



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA**

**Tesis Monográfico para optar al Título de
Ingeniero Eléctrico.**

Título:

**“DISEÑO y CALCULO DE UN BANCO DE CONDENSADORES PARA LA
CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE LA INDUSTRIA TEXTIL
HANDSOLL”.**

Autores:

- Br. Ismael Antonio Moya Mendoza 2016-02245
- Br. Ever Josue Reynoza Gutiérrez 2009-29385

Tutor:

Ing. Juan González Mena.

Managua, agosto 2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción	1
II. Antecedente	3
III. Justificación	4
IV. Objetivos del Estudio	5
4.1. Objetivo General	5
4.2. Objetivo Especifico	5
V. Marco Teórico	6
5.1 Potencia.....	6
5.1.1 Potencia aparente (S)	6
5.1.2 Potencia activa (P)	7
5.1.3 Potencia reactiva (Q)	7
5.2 Triángulo de potencias	7
5.3 El factor de potencia.....	10
5.4 Tipos de cargas	13
5.5 Métodos de compensación de potencia reactiva	15
5.6 Corrección del factor de potencia	16
5.7 Planteamiento analítico para la corrección del factor de potencia	17
5.8 Capacitores.....	19
5.9 Causas del bajo factor de potencia.....	22
5.10 Consecuencias del bajo factor de potencia	26
VI. Metodología	27
VII. Análisis de resultados para el calculo del banco de compensación	29
VIII. Conclusiones.....	40
IX. Bibliografía	41

I. Introducción

La empresa HANDSOLL S.A esta ubicada en el kilómetro 48 carretera sur hacia Diriamba, dedicada al ramo textil, posee en su sistema eléctrico con cargas inductivas como cargas resistivas las mismas que permiten procesar la materia prima para elaborar ropa.

El objetivo principal de este estudio es proporcionar métodos de análisis para poder verificar el factor de potencia de la instalación eléctrica, al mismo tiempo, poder determinar la viabilidad de la instalación de un banco de compensación de Reactiva por bajo factor de potencia si lo necesitara para cumplir con las normas emitidas por la empresa distribuidora de energía eléctrica Disnorte y Dissur. De no darse este caso se procederá a plantear un cálculo aproximado de las penalizaciones económicas según el pliego Tarifario de Disnorte y Dissur que se encuentra es Tarifa Industrial (T3-BTH).

En los sistemas industriales se hace mucho más frecuente la necesidad de utilizar compensadores de potencia reactiva debido a la diversidad de cargas existentes de naturaleza inductiva. Algunas cargas típicas que requieren compensación son transformadores, lámparas fluorescentes, motores, siendo estos últimos el más representativo consumidor de potencia reactiva puesto que al energizar un motor de gran capacidad este requiere una alta potencia reactiva para poder funcionar.

Los sistemas de compensación de potencia reactiva tienen la finalidad de aportar energía reactiva para que el conjunto de la instalación presente un factor de potencia deseado, en general la unidad o cercano a la unidad. Obteniendo con ello una bonificación en la factura de consumo eléctrico y así evitar las penalizaciones en la factura eléctrica.

Además, se pretende promover la eficiencia eléctrica con un enfoque en la reducción del consumo de electricidad y de esta manera bajar la factura eléctrica específicamente en la Empresa Textil HANDSOLL.

El objetivo de este trabajo es analizar el consumo eléctrico de la empresa y dar soluciones que permitan el ahorro ya sea mediante la implementación de bancos de capacitores para la compensación de potencia reactiva, persiguiendo con ello:

- Un menor costo en el consumo de energía eléctrica.
- Aumento en la capacidad del sistema.
- Mejora en la calidad del voltaje.
- Aumento de la vida útil de las instalaciones.
- Eliminación del cargo por Bajo Factor de Potencia.
- Bonificación por un Factor de Potencia superior al 0.9
- Menores pérdidas en el sistema
- Potencia liberada en el transformador: (kVAs Disponibles)

Ubicación de la industria



II. Antecedente

El método clásico de compensación de la potencia reactiva se centra en la localización y dimensionamiento de los bancos de condensadores a lo largo del alimentador para evitar el flujo de potencia reactiva. La presencia de cargas no lineales desvirtuó este método, debido a que puede llevar al incremento de las pérdidas y de la distorsión armónica.

En el año 2021 la empresa HANDSOLL durante una auditoria eléctrica, el resultado de informe emitido señaló que las cargas sobre cada línea estaban desbalanceadas considerablemente, ya que la primera línea tenía más cargas que las otras dos líneas , y esto ocasionaba calentamiento en las líneas de suministro , estas averías ocasionaban paros en las máquinas , además botaba las protecciones y los breaker , la consecuencia más notable de esto es que al estar desbalanceadas las cargas esto provoca exagerado consumo energético y por lo tanto consumo monetario ,sin contar que la constante desactivación de los motores causo daños en sus bobinados de arranque a pesar de que tenían protecciones térmicas.

Actualmente cualquier máquina del mercado puede ser adaptada a las nuevas tecnologías. Los equipos modernos nos dan posibilidades de regulación infinitas y permiten conseguir resultados sorprendentes.

En el Centro de Documentación de la Facultad de Electrotecnia y Computación, se encontraron temas sobre sistemas calidad de la energía, se encontraron los siguientes trabajos monográfico que tienen cierta relación:

En el cual el profesor Ing. Juan González Mena de la Universidad Nacional de Ingeniera de Nicaragua presento como tutor del trabajo monográfico: **Estudio de Eficiencia eléctrica para el ahorro de energía eléctrica en la Empresa Annic SA.** En este trabajo se realizó el estudio del sistema eléctrico para la compensación de energía reactiva.

III. Justificación

El diseño de un banco de condensadores permitirá obtener beneficios como: disminución de las pérdidas en los conductores, reducción de las caídas de tensión, aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores y líneas de distribución, incremento de la vida útil de las instalaciones.

Al corregir el factor de potencia se obtendrán también beneficios económicos para la empresa como: reducción de los costos por facturación eléctrica, eliminación del cargo por bajo factor de potencia que beneficia tanto al usuario de energía eléctrica, como a la compañía suministradora. Para esto se debe mejorar el factor de potencia a un valor cercano a la unidad.

La importancia del estudio del Diseño y Dimensionamiento del banco de capacitores para corregir el bajo factor de potencia se fundamenta en contribuir con una metodología que facilite al lector familiarizarse con la teoría de circuitos sobre factor de potencia y como corregirlo en una instalación industrial a través de un ejemplo práctico en una pequeña empresa.

Se pretende verificar en situ las mediciones de campo, como el voltaje, la corriente, consumo de potencia diario, mediciones del factor de potencia actual para confirmar los datos facilitado por el jefe de mantenimiento de la empresa, si fuese necesario analizarlos con la factura eléctrica.

La metodología que se utilizará generará recomendaciones y lecciones aprendidas que pueden tomarse en la implementación de cualquier escenario de instalación eléctrica industrial ante un bajo factor de potencia.

IV. Objetivos del Estudio

4.1. Objetivo General

- Realizar un estudio para diseño y cálculo de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la industria textil HANDSOLL.

4.2 Objetivo Especifico

- Realizar un diagnóstico de consumo en el sistema eléctrico para medir variables como Voltaje, corriente, factor de potencia, Potencia Activa, Potencia Reactiva y Potencia Aparente.
- Realizar el dimensionamiento de un banco de condensadores para obtener un factor de potencia de 0.96
- Realizar un estudio técnico para determinar la capacidad y dimensionamiento del banco de condensadores mediante varios métodos de cálculos. (Método del seno y coseno, método de tangente y método de factor de multiplicación.

V. Marco Teórico

5.1 Potencia

La potencia es la capacidad de producir o demandar energía de una máquina eléctrica, equipo o instalación por unidad de tiempo.

En todo circuito eléctrico, para el funcionamiento de los diferentes equipos y máquinas se encuentran presentes las siguientes potencias:

- Potencia Aparente
- Potencia Activa
- Potencia Reactiva

5.1.1 Potencia aparente (S)

La potencia total o aparente es la suma geométrica de las potencias activa y reactiva, o bien, el producto de la corriente y el voltaje. Se la representa con la letra S y su unidad de medida se expresa en voltamperios (VA).

Cuando una carga tiene un voltaje V y corriente I como en la figura, la potencia que parece fluir a la carga es VI. Sin embargo, si la carga contiene tanto resistencia como reactancia, este producto no representa ni la potencia real ni la potencia reactiva. Ya que VI parece representar la potencia, se llama potencia aparente, la cual se simboliza con S y tiene unidades de volt-ampere (VA). Entonces,

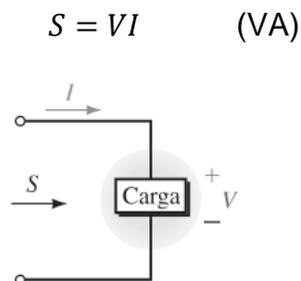


FIGURA 17-11 Potencia aparente $S = VI$.

Donde V e I son magnitudes del voltaje y la corriente rms respectivamente. Ya que $V=IZ$ e $I=V/Z$, también se puede escribir como

$$S = I^2Z = V^2/Z \text{ (VA)}$$

Para equipo pequeño, como el que se encuentra en electrónica, VA es una unidad conveniente. Sin embargo, para aparatos de potencia pesados (figura 17-12), es demasiado pequeña y con frecuencia se usan los kVA (kilovolt-ampere), donde

$$S = \frac{VI}{1000} \text{ (kVA)}$$

Además de su especificación VA, en la práctica es común que en los aparatos eléctricos se proporcione también su voltaje de operación. Una vez que se conocen ambos, es fácil determinar la corriente de operación.

5.1.2 Potencia activa (P)

Llamada también potencia efectiva y potencia real, se la representa con la letra P y es expresada en vatios (W). Solamente esta potencia se puede transformar en potencia mecánica o en potencia calorífica.

