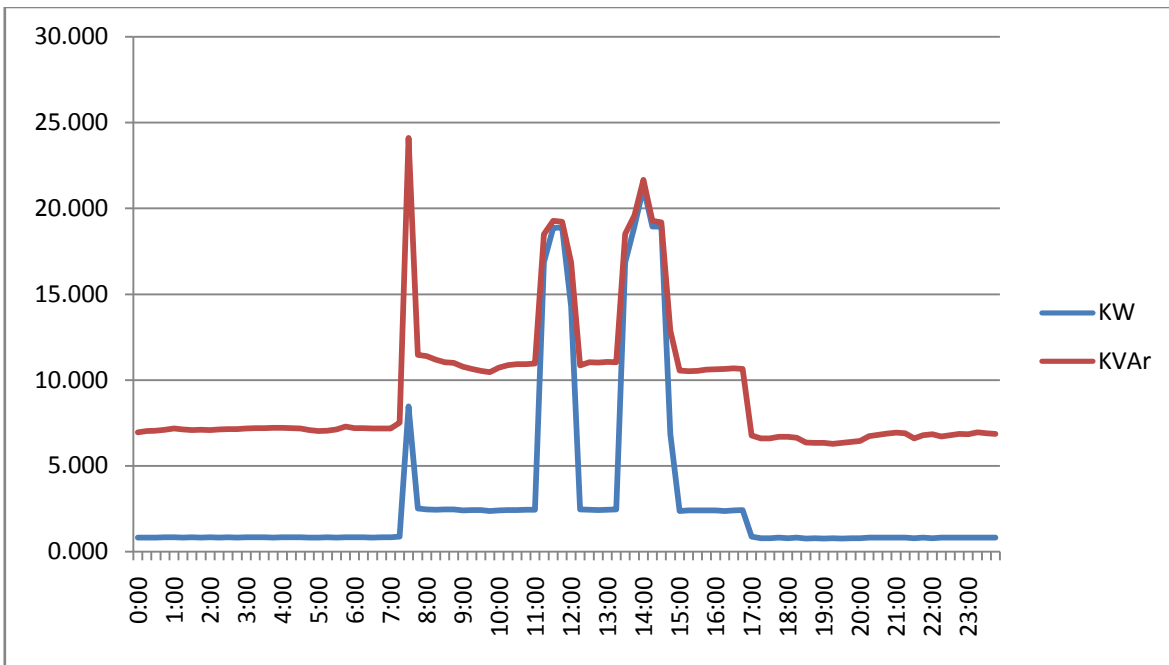
Martes 7 de septiembre 2010

ESTUDIO PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA EN LA PLANTA DE ASFALTO DEL CAMPAMENTO DR. PEDRO AGUIRRE

Ing. Carlos Fidel Ojeda Ordoñez
Ing. Robert Steve Vega Rosales



Miércoles 8 de septiembre 2010

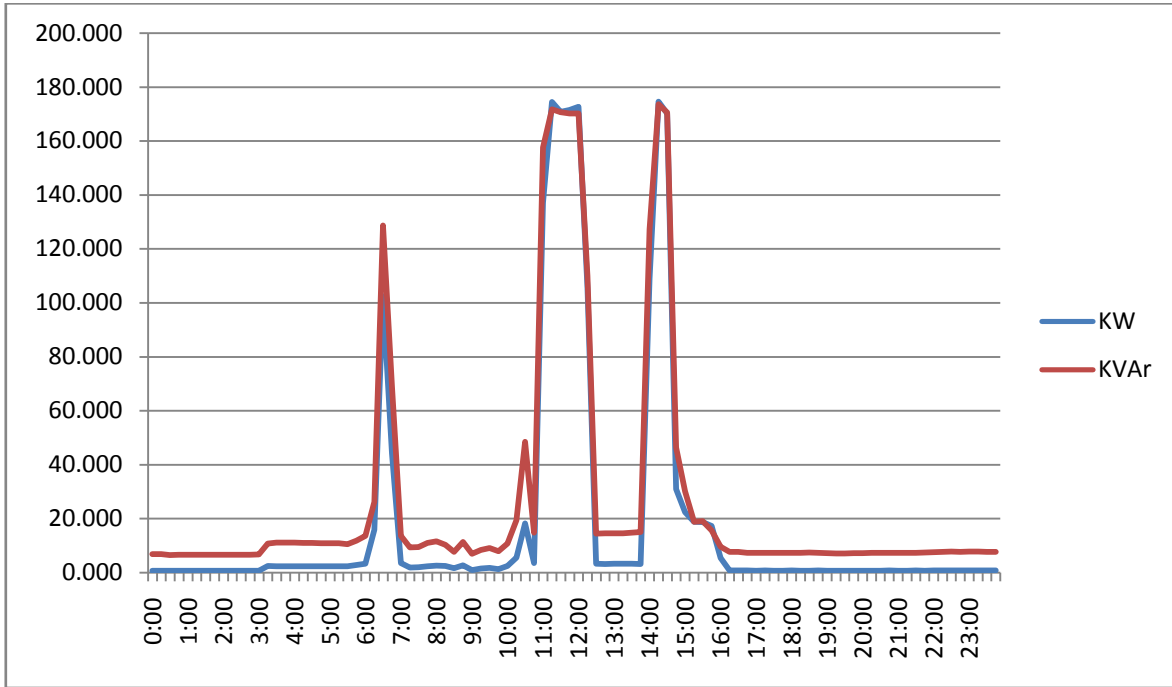


Jueves 9 de septiembre 2010

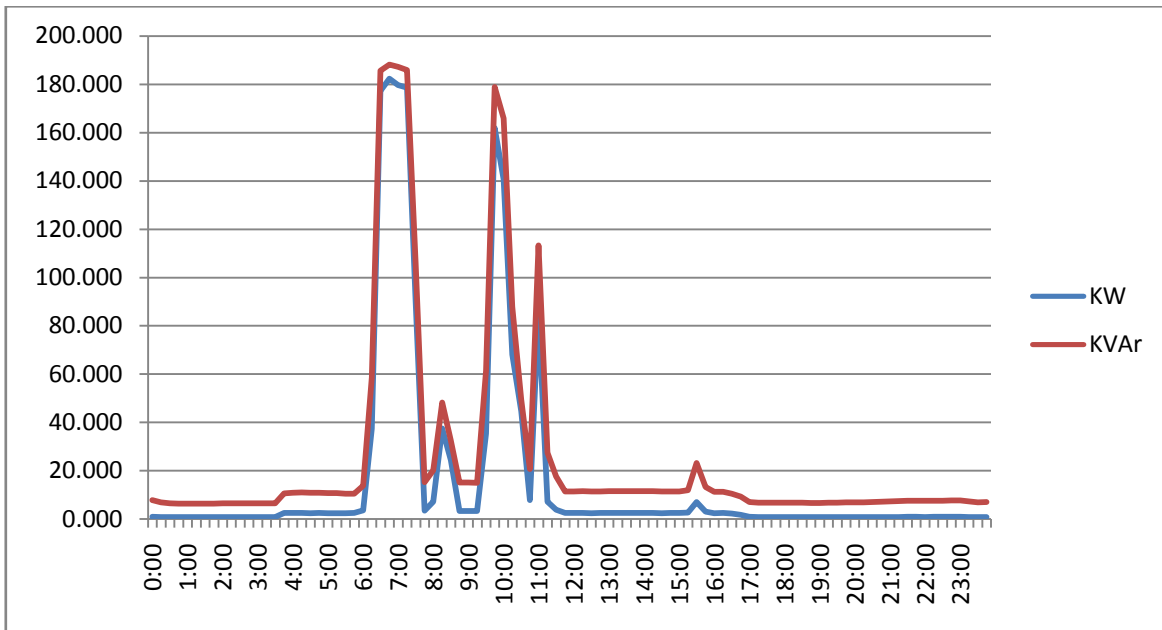


ESTUDIO PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA EN LA PLANTA DE ASFALTO DEL CAMPAMENTO DR. PEDRO AGUIRRE

Ing. Carlos Fidel Ojeda Ordoñez
Ing. Robert Steve Vega Rosales



Viernes 10 de septiembre 2010



Sábado 11 de septiembre de 2010



Como se puede apreciar en las gráficas anteriores existen valores picos de potencia los días viernes en el horario de 11h00 a 12h00 y sábado en horario de 6h00 a 7h30. Por estos valores picos de potencias se tomó el valor promedio del factor de potencia el cual resultó ser 0.50 con lo cual todo quedó listo para aplicar los procedimientos para el cálculo directo de la capacidad del banco de capacitores necesario para corregir el factor de potencia a un valor de 0.94.