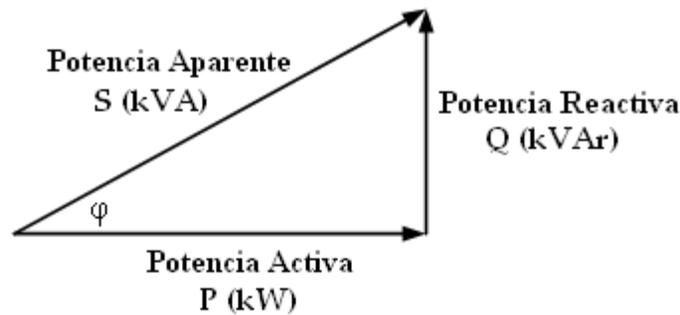
“La potencia *efectiva* o *real* es la que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo, es decir, en energía utilizable.”²⁷

5.1.3 Potencia reactiva (Q)

Llamada también potencia magnetizante, se simboliza con la letra Q expresada en voltamperios reactivos (VAr), resulta necesaria para el funcionamiento de ciertas máquinas y dispositivos eléctricos (motores, transformadores, bobinas, relés, etc.) pero no puede transformarse en potencia mecánica o calorífica útil, y causa pérdidas adicionales en los equipos que transportan la energía.

5.2 Triángulo de potencias

El triángulo de potencias es la representación fasorial de la potencia activa (P), la potencia reactiva (Q) y la potencia aparente (S). La figura es usada para ilustrar las diferentes formas de potencia eléctrica.



Donde:

P (kW) = Potencia activa.

Q (kVAr) = Potencia reactiva, no produce trabajo, pero si hay que pagar por ella.

S (kVA) = Potencia aparente, potencia total requerida para alimentar la carga.

Por lo que se puede conocer la potencia aparente a partir del teorema de Pitágoras aplicado en el triángulo de potencias.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Considere el circuito en serie de la figura 17-13(a). Sea la corriente a través del circuito $I = I \angle 0^\circ$, con representación fasorial (b). Los voltajes en el resistor y la inductancia son V_R y V_L respectivamente. Como se indicó en el capítulo 16, V_R está en fase con I , mientras que V_L se le adelanta por 90° . La ley de voltajes de Kirchooff se aplica a los voltajes de ca en forma fasorial. Entonces, $V = V_R + V_L$ como se indica en (c).

El triángulo de voltajes de (c) puede volver a dibujarse como en la figura 17-14(a) con las magnitudes de V_R y V_L reemplazadas por $I R$ e $I X_L$, respectivamente. Ahora se multiplican todas las cantidades por I , con lo cual se obtienen los lados $I^2 R$, $I^2 X_L$ y la hipotenusa $V I$ como se indica en (b).

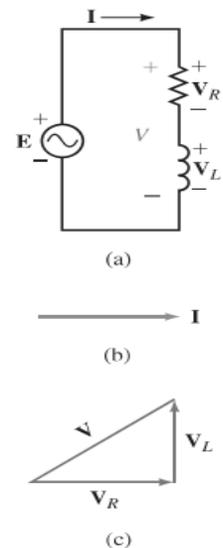


FIGURA 17-13 Pasos para el desarrollo del triángulo de potencias.

Observe que éstas representan P , Q y S respectivamente, como se indica en (c). Esto se llama Triángulo de potencias. A partir de la geometría de este triángulo se puede ver que

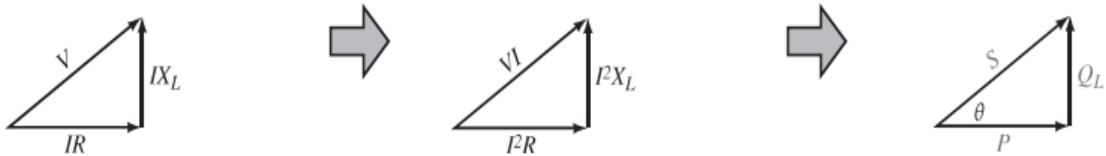
$$S = \sqrt{p^2 + Q_L^2}$$

De otra manera, la relación entre P , Q , y S puede expresarse como un número complejo:

$$S = P + jQ_L \quad \text{o bien} \quad S = S \angle \theta$$

Si el circuito es capacitivo en lugar de inductivo, la ecuación se vuelve

$$S = P - jQ_C$$



(a) Se muestran sólo las magnitudes

(b) Se multiplican por I

(c) Triángulo de potencias que resulta

FIGURA 17-14 Continuación de los pasos para el desarrollo del triángulo de potencias.

Las relaciones de potencia se escriben en forma generalizadas como

$$S = P + Q \quad \text{y} \quad S = VI^*$$

donde $\mathbf{P} = P \angle 0^\circ$, $\mathbf{Q}_L = j\mathbf{Q}_L$, $\mathbf{Q}_C = -j\mathbf{Q}_C$, e \mathbf{I}^* es el conjugado de la corriente I . Estas relaciones se cumplen para todas las redes sin importar que contengan o como estén configuradas.

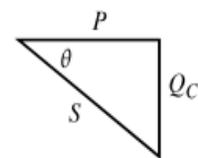


FIGURA 17-15 Triángulo de potencias para el caso capacitivo.

5.3 El factor de potencia

Se denomina factor de potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura, o sea que, el factor de potencia debe tratar de coincidir con el coseno ϕ pero no es lo mismo.

$$FP = \frac{P}{S}$$

La cantidad $\cos \theta$ en la ecuación $P = VI \cos \theta = S \cos \theta$ (w) se define como el **factor de potencia** y se representa con el símbolo F_p . Entonces,

$$F_p = \cos \theta$$

A partir de la ecuación $P = VI \cos \theta = S \cos \theta$ (w) se observa que F_p puede calcularse como la razón entre la potencia real y aparente. Por tanto,

$$\cos \theta = P/S$$

El factor de potencia se expresa como un número o como un porcentaje. A partir de la ecuación $\cos \theta = P/S$, es evidente que el factor de potencia no puede exceder de 1.0 (o 100% si se expresa en porcentaje).

El **ángulo del factor de potencia** θ es de interés. Se calcula como sigue

$$\theta = \cos^{-1}(P/S)$$

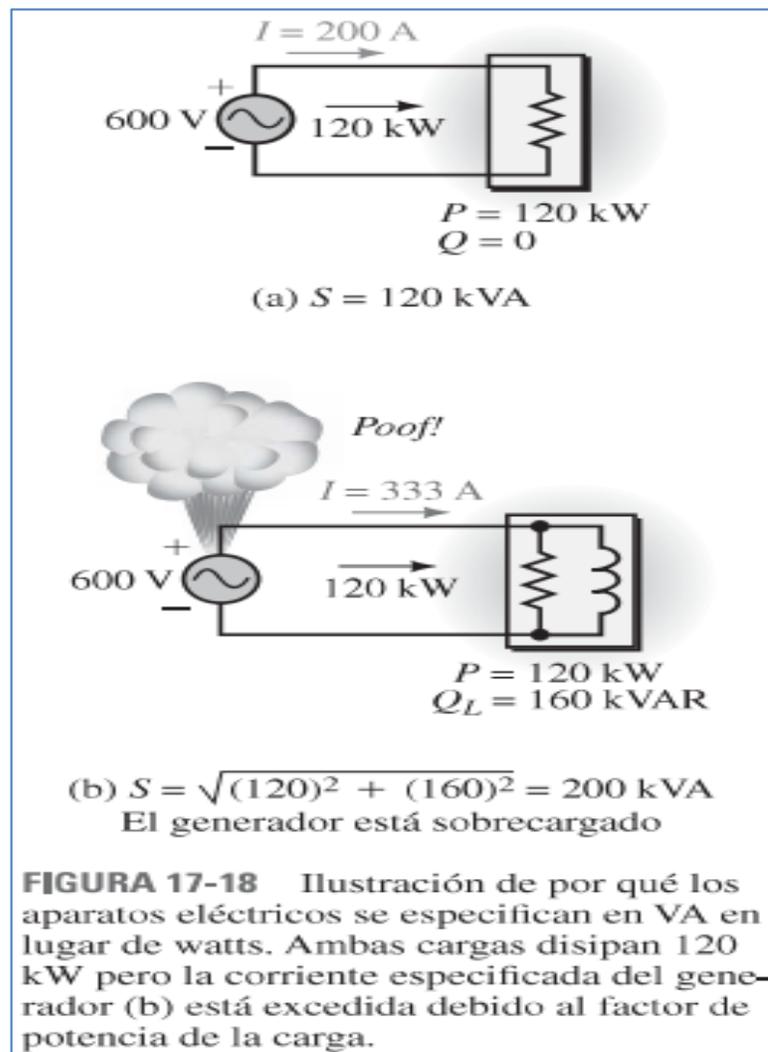
θ es el ángulo entre voltaje y la corriente. Por tanto, para una resistencia pura $\theta=0^\circ$. Para una inductancia pura $\theta=90^\circ$ y para una capacitancia pura $\theta=-90^\circ$. Para un circuito que contiene tanto resistencia como inductancia, θ estará entre 0° y 90° ; para un circuito que contiene tanta resistencia como capacitancia θ estará entre 0° y -90° .

Una carga con un factor de potencia pobre puede demandar un exceso de corriente. Esto se discute enseguida.

Por qué el equipo se especifica en VA

Como se indicó antes, el equipo se especifica en términos de VA en lugar de watts. Ahora se muestra por qué. Considere la figura 17-18. Suponga que el generador está especificando en 600 V, 120 kVA. Esto significa que es capaz de suministrar $I=120 \text{ kVA}/600 \text{ V}=200 \text{ A}$. En (a), el generador suministra una carga puramente resistiva con 120 kW. Ya que $S=P$ para una carga puramente resistiva, $S=120 \text{ kVA}$ y el generador provee su corriente especificada. En (b), el generador suministra una carga con $P=120 \text{ kW}$ como antes, pero $Q=160 \text{ kVAR}$.

Corrección del Factor de Potencia



El problema que se muestra en la figura se puede resolver al cancelar alguno o todos los componentes reactivos de la potencia al agregar reactancia del tipo opuesto al circuito. Esto se conoce como **corrección del factor de potencia**. Si se cancela por completo el componente reactivo, el ángulo del factor de potencia es 0° y el $F_p = 1$. Esto se conoce como **corrección del factor de potencia unitario**.

En la práctica, casi todas las cargas, sean residenciales, industriales o comerciales, con inductivas debido a la presencia de motores, balastos de lámparas fluorescentes y equipos similares; en consecuencia, es probable que nunca se encuentre una carga capacitiva que requiera corrección.

El resultado de esto es que en la realidad casi toda la corrección del factor de potencia consiste en agregar un capacitor para cancelar los efectos inductivos. Como se ilustra enseguida, esta capacitancia se coloca en la carga.

Es aconsejable que en una instalación eléctrica el factor de potencia sea alto y algunas empresas de servicio eléctrico exigen valores de 0,85 o más. También podemos decir que es simplemente el nombre dado a la relación de la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (KW), a la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilovoltio- amperios (KVA).

El factor de Potencia puede ser utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo. El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, generadores, transformadores, etc. Este carácter reactivo obliga a que, junto al consumo de potencia activa (KW), se sume el de una potencia llamada reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de equipos y motores.

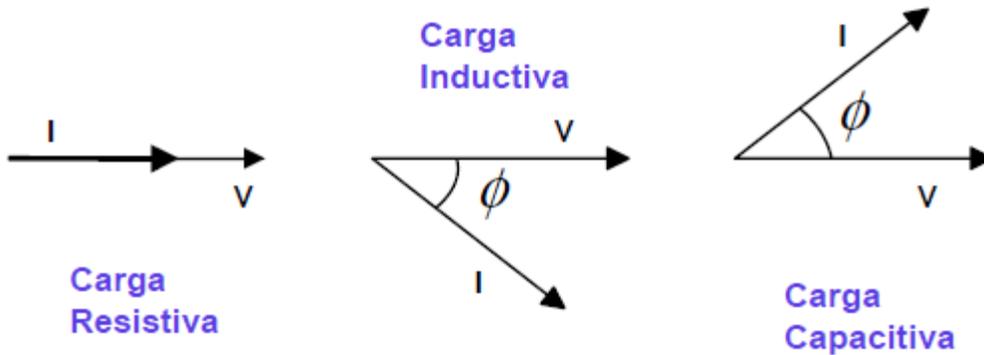
Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas generadoras de electricidad, aunque puede ser producida por las propias industrias. Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución. Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación.

5.4 Tipos de cargas

En una red o circuito eléctrico a los elementos pasivos se los conoce como cargas, ya que por medio de ellos la energía eléctrica se consume dependiendo de la intensidad de corriente que circule en los mismos, por lo que a dicha corriente se la conoce como corriente de carga de característica resistiva, inductiva o capacitiva dependiendo del tipo de carga que sea.

Dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia puede ser: adelantado, retrasado, igual a 1.

- En las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, la tensión y la corriente están en fase en este caso, se tiene un factor de potencia unitario. Ver figura 1.
- En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la corriente se encuentra retrasada respecto a la tensión. En este caso se tiene un factor de potencia retrasado. Ver figura 1.
- En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje. En este caso se tiene un factor de potencia adelantado. Ver figura 1.



Cargas Resistivas

En las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, el voltaje y la corriente están en fase.

- Por lo tanto, $\phi = 0$
- En este caso, se tiene un factor de potencia unitario.

Cargas Inductivas

En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la corriente se encuentra retrasada respecto al voltaje.

- Por lo tanto, $\phi < 0$
- En este caso se tiene un factor de potencia retrasado.

Cargas Capacitivas

En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje.

- Por lo tanto, $\phi > 0$
- En este caso se tiene un factor de potencia adelantado.

5.5 Métodos de compensación de potencia reactiva

En la operación de los sistemas eléctricos de potencia de alta tensión se presentan, de vez en cuando, situaciones tales como una demanda anormal de reactivos, esto es, que dicha demanda sobrepasa la aportación que de ellos hacen algunos elementos de la red, obligando a los generadores a bajar su factor de potencia para suministrar los reactivos complementarios. El objetivo de la compensación reactiva es que la potencia aparente sea lo más parecida posible a la potencia activa.

El costo de generar, transmitir y transformar los reactivos, en el camino a su consumo, invita a realizar algunas consideraciones con respecto a los elementos que consumen estos reactivos, imponiendo la necesidad de localizar, operar y proyectar los equipos compensadores, de tal forma que estos no alteren el funcionamiento normal del sistema al cual se conecta. Los mecanismos de compensación más empleados son:

Compensación de potencia reactiva mediante máquinas sincrónicas.

Las máquinas sincrónicas pueden funcionar como aportadores de potencia reactiva funcionando en vacío, siendo en este caso conocidos como capacitores sincrónicos. La generación de potencia reactiva depende de la excitación, necesitando ser sobreexcitados para poder satisfacer sus propias necesidades de energía reactiva y entregar a su vez energía reactiva al sistema, es decir un motor síncrono diseñado para trabajar en vacío y con un amplio rango de regulación, estas máquinas síncronas son susceptibles de trabajar con potencia reactiva inductiva o capacitiva según el grado de excitación del campo. Si están sobre excitadas se comportan como condensadores. Por el contrario, si están sub-excitadas se comportan como inductancias.

La potencia de un condensador sincrónico en condiciones de sobre-excitación está limitada por la temperatura, en condiciones de sub-excitación, la potencia queda limitada por la estabilidad de la máquina. Este tipo de compensación no es muy utilizada, se utiliza sólo en el caso de que existan en la instalación motores sincrónicos de gran potencia (mayores a 200 HP) que funcionan por largos períodos de tiempo.

Compensación de potencia reactiva mediante cev's.

Un compensador estático de VAR (CEV'S), se emplea para compensar potencia reactiva usando un control de la magnitud de tensión en un bus particular de un sistema eléctrico de potencia.

Estos dispositivos comprenden el banco de capacitores fijo o conmutado (controlado) o un banco fijo y un banco de reactores conmutados en paralelo, se emplean principalmente en alta tensión debido a la conmutación para controlar la compensación.

Compensación de potencia reactiva mediante bancos de capacitores

Este método es el que se utiliza en la actualidad en la mayoría de las instalaciones industriales dado que es más económico y permite una mayor flexibilidad. Se pueden fabricar en configuraciones distintas.

Sin embargo, son muy sensibles a las armónicas presentes en la red, los bancos de capacitores elevan el factor de potencia, con lo cual aumenta la potencia transmitida por la línea porque no necesita conducir la potencia reactiva.

5.6 Corrección del factor de potencia

La finalidad de corregir el factor de potencia es reducir o aún eliminar el costo de energía reactiva en la factura de electricidad.

Factor de potencia

Es la relación de la potencia activa P con la potencia aparente S , es decir la proporción de potencia que se transforma en trabajo útil (P) de la potencia total (S) requerida por la carga. Bajo condiciones de tensiones y corrientes senoidales el factor de potencia es igual al $\text{Cos}(\varphi)$, tal y como se mostró en el análisis del Triángulo de Potencia, de la cual se obtuvo la ecuación.

En un circuito trifásico equilibrado la potencia activa (P), reactiva (Q) y aparente (S) se expresan como:

$$P = 3 VI \cos \varphi \quad Q = 3 VI \sin \varphi \quad S = 3 VI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

A continuación, en la figura se presenta el diagrama vectorial de potencias, para una carga inductiva:

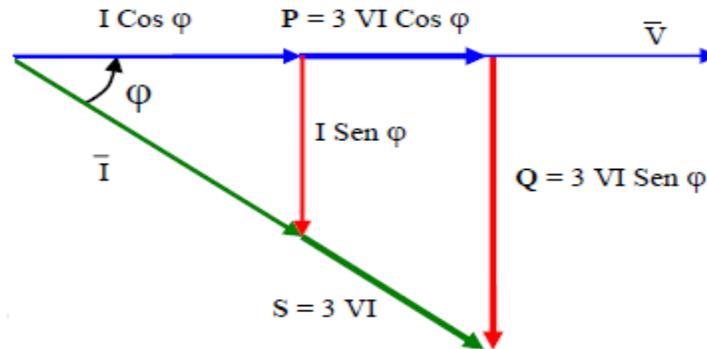


Figura: Triángulo de potencia en un circuito trifásico

Donde:

V = Tensión fase-neutro (V).

I = Corriente de fase (A).

5.7 Planteamiento analítico para la corrección del factor de potencia

La aplicación de los bancos de capacitores en las instalaciones industriales y en las redes de distribución, es la corrección del factor de potencia, esto se hace por dos razones fundamentalmente:

- Para estar dentro de los límites mínimos fijados por las compañías suministradoras y evitar penalización por bajo factor de potencia.
- De la figura Cuando el $\cos \varphi$ es mayor que el especificado por la compañía suministradora (0.9), entonces se penaliza, es decir, se impone una sanción

económica o cargo por bajo factor de potencia en el recibo de consumo de energía.

- c) Para mejorar las condiciones operativas (voltajes y pérdidas) y tener una mejor economía de operación.

Considerando la figura, si el valor mínimo especificado es $\cos \phi_2$, entonces es necesario pasar de $\cos \phi_1$ a $\cos \phi_2$, mantenido el suministro de la carga constante, por lo tanto, para pasar del valor actual de consumos de potencia reactiva Q_1 , al valor deseado, para obtener el ángulo ϕ_2 , es decir a Q_2 , se requiere restar a Q_1 una cantidad Q_c , que corresponde a la potencia reactiva del banco de capacitores.

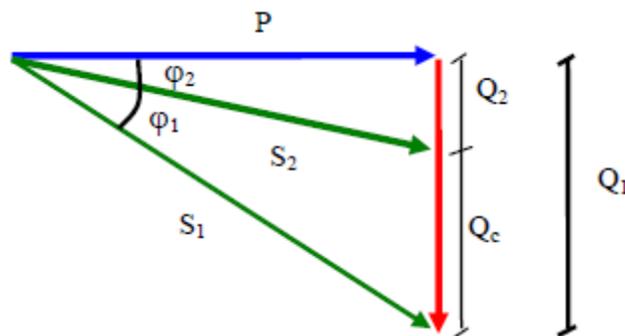


Figura: Corrección del $\cos \phi_1$ a $\cos \phi_2$, mantenido el suministro de la carga constante.