Este procedimiento fue aplicado y los resultados obtenidos fueron que la potencia reactiva del banco debía ser de 141.60kVAR, lo cual representa que se compensará el 35.40 % de la potencia aparente instalada en la industria.

Debido a que no toda la carga consumidora de reactivo se conectará de una sola vez al sistema hemos escogido un diseño de un banco automático a 7 pasos con lo cual se irá compensando a medida que vayan conectándose cargas consumidoras de reactivo. El diseño del banco escogido será el siguiente:

Banco trifásico de 440 V con 5 pasos automáticos.

- 1er paso de 8.30 kVAR
- 2do paso de 16.60 kVAR
- 3er paso de 16.60 kVAR
- 4to paso de 33.20 kVAR
- 5to paso de 33.20 kVAR
- 6to paso de 33.20kVAR
- 7mo paso de 33.20kVAR

Con lo cual quedará compensado el 100% del reactivo resultante en la instalación.

2. Discusión

Durante la realización de este estudio hemos realizado análisis relacionados con otros trabajos que enfocan la solución para la normalización de la calidad de energía, en todos ellos la problemática del bajo factor de potencia ha sido enfocada desde el punto de vista que fue referenciado en este estudio, debido a las similitudes que presentaban las condiciones de carga de esos trabajos con el de este caso de este estudio.

Durante el análisis de trabajos precedentes se pudo constatar además que el método de cálculo directo del reactivo necesario para corregir el factor de potencia en una instalación es muy utilizado y ha proporcionado resultados satisfactorios en la totalidad de los casos donde las condiciones de carga cumplen con los requerimientos básicos para utilizar esta teoría.

El caso más visible resulta el trabajo realizado en la mecánica del señor Carlos Medina de Cumbaratza, donde aplicando los mismos métodos de cálculo se logró compensar el 100% del reactivo consumido por la carga de la instalación, elevándose el factor de potencia promedio a valor de 0.95.

g) CONCLUSIONES

1. Se aplicó el método de cálculo correspondiente a las condiciones de carga obteniéndose como resultado la compensación del 100% del reactivo de la industria y la corrección del factor de potencia a valores promedio superiores al límite permisible por el CONELEC.
2. El banco de condensadores a instalar debe ser de una capacidad de 141.60 kVAR, distribuidos en 7 pasos automáticos de 8.30 kVAR, 16.60 kVAR, 16.60 kVAR, 33.20 kVAR, 33.20 kVAR, 33.20 kVAR y 33.20 kVAR respectivamente.
3. Se detectó por mediciones directas que el inconveniente de un bajo factor de potencia existente en la instalación a limitado el uso de la potencia instalada en un 45.75%.
4. El método directo de cálculo resulta efectivo siempre y cuando la carga presente variaciones grandes en sus regímenes de trabajo.

h) RECOMENDACIONES

1. Aplicar los resultados de este estudio para solucionar la problemática existente en esta industria.
2. Utilizar el método de cálculo directo del reactivo necesario para corregir el factor de potencia siempre que las condiciones de carga cumplan con las condiciones antes expuestas.

i) BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

1. De Armas, M.A. "Curso breve en calidad de la energía eléctrica" Instituto de Ingeniería de Mexicali, México, 2004
2. De Armas, M.A. "Material del Curso de Post Grado: Calidad de la Energía" Universidad de Cienfuegos, 2003
3. De Armas, M.A. "Calidad de la energía eléctrica al plan de ahorro de energía en Cuba". Universidad de Cienfuegos, 2003
4. De Armas, M.A. "Consideraciones sobre la calidad de la energía eléctrica en la Provincia de Cienfuegos" Convención de Ingeniería Eléctrica FIE 2002, Santiago de Cuba, 2002.
5. Dugan, R.C.; McGranaghan, M.F.; Beaty, H.W. "Electric power systems quality" McGraw Hill, 1996.
6. Feodorov, A.A.; Rodríguez, E. "Suministro eléctrico de empresas industriales", Editorial "Pueblo y Educación", La Habana, 1985
7. "Guía técnica de la distribución eléctrica en baja tensión. Compensación de Energía Reactiva", Schneider Electric, 2001
8. IEEE Std. 141-1993: "IEEE Recommended Practices for Electric Power Distribution for Industrial Plants"

REVISTAS:

1. "Aspectos básicos del factor de potencia orientados al ahorro de energía eléctrica". FIDE. México D.F., 1992
2. "Catalogue distribution basse tension". Merlin Gerin, Schneider Electric, Grenoble, 1995.

TESIS:

1. Análisis de la calidad de la energía eléctrica y estudio de carga de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. SarmientoJadán Freddy.
2. Análisis y estudio energético para mejorar la calidad del servicio eléctrico en la fábrica textil San Pedro. Palacios Jiménez Víctor Manuel.
3. Determinación de la calidad de la energía del sistema eléctrico de potencia en la sociedad de lucha contra el cáncer – SOLCA – 2007. Heras P. Wilmer.
4. Estudio para mejorar la calidad de energía en el mixer de la planta de asfalto. Ing Paute Jorge.
5. Estudio de mejora del factor de potencia en la mecánica de Sr. Carlos Medina de Cumbaratza.
6. González, J.A. "Compensación de potencia reactiva en sistemas contaminados con armónicos". Tesis Doctoral. UCLV, Sta. Clara, 2002

j) ANEXOS



Anexo 1. Subestación del Campamento Dr. Pedro Aguirre

ESTUDIO PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA EN LA PLANTA DE ASFALTO DEL CAMPAMENTO DR. PEDRO AGUIRRE

Ing. Carlos Fidel Ojeda Ordoñez
Ing. Robert Steve Vega Rosales

compensar KVAR fidel rover - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador

Calibri 11 A A Ajustar texto Número

Cortar Pegar Copiar Copiar formato Fuente Alineación Número Estilos Celdas

Normal Buena Incorrecto Neutral

T18 =S9+S8+S7+S5+S4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	O	P	Q	R	S	T
1	HORA Y FECHA	PERFIL DE CARGA	fp	kVAR fijo	kVAR	fp	fp requerido	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	fp	pasos determinar de acuerdo a banco fijo y a automatico para obtener un fp > .92						
2	c/15 MINUTOS	kW	kVAR	8.300	resultante	c/kVARresult	0.95	encontrado	a COMPENSAR	compensacion real	obtenido	obtenido							
3																			
4	14/09 07:30	182.592	194.784	0.68	8.300	186.484	0.70	0.95	60.02	126.468911867	124.50	61.984	0.95	1	8.3	1	8.30	8.30	
5	14/09 07:45	180.024	193.152	0.68	8.300	184.852	0.70	0.95	59.17	125.680972649	124.50	60.352	0.95	2	16.6	2	16.60	16.60	
6	14/09 08:00	179.136	192.600	0.68	8.300	184.300	0.70	0.95	58.88	125.420844135	124.50	59.800	0.95	3	24.9	3	16.60	24.90	
7	14/09 08:15	175.488	191.136	0.68	8.300	182.836	0.69	0.95	57.68	125.155883750	124.50	58.336	0.95	4	33.2	4	33.20	33.20	
8	13/09 07:15	184.176	193.728	0.69	8.300	185.428	0.70	0.95	60.54	124.892276245	124.50	60.928	0.95	5	41.5	5	33.20	41.50	
9	13/09 07:30	178.608	191.688	0.68	8.300	183.388	0.70	0.95	58.71	124.682389342	124.50	58.888	0.95	6	49.8	6	33.20	49.80	
10	13/09 07:45	176.016	190.536	0.68	8.300	182.236	0.69	0.95	57.85	124.382338543	116.20	66.036	0.94	7	58.1	141.10	141.10	58.10	
11	13/09 08:00	170.064	186.096	0.67	8.300	177.796	0.69	0.95	55.90	121.898666337	116.20	61.596	0.94	8	66.4			66.40	
12	11/09 06:45	182.352	188.208	0.70	8.300	179.908	0.71	0.95	59.94	119.971796052	116.20	63.708	0.94	9	74.7			74.70	
13	11/09 07:00	179.664	187.248	0.69	8.300	178.948	0.71	0.95	59.05	119.895298927	116.20	62.748	0.94	10	83			83.00	
14	11/09 06:30	177.312	185.640	0.69	8.300	177.340	0.71	0.95	58.28	119.060363943	116.20	61.140	0.95	11	91.3			91.30	
15	12/09 06:30	179.736	186.384	0.69	8.300	178.084	0.71	0.95	59.08	119.007633672	116.20	61.884	0.95	12	99.6			99.60	
16	11/09 07:15	178.584	185.904	0.69	8.300	177.604	0.71	0.95	58.70	118.906277761	116.20	61.404	0.95	13	107.9			107.90	
17	12/09 06:45	177.552	184.920	0.69	8.300	176.620	0.71	0.95	58.36	118.261479757	116.20	60.420	0.95	14	116.2			116.20	
18	13/09 11:15	175.704	183.768	0.69	8.300	175.468	0.71	0.95	57.75	117.716887984	116.20	59.268	0.95	15	124.5			124.50	
19	13/09 11:00	172.704	182.664	0.69	8.300	174.364	0.70	0.95	56.77	117.598940299	116.20	58.164	0.95	16	132.8			132.80	
20	11/09 09:45	161.928	178.968	0.67	8.300	170.668	0.69	0.95	53.22	117.444840217	116.20	54.468	0.95	17	141.1			141.10	
21	12/09 07:00	176.496	183.384	0.69	8.300	175.084	0.71	0.95	58.01	117.072570172	116.20	58.884	0.95						
22	13/09 13:30	173.424	182.328	0.69	8.300	174.028	0.71	0.95	57.00	117.026287743	116.20	57.828	0.95						
23	13/09 11:30	171.672	181.368	0.69	8.300	173.068	0.70	0.95	56.43	116.642142296	116.20	56.868	0.95						
24	13/09 13:45	168.576	179.976	0.68	8.300	171.676	0.70	0.95	55.41	116.267748285	116.20	55.476	0.95						
25	12/09 06:15	186.096	184.896	0.71	8.300	176.596	0.73	0.95	61.17	115.429202763	107.90	68.696	0.94						
26	11/09 10:00	140.592	165.936	0.65	8.300	157.636	0.67	0.95	46.21	111.425644285	107.90	49.736	0.94						
27	24/07 15:45	174.528	176.976	0.70	8.300	168.676	0.72	0.95	57.36	111.311420491	107.90	60.776	0.94						
28	24/07 16:15	173.976	176.616	0.70	8.300	168.316	0.72	0.95	57.18	111.132854117	107.90	60.416	0.94						
29	24/07 16:00	173.520	176.448	0.70	8.300	168.148	0.72	0.95	57.03	111.114734069	107.90	60.248	0.94						
30	24/07 15:30	177.792	177.792	0.71	8.300	169.492	0.72	0.95	58.44	111.054595572	107.90	61.592	0.94						
31	08/08 09:00	185.544	179.040	0.72	8.300	170.740	0.74	0.95	60.99	109.754636389	107.90	62.840	0.95						
32	26/07 07:45	181.224	177.288	0.71	8.300	168.988	0.73	0.95	59.57	109.422551723	107.90	61.088	0.95						

ordenado x compensacion ordenado x fecha (3)

Listo

(5 no leídos) Correo ... Campamento Dr Ag... tesis banco capacito... TESIS R F 15-03-201... COT-2010-226, Ban... Microsoft Excel - co...

Anexo 2. Libro de mediciones obtenidas