Para realizar el cálculo de Q_C se utiliza la ecuación 11, sin embargo, se puede utilizar la ecuación 12 la cual se obtiene a través de la figura 14, donde en el primer caso el factor K se obtiene por medio de la tabla 2, donde se muestra el factor inicial el cual es el factor en el que nuestro sistema está en operación y el factor de potencia deseado, para encontrar el valor del factor K se toma el valor en el cual estos dos factores se interceptan, dichas ecuaciones se muestran a continuación:

$$Q_C = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

$$Q_C = P \times \text{Factor } K$$

5.8 Capacitores

“A simple vista un capacitor da la impresión de ser un dispositivo simple y poco sofisticado, únicamente formando por dos placas metálicas separadas por un material aislante dieléctrico, sin partes movibles y que actúa solo bajo la acción de un esfuerzo eléctrico. Sin embargo, un capacitor es un equipo altamente técnico, formado por materiales delgados sometidos a altos esfuerzos eléctricos.” [5]

La Figura (a) muestra un corte de una unidad capacitor utilizado para la corrección del factor de potencia. La Figura (b) muestra la utilización de capacitores montados en postes.

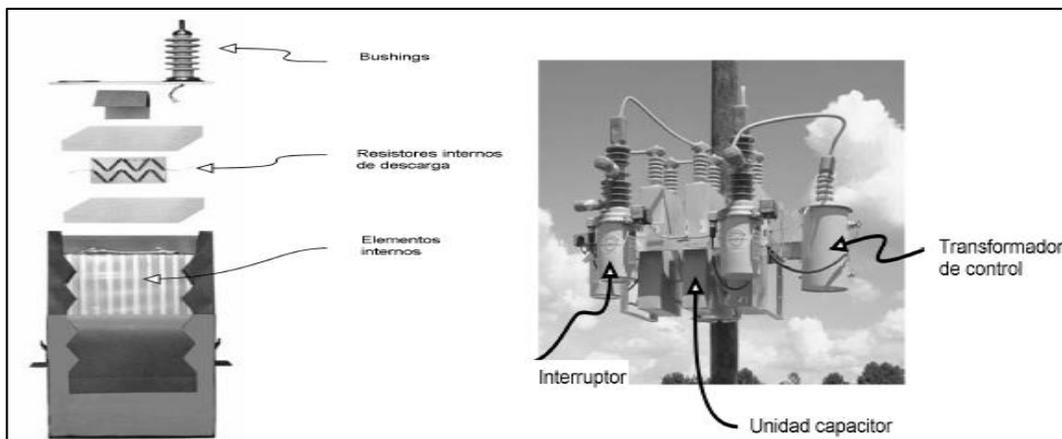


Figura (a) Componentes de un capacitor. (b) Banco de capacitores montaje en poste.

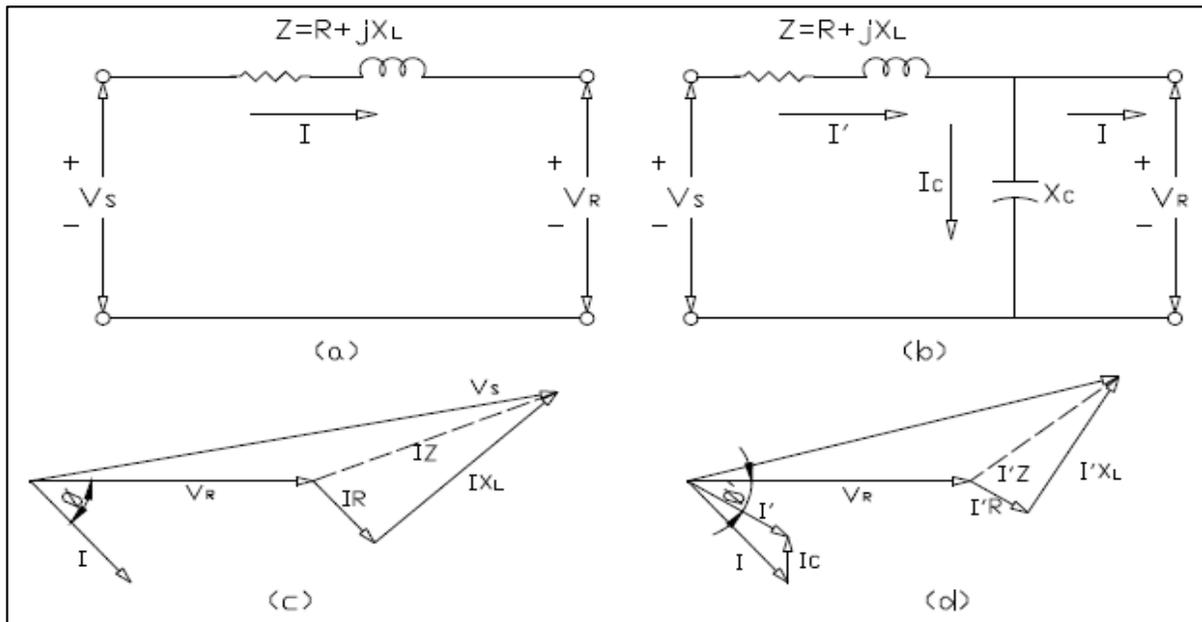
La tecnología en la construcción de bancos de capacitores ha tenido un notable avance en los últimos 30 años, estos avances se reflejan en una mayor capacidad, menores costos por kVAr y una mayor eficiencia.

CAPACITORES EN PARALELO

Capacitores en paralelo son usados extensivamente en sistemas de distribución [5]. Un capacitor en paralelo suministra la corriente de tipo necesaria para contrarrestar la corriente en desfase debido a la carga inductiva, posee el mismo efecto que tenemos en un generador o motor sincrónico sobreexcitado.

Se demuestra en la Fig. 2.2 la aplicación de un capacitor en un alimentador de distribución, donde, la magnitud de la corriente se reduce, el factor de potencia mejora y consecuentemente la caída de voltaje entre los terminales de recepción y envío se reduce.

La Fig. (c) (d) muestra los diagramas fasoriales que indican el efecto de un capacitor en derivación antes y después de su instalación.



Circuitos inductivos y diagrama fasorial (a) y (c) sin capacitor en paralelo; (b) y (d) con capacitor en paralelo. [5]

EFFECTOS EN LA ADICIÓN DE CAPACITORES EN PARALELO

“La mayoría de cargas en sistemas eléctricos, así como sus elementos constituyentes (transformadores y líneas) son de naturaleza inductiva y operan con un factor de potencia en atraso, en esta situación el sistema requiere de soporte de VArS disminuyendo así su capacidad, incrementando las pérdidas del sistema y reduciendo su voltaje”. [6]

En la siguiente Tabla se resumen los beneficios al aplicar capacitores en paralelo en sistemas de transmisión y distribución.

Beneficios Sistemas	Transmisión	Distribución
Control de Voltaje	*	*
Incremento de la capacidad del sistema	+	*
Reducción de pérdidas de potencia	+	*

* Beneficio primario + Beneficio secundario

Table: Resumen de los beneficios de la aplicación de capacitores en paralelo. [6]

CONTROL DE VOLTAJE

Al aplicar capacitores en un sistema el resultado es un aumento del voltaje en el sistema desde el punto de instalación a la generación [6] y también a lo largo de su recorrido.

En el diagrama fasorial de la Fig. 2.2 se indica el efecto de la aplicación de capacitores en paralelo [5], la caída de voltaje sin compensación Fig. 2.2 (a y c) viene dada por

$$CV = I_R R + I_X X_L \quad V$$

Donde R =resistencia total del circuito del alimentador, Ω

X_L =reactancia inductiva total del circuito alimentador, Ω

I_R =componente real de la corriente, A

I_X =componente reactiva de la corriente, retrasada al voltaje en 90° .

Con el capacitor instalado al final de la línea como en la Figura (b y d) el resultado de la caída de voltaje se la calcula

$$CV = I_R R + I_X X_L - I_C X_L \quad V$$

donde I_C =componente reactiva de la corriente, adelanta al voltaje en 90°

La diferencia entre las caídas de voltaje calculas con las ecuaciones (2.1) y (2.2) es el incremento de voltaje debido a la instalación de un capacitor y se la expresa así

$$IV = I_C X V_L$$

La instalación de bancos de capacitores en sistemas de distribución se la realiza dentro de los alimentadores o directamente en los puntos de entrega al consumidor, da como resultado un soporte de voltaje a lo largo de todo el recorrido del alimentador, generalmente se los conecta en periodos de demanda máxima y se los desconecta fuera de estos periodos.

INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA

“El incrementar la capacidad del sistema es el más importante beneficio que justifica la adición de capacitores en sistemas de distribución. Es particularmente significativa cuando las cargas alimentadas del sistema están creciendo rápidamente.” [6]

La adición de bancos de capacitores en paralelo reduce la demanda (kVA) del sistema, esta capacidad liberada puede ser utilizada para alimentar futuros incrementos de la demanda. La capacidad liberada en alimentadores primarios se traduce en beneficios a nivel de subestaciones de distribución, líneas de transmisión y generación.

REDUCCIÓN DE PERDIDAS DEL SISTEMA

La adición de capacitores reduce las pérdidas en los alimentadores de distribución. La potencia reactiva capacitiva suministrada por el capacitor reduce su contraparte inductiva que es característica de la demanda, reduciendo así la magnitud de la corriente de línea, ya que las pérdidas resistivas son función del cuadrado de la corriente I^2R la instalación de capacitores reduce las pérdidas del sistema.

Los beneficios de la instalación de un banco se reflejan aguas arriba del punto de instalación, razón por la cual se lo instala lo más cercano posible a la carga.

5.9 Causas del bajo factor de potencia

El bajo factor de potencia se debe parcialmente a la carga de los motores de inducción, ya que frecuentemente se trabaja con exceso de estos, también debido a balastos, transformadores y en general a cualquier tipo de inductancia, etc., son el origen del bajo factor de potencia ya que son cargas no lineales que contaminan la red eléctrica, en este tipo de equipos el consumo de corriente se desfasa con relación al voltaje lo que provoca un bajo factor de potencia.

A continuación, se enunciarán algunas causas por la cual se produce un bajo factor de potencia:

Iluminación de descarga o de arco (lámparas de vapor de mercurio, lámparas fluorescentes, etc.)

Estas lámparas para su funcionamiento requieren en algunos casos de una inductancia o de un transformador, como se mencionó anteriormente estos elementos son los que consumen energía reactiva y al tener la presencia de varias de estas lámparas se tendrá una mayor demanda de energía reactiva por ende producen un factor de potencia bajo.

Motores de inducción de pequeña y gran capacidad

Estos motores son generalmente la causa principal de los factores de potencia bajos, primeramente, por ser numerosos en los establecimientos industriales, y segundo por naturaleza propia de la máquina ya que necesitan de una potencia magnetizante y lo más importante es que están formados por inductores o bobinas que permiten el funcionamiento y movimiento del rotor del motor.

Motores operando en vacío

Los motores eléctricos consumen prácticamente la misma cantidad de energía reactiva necesaria para mantener su campo magnético, cuando opera en vacío o a plena carga. Entretanto, no sucede lo mismo con la energía activa, ésta es directamente proporcional a la carga mecánica solicitada al motor.

Así, cuanto menor sea la carga mecánica solicitada, menor será la energía activa consumida, consecuentemente menor el factor de potencia.

Motores sobredimensionados

Este es un caso particular de lo anterior, cuyas consecuencias son análogas. Generalmente los motores que son sobredimensionados, presentan una gran conservación de energía.

Es muy común la sustitución de un motor por otro de mayor potencia, principalmente en los casos de mantenimiento y reparación que, por comodidad, la sustitución transitoria pasa a ser permanente, sin saber que un sobredimensionamiento provocará un bajo factor de potencia.

Transformadores operando en vacío o con pequeñas cargas

Análogamente a los motores, los transformadores, operando en vacío o con pequeñas cargas, consumen una cantidad de energía reactiva relativamente grande, comparada con la energía activa, provocando un bajo factor de potencia.

Transformadores sobredimensionados

Es un caso particular de lo anterior, donde transformadores de gran potencia son utilizados para alimentar, durante largos períodos, pequeñas cargas.

Nivel de voltaje por encima del nominal

Con una tensión superior al nominal, se aplica a motores de inducción, se da el aumento de consumo de energía reactiva y, por tanto, disminuye el factor de potencia.

Hornos eléctricos de arco voltaico

Su factor de potencia varia en un amplio margen al calentarse el horno, oscila entre 0.5 y 0.85, luego de un cierto tiempo de trabajo se aproxima a un valor constante.

El factor de potencia de los hornos es bajo por dos razones:

Primero el arco al comienzo del ciclo tiene menor conductibilidad, de manera que la corriente está en atraso con relación al voltaje.

Segundo cuando el arco está en cortocircuito, en donde es necesario disponer de una reactancia para limitar la intensidad de corriente a un valor fuera de peligro, siendo esta reactancia la causa de un bajo factor de potencia

Soldadoras eléctricas de corriente alterna

Son máquinas que se caracterizan por tener o producir un bajo factor de potencia, debido a que son construidas con una reactancia interna, para limitar las corrientes de cortocircuito en el momento que se produce el arco, esta reactancia es la que produce un bajo factor de potencia.

A continuación, se presenta la tabla 1.1 en el cual se muestra el factor de potencia de las cargas más usuales.

Aparato		$\cos \varphi$
Motor asíncrono	Carga a 0%	0,17
	25%	0,55
	50%	0,73
	75%	0,80
	100%	0,85
Lámparas incandescentes		1
Tubos fluorescentes no compensados		0,5
Tubos fluorescentes compensados		0,93
Lámparas de descarga		0,4 a 0,6
Hornos a resistencias		1
Hornos a inducción con compensación incorporada		0,85
Hornos a calentamiento dieléctrico		0,85
Hornos de arco		0,8
Máquinas de soldar a resistencia		0,8 a 0,9
Electrodos monofásicos, estáticos de soldadura al arco		0,5
Electrodos rotativos de soldadura al arco		0,7 a 0,9
Transformadores-rectificadores de soldadura al arco		0,7 a 0,9

5.10 Consecuencias del bajo factor de potencia

En una instalación eléctrica mientras mayor la cantidad de energía reactiva el factor de potencia se deteriora y como la potencia activa o real es constante, se necesita una mayor intensidad de corriente para satisfacer esta demanda, además este aumento de la corriente incrementa las pérdidas por calentamiento o efecto Joule que está dada por la expresión donde I es la corriente total y R es la resistencia eléctrica de los equipos (bobinados de generadores y transformadores, conductores de los circuitos de distribución, etc.).

Las pérdidas por efecto Joule se manifiestan en:

- Calentamiento de cables.
- Calentamiento de embobinados de los transformadores de distribución.
- Disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección.

Uno de los mayores problemas que causa el sobrecalentamiento es el deterioro irreversible del aislamiento de los conductores que, además de reducir la vida útil de los equipos, puede provocar cortos circuitos.

VI. Metodología

En esta metodología se hace un análisis de las características que un banco de capacitores debe reunir para llevar a cabo el suministro de potencia reactiva dentro de un sistema industrial, así como los criterios que se tienen que considerar para poder ser aplicados, contemplando tablas y conexiones para la selección del banco de capacitores.

1. Programación de los recursos y el tiempo

La primera actividad a realizar es concentrar y revisar toda la información disponible de la planta, tal como:

- o Nombre de la empresa.
- o Rama industrial a la que pertenece y productos que elabora.
- o Tamaño y edad de la planta.
- o Localización de la planta.
- o Horarios típicos de operación.

2. Recopilar datos y recorrido por la planta

Con el *ANALIZADOR DE CARGA FLUKE POWER LOGGER 1735* y *FLUKE POWER QUALITY ANALYZER 43B* , completamente digital se conseguirán los datos de los parámetros eléctricos como: potencia aparente (S), potencia reactiva (Q), potencia activa (P), factor de potencia (FP), además de las curvas del comportamiento de los parámetros eléctricos

3. Toma de mediciones en campo

Con los parámetros eléctricos que se adquieran con el analizador de redes como: los valores de potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia se procederá a realizar el diseño del banco de condensadores para la corrección del factor de potencia en la textil HANDSOLL S.A.

4. Analizar los datos

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad de ahorro de energía que ofrezca la instalación.

Luego de calcular la potencia reactiva en kvar para la corrección del factor de potencia, permitirá obtener el valor de los kVAr necesarios para no tener penalizaciones por un bajo factor de potencia y obtener beneficios técnicos-económicos

Finalmente se debe seleccionar el tipo del banco de condensadores según la potencia reactiva a compensar ya sea totalmente variable o fija, según especificaciones técnicas

5. Elaborar el informe final del estudio

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones del estudio, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía, al instalar un banco de condensadores, conteniendo las bases y los pasos seguidos en el análisis.

VII. Análisis de resultados para el calculo del banco de compensación

Con el analizador de carga FLUKE POWER QUALITY ANALYZER 43B y *ANALIZADOR DE CARGA FLUKE POWER LOGGER 1735* , se han obtenidos datos de la planta de los parámetros eléctricos como: potencia aparente (S), potencia reactiva (Q), potencia activa (P), factor de potencia (FP), además se han obtenido las curvas del comportamiento de los parámetros eléctricos que se muestran en el anexo B ; esto se ha logrado mediante el software del equipo del analizador de carga que permaneció tomando mediciones, durante un período de tiempo que va desde el 21 de abril al 26 de abril del 2022.

Con todos estos parámetros eléctricos y los datos obtenidos en el levantamiento de campo, se procederá al diseño del banco de condensadores y al cálculo del valor de los condensadores en kVAr, que permitirá realizar la corrección del factor de potencia en el caso que lo necesite el sistema eléctrico de la planta.

Los datos que desplegó el analizador de carga se muestran en la tabla 5, los cuales fueron obtenidos del software ***Power Quality Analyzer 43B (Ver anexo B)*** del analizador de carga. De esta manera el analizador de carga toma mediciones de los parámetros eléctricos, de manera instantánea; los mismos que facilitarán el análisis al obtener una mayor información de las variaciones de los parámetros eléctricos.

.

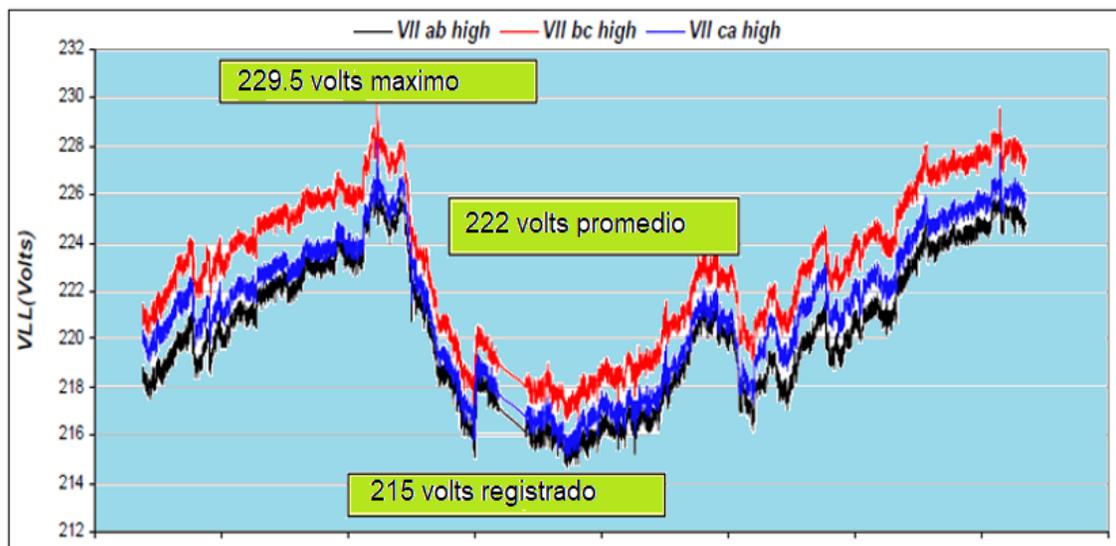
Medición de parámetros eléctricos

Una vez obtenidos estos datos se procedió a seleccionar parámetros eléctricos como: potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia. Estos datos se tomaron del periodo del 21 de abril al 26 de abril, para ser analizados y poder determinar cuanta potencia reactiva requiere la empresa y cómo varía el factor de potencia a diferentes horas del día.

Toma de datos de fenómenos electromagnéticos

El siguiente análisis de los parámetros eléctricos nos orientaran el estado de la red eléctrica, las perturbaciones si las existen y poder determinar la viabilidad del banco de capacitores para la compensación de reactiva, ya que la presencia de armónicas podría dañar el banco de compensación a instalar.

1. Voltaje Máximo de Línea

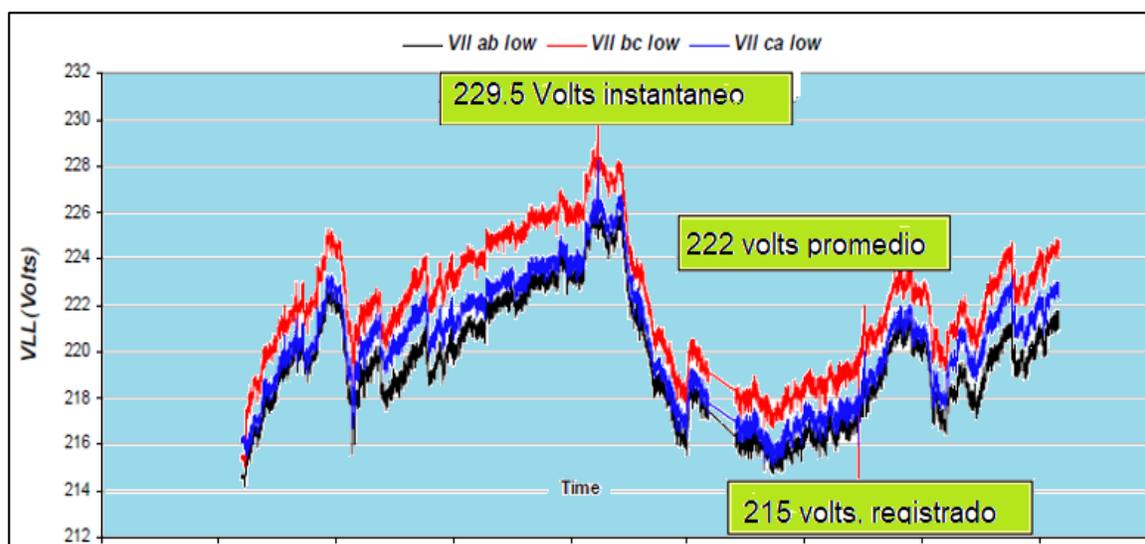


En la gráfica se muestra el perfil del voltaje máximo en un período de 24 horas. El comportamiento del voltaje promedio es de **222 Volts**, valor que se encuentra 0.74 % arriba del valor nominal de **220 Volts** de la red,

La ventana de variación presenta un máximo de **229.5 Volts** (4.50% arriba del valor nominal). Los valores máximos se presentaron de manera instantánea.

Sin embargo, estos valores se encuentran DENTRO del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-1999 tabla 4-3 (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

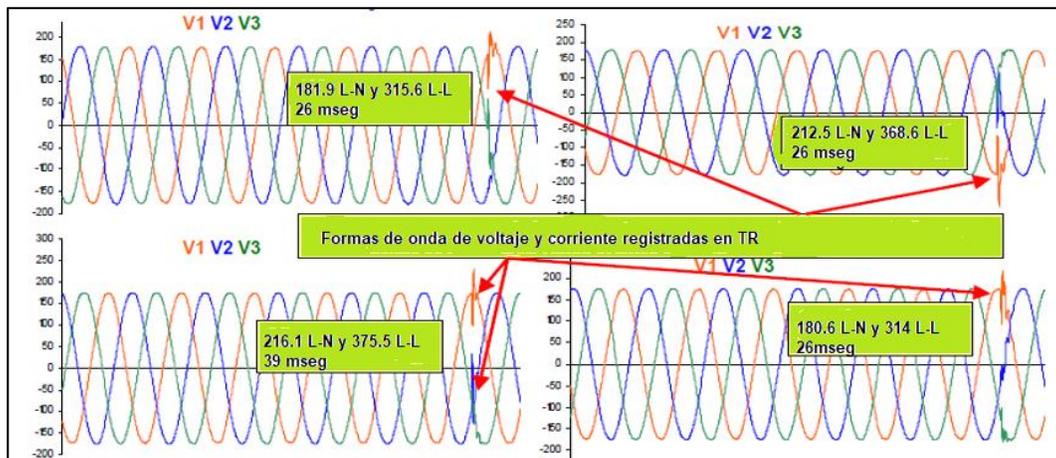
2. Voltaje Mínimo de Línea



En la gráfica se muestra el perfil del voltaje mínimo en un período de 24 horas. El comportamiento del voltaje promedio es de 222 Volts, valor que se encuentra 0.745 % arriba del valor nominal de 220 Volts de la red,

La ventana de variación presenta un mínimo de 215 Volts (-2.65% abajo del valor nominal). Los valores mínimos se presentaron de manera instantánea, sin embargo, estos valores se encuentran DENTRO del rango recomendado por el estándar IEEE (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

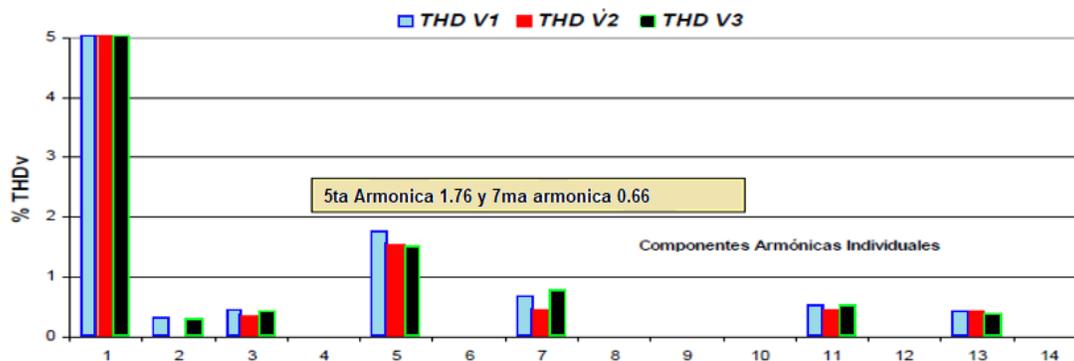
3. Eventos Transitorios de Voltaje



En los gráficos se muestran los eventos transitorios más altos registrados. La máxima magnitud fue de 375.5 Volts, con una duración de 39 mseg., lo cual representa un 71% arriba del valor nominal de 220 Volts.

Este tipo de evento se clasifica como "IMPULSO" y es generado de manera externa, o interna por cargas instaladas en la planta.

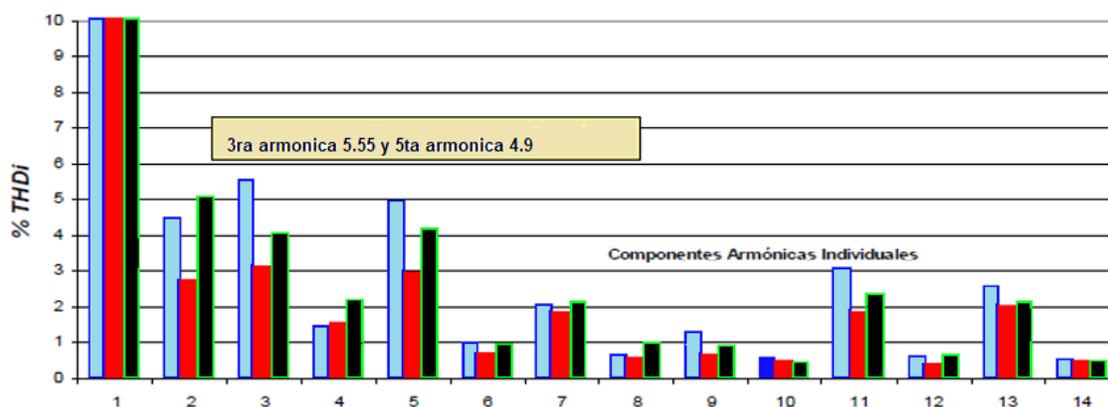
4. Espectro Armónico en la Señal de Voltaje (THDv)



En la gráfica se muestra el espectro armónico de la señal en voltaje (THDv) del suministro de la red eléctrica de entrada. Se presenta el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de observar las más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por el STD. 519-1992.

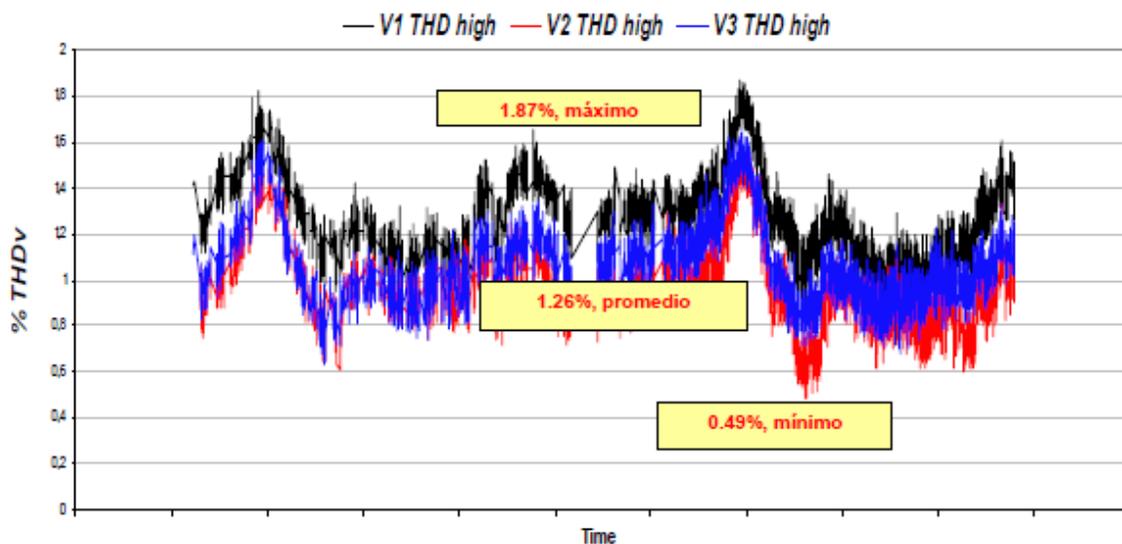
El valor total de THDv es de 1.87%, con una contribución individual principalmente de 5ª y 7ª armónicas.

5. Espectro Armónico en la Señal de Corriente (THDi)



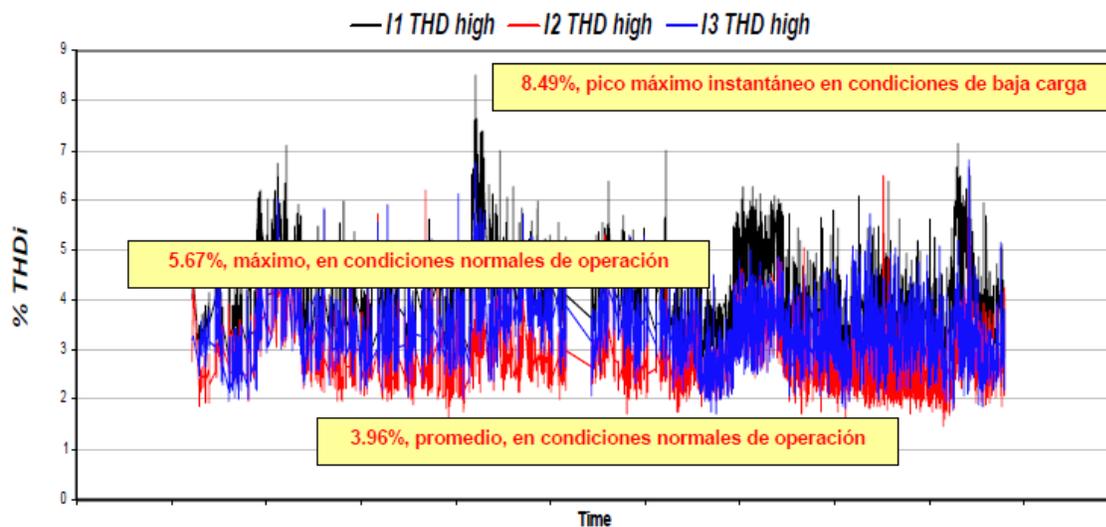
En la gráfica se muestra el espectro armónico de la señal en corriente (THDi) del suministro de la red eléctrica de entrada. Se presenta el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de observar las más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por el STD. 519-1992. El valor total de THDi es de 5.67%, con una contribución individual principalmente de 3ª y 5ª Armónicas. (Ver en el resumen el análisis armónico).

6. Distorsión Armónica en Voltaje (THDv)



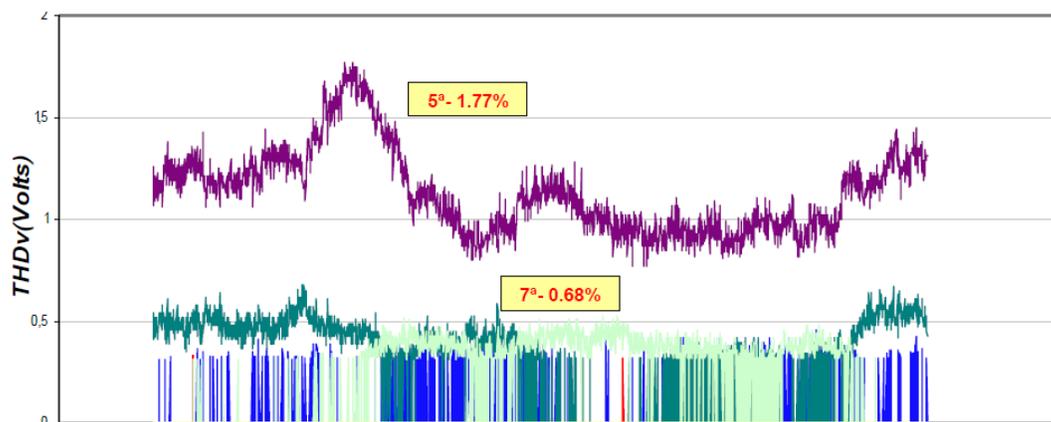
En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica en voltaje (THDv) en un período de 48 horas. Se registró un porcentaje promedio de 1.26% y un valor máximo de 1.87%, lo cual se encuentra DENTRO del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

7. Distorsión Armónica en Corriente (THDi)



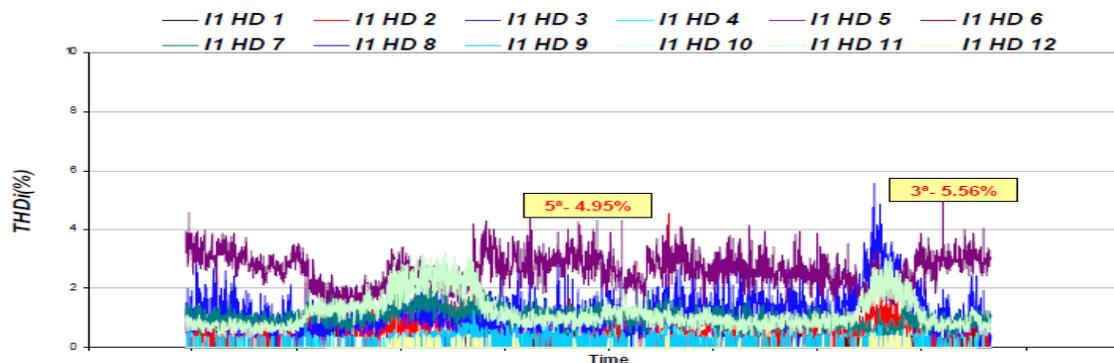
En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica en corriente (THDi) en un período de 24 horas. Se registró un porcentaje máximo de 5.67% y un valor promedio de 3.96%, lo cual se encuentra DENTRO del porcentaje recomendado por el STD. IEEE 519-1992.

8. Distorsión Armónica en Voltaje (Componente Individual) (THDv)



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica individual en voltaje en un período de 24 horas. Se registró un porcentaje máximo de 1.77% de 5ª armónica y un valor máximo de 0.68% de 7ª armónica, los cuales se encuentran DENTRO del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

9. Distorsión Armónica en Corriente (Componente Individual) (THDi)



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica individual en corriente en un período de 24 horas. Se registró un porcentaje máximo de 5.56% de 3ª armónica y un valor máximo de 4.95% de 5ª armónica, las cuales se encuentran DENTRO del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

Los parámetros medidos están acordes las normativas recomendadas, procederemos a realizar el calculo del banco de compensación.

Otros datos importantes de analizar son el historial de consumo de energía que son 92050 kwh al mes (Un promedio de horarios de operación de 12 horas), con 255.69 kW de demanda y el comportamiento del factor de potencia de la planta en el año 2022 mostrado en la figura.

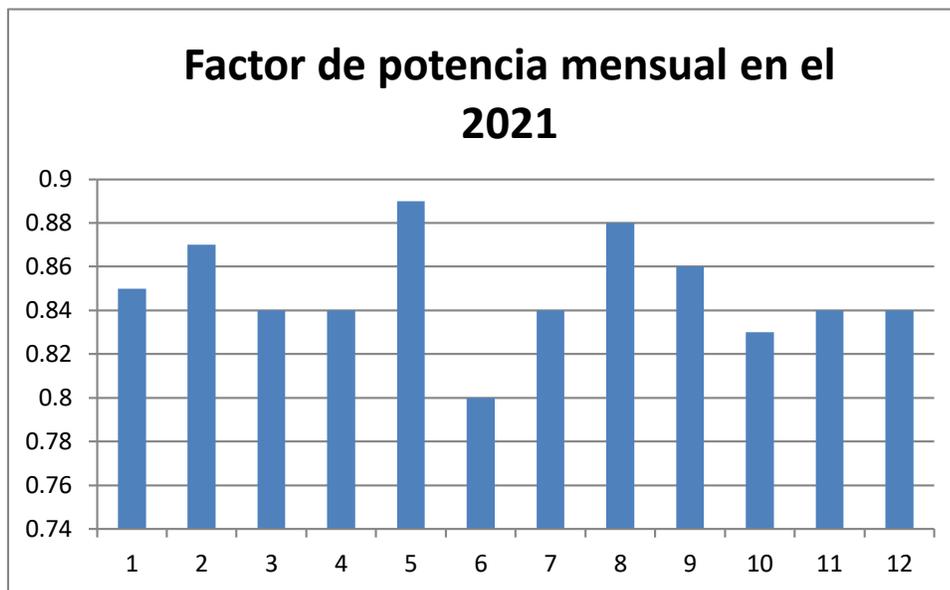


Figura: Factor de potencia mensual de la planta

A. Cálculo del banco de condensadores trifásico

Con los parámetros eléctricos que se adquirieron con el analizador de carga mostrados en el anexo B: los valores de potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia se procederá a realizar el diseño del banco de condensadores para la corrección del factor de potencia en la Empresa.

Estos parámetros permitirán seleccionar el tipo de banco de condensadores a utilizar, es decir, si se va a utilizar una compensación fija o una compensación variable automática; además se podrá seleccionar el valor de la potencia reactiva en kVAr del banco de condensadores, esta selección dependerá de la curva de carga, de la demanda de potencia reactiva y del factor de potencia de la empresa.

B. Cálculo de la potencia reactiva en kvar para la corrección del factor de potencia

Este cálculo permitirá obtener el valor de los kVAr necesarios para no tener penalizaciones por un bajo factor de potencia y obtener beneficios técnicos económicos. A continuación, se muestra el proceso para obtener el valor de la potencia reactiva necesaria que corregirá el factor de potencia.

Con los datos obtenidos por el analizador de carga mostrada en el anexo B o (Tabla), se procederá a calcular los kVAr necesarios en el período de tiempo de análisis. Con la ayuda de la tabla, se obtendrán los kVAr necesarios que requiere la planta para corregir el factor de potencia y no incurrir en penalizaciones.

Los datos a utilizar para obtener la potencia reactiva expresada en VAr (voltamperios reactivos) son: la potencia activa en vatios (P), el CosØ inicial (tomado por el analizador de carga), el ángulo Ø inicial y el ángulo Ø final (CosØ final deseado 0,96), a continuación, en la Tabla se muestra el resumen y el valor en faradio de los bancos de capacitores.

Cos φ	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.40	1.7246	1.7515	1.7790	1.8070	1.8357	1.8653	1.8961	1.9283	1.9626	1.9996	2.0407	2.0882	2.1488	2.2913
0.41	1.6579	1.6849	1.7123	1.7403	1.7690	1.7986	1.8294	1.8616	1.8959	1.9329	1.9740	2.0215	2.0821	2.2246
0.42	1.5940	1.6210	1.6485	1.6764	1.7052	1.7348	1.7655	1.7978	1.8321	1.8691	1.9101	1.9577	2.0183	2.1608
0.43	1.5329	1.5599	1.5873	1.6153	1.6440	1.6736	1.7044	1.7367	1.7709	1.8079	1.8490	1.8965	1.9571	2.0996
0.44	1.4742	1.5012	1.5286	1.5566	1.5853	1.6149	1.6457	1.6780	1.7122	1.7492	1.7903	1.8378	1.8984	2.0409
0.45	1.4178	1.4448	1.4722	1.5002	1.5289	1.5585	1.5893	1.6216	1.6558	1.6928	1.7339	1.7814	1.8420	1.9845
0.46	1.3635	1.3905	1.4179	1.4459	1.4746	1.5043	1.5350	1.5673	1.6016	1.6386	1.6796	1.7272	1.7878	1.9303
0.47	1.3113	1.3383	1.3657	1.3937	1.4224	1.4520	1.4828	1.5151	1.5493	1.5863	1.6274	1.6750	1.7355	1.8780
0.83	0.1053	0.1323	0.1597	0.1877	0.2164	0.2460	0.2768	0.3091	0.3433	0.3803	0.4214	0.4689	0.5295	0.6720
0.84	0.0792	0.1062	0.1336	0.1616	0.1903	0.2199	0.2507	0.2830	0.3173	0.3543	0.3953	0.4429	0.5034	0.6459
0.85	0.0530	0.0800	0.1074	0.1354	0.1641	0.1937	0.2245	0.2568	0.2911	0.3281	0.3691	0.4167	0.4773	0.6197
0.86	0.0266	0.0536	0.0810	0.1090	0.1378	0.1674	0.1981	0.2304	0.2647	0.3017	0.3427	0.3903	0.4509	0.5934
0.87	0.0000	0.0270	0.0544	0.0824	0.1111	0.1407	0.1715	0.2038	0.2380	0.2751	0.3161	0.3637	0.4242	0.5667
0.88	-0.0270	0.0000	0.0274	0.0554	0.0841	0.1137	0.1445	0.1768	0.2111	0.2481	0.2891	0.3367	0.3973	0.5397
0.89	-0.0544	-0.0274	0.0000	0.0280	0.0567	0.0863	0.1171	0.1494	0.1836	0.2206	0.2617	0.3093	0.3698	0.5123
0.90	-0.0824	-0.0554	-0.0280	0.0000	0.0287	0.0583	0.0891	0.1214	0.1556	0.1927	0.2337	0.2813	0.3418	0.4843
Qc	Preactiva	83.887638				V	220	Vrms		Fp1	0.85		θ	31.79
C	4.597E-06		255.69	Watts		F	60	Hz		Fp2	0.96		θ	16.26
C	4.5974973	mF	Pactiva											

Tabla: cálculo de la capacidad del banco de capacitores

Resultados

Entonces según la tabla, se necesitará compensar una potencia reactiva de 83.88 kVAr que asegurará un factor de potencia de 0,96. El banco tendrá una capacitancia de 4.59 microfaradios para su diseño con valores de voltajes de 240 voltios.

La potencia reactiva a compensar es totalmente variable de acuerdo a los cálculos se procederá a realizar la selección del tipo de compensación, que por ser variable el FP, sería mejor automático con lo que se realizará la corrección del factor de potencia.

Por tanto, el ajuste del parámetro C/K permitirá el accionamiento de los pasos siguientes, una vez accionado el primer paso y si el controlador de factor de potencia detecta un $\text{Cos}\phi$ medio, accionará el siguiente paso y se tendrá una potencia reactiva mayor. De igual manera cuando el controlador de factor de potencia detecte un valor de $\text{Cos}\phi$ mínimo accionará el siguiente paso. Finalmente se logrará que en cualquier momento del día se tenga un factor de potencia lo más cercano a 0,96. Como se muestra en la tabla 8.

Ahorros

Paneles de Distribución	KW	KVAR	KVA	FP
Panel 1	255	83.88	266.34	0,96

Tabla 8: Cálculos de potencia corregida

Características de tarifas horarias T3-MTH y T3-BTH según normas Nicaragua

Para los clientes de Grandes Demandas se efectuará la medición de energía por bloque horario típico, la medición de la demanda máxima de potencia en el bloque horario de punta, y la demanda máxima de potencia en el período fuera de punta. Las tarifas por el servicio convenido en cada punto de entrega y opción tarifaria, estarán compuestas por:

- Un cargo fijo mensual, independiente de los consumos registrados, de acuerdo a la capacidad de suministro contratada.
- Un cargo por cada kW de la capacidad de suministro en punta convenida, haya o no consumo de energía.
- Un cargo por cada kW de la capacidad de suministro fuera de punta convenida,

haya o no consumo de energía.

- Un cargo por la energía eléctrica entregada, de acuerdo con el consumo registrado en cada uno de los bloques horarios: punta, madrugada y horas restantes.
- Si correspondiere, un recargo por factor de potencia.

Cargo por bajo factor de Potencia.

Cargo por factor de potencia. Se aplica sólo a servicios con medición de reactiva cuando el factor de potencia registrado es menor de 0.85.

En este caso no existe penalización por bajo factor de potencia, por lo tanto, resultaría costoso compensar la energía reactiva de los equipos y esta inversión no será reflejada en la factura eléctrica.

Pliego tarifario de la Distribuidora de energía eléctrica en Nicaragua

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA ENTE REGULADOR					
TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE MAYO DE 2022					
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR					
BAJA TENSION (120,240 y 480 V)					
	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR	
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
RESIDENCIAL	Exclusivo para uso de casas de habitación urbanas y rurales	T-0	Primeros 25 kWh	2.4257	
			Siguientes 25 kWh	5.8023	
			Siguientes 50 kWh	6.0834	
			Siguientes 50 kWh	8.0862	
			Siguientes 350 kWh	8.2037	
			Siguientes 500 kWh	13.0301	
Adicionales a 1000 kWh	14.8458				
GENERAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud, Centros de Recreación, etc.)	T-1	TARIFA MONOMIA		
			0-150 kWh	5.4647	
		> 150 kWh	8.5296		
		T-1A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Todos los kWh	6.1830	
			kW de Demanda Máxima		736.7371
GENERAL MAYOR	Carga contratada mayor de 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud, Hospitales, etc.).	T-2	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Todos los kWh	6.3938	
			kW de Demanda Máxima		762.1321
INDUSTRIAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso industrial (Talleres, fabricas, etc).	T-3	TARIFA MONOMIA		
			Todos los kWh	7.4497	
			T-3A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL	
			Todos los kWh	5.2546	
			kW de Demanda Máxima		699.8924

Fuente: <https://www.ine.gob.ni/index.php/electricidad/pliegos-tarifarios-disnorte-dissur/pliegos-tarifarios-disnorte-dissur-2022/#>

VIII. Conclusiones

Se logro realizar un diagnóstico de consumo en el sistema eléctrico de la planta HANDSOLL para medir variables como Voltaje, armónicos, factor de potencia, Potencia Activa, Potencia Reactiva y Potencia Aparente, estas mediciones aportaron información para el análisis de la red eléctrica y las posibles perturbaciones.

Se logro realizar el dimensionamiento del banco de condensadores con los cálculos se **compensará una potencia reactiva de 83.88 kVAr que asegurará un factor de potencia de 0,96. El banco tendrá una capacitancia de 4.59 microfaradios para su diseño con valores de voltajes de 240 voltios.** Todo esto se logró con la ayuda de varios métodos.

El resultado de esto es que en la realidad casi toda la corrección del factor de potencia consiste en agregar un capacitor para cancelar los efectos inductivos

A los clientes residenciales no se les cobra directamente en VAR, esto es, pagan sus cuentas de electricidad con base sólo en el número de kilowatts-hora que usan. Esto es porque todos tienen en esencia el mismo factor de potencia y el efecto de éste simplemente se incluye en las tarifas que pagan.

Por otro lado, los clientes industriales, con frecuencia tienen factores de potencia que difieren ampliamente y la compañía eléctrica tiene que supervisar sus VAR, o su factor de potencia, así como sus watts, para determinar una tarifa de cobro apropiada.

Ya que se requieren conductores más largos, transformadores más grandes, interruptores más grandes, etc., para manejar corrientes mayores. Por esta razón, los clientes industriales pueden pagar multas si su factor de potencia cae por debajo de un valor establecido por la compañía

IX. Bibliografía

1. EDMINISTER, Joseph y NAHVI, Mahmood, “*Circuitos Eléctricos*”, Editorial McGraw-Hill, Madrid-España, 1997
2. Hayt Sadiku Alexander A. (2013). Fundamentos de circuitos eléctricos. España. McGraw Hill
3. Allan H. Robbins .(2008) Análisis de circuitos- Teoría y práctica. Cuarta edición. México. Editores SA de CV
4. Tomas Floy. (2007). Principios de circuitos eléctricos. México. PRENTICE HALL.
5. GÖNEN, Turan; Electric Power Distribution System Engineering. McGraw-Hill. 1986.
6. IEEE Std 1036-1992, IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors. 1992.
7. www.SchneiderElectric.com, “Capitulo 2 Compensación de Energía Reactiva, 2007.pdf
8. Características Eléctricas de Transformadores trifásicos. Ecuatran.
9. Effect of power factor on equipment size. Bulletin D-412C. Square D Company
10. Guía para la corrección del Factor de potencia para el Ingeniero de Planta. Manual SPRAGUE Electric Com.
11. www.fluke.com, FLUKE CORPORATION, 1735 Power Logger Manual de Uso, marzo, 2022
12. Capacitores de Potencia tipo seco de baja Tensión. Luminex
13. Guía de utilización de los condensadores BT. Merling Gering.
14. Reactive power compensation and harmonic filtering. Rectiphase LV capacitors