

Corrección del factor de potencia con banco de condensadores para optimizar el sistema eléctrico en baja tensión, SENATI Chimbote 2015.**The capacitors bank power factor correction to optimize the electrical system in low voltage, SENATI Chimbote 2015.****Correção de fator de potência com banco de capacitores para otimizar o sistema elétrico de baixa tensão, SENATI Chimbote até 2015.****Juan Villafana Borja¹, Jaime Gutiérrez Ascón¹, César López Aguilar¹, Roberto Chucuya Huallpachoque²****Resumen**

El objetivo principal del presente trabajo de investigación consistió en calcular la potencia reactiva del SENATI Chimbote, para compensarla a un nivel de 0.97 y con ello se tomó la decisión de diseñar el banco de condensadores para controlarla. La selección muestral al 95 % de confianza fue de 83 personas de la especialidad de Construcciones Metálicas y Electrotecnia para lo que aplicó técnicas de entrevistas, encuestas, documentación y se utilizó instrumentos como fichas y la escala de Likert. Se diseñó la capacidad del banco automático el que proporcionará a la instalación la potencia reactiva necesaria para lograr un factor de potencia de 0,97. Este banco de condensadores se instalará en el Taller de Construcciones Metálicas: este equipo debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir mantener el Costo objetivo de la instalación. Nuestro resultado determinado por las ecuaciones 4 y 5, permitió calcular la potencia reactiva que necesita el banco de condensadores para realizar la compensación. Al tomar la energía reactiva del banco de condensadores evitaremos pagar sobrecostos en la facturación a la empresa Hidrandina, contrastando la hipótesis general a un 95% de confianza diremos que la corrección del factor de potencia, por medio de un banco de condensadores, contribuye a disminuir la potencia reactiva del Sistema Eléctrico del Centro de Formación Profesional - SENATI Chimbote, año 2015.

Palabras clave: Potencia reactiva, banco automático, variación de potencia, compensación, Condensadores.

Abstract

The main objective of the present work of investigation consisted in calculate it reactive power of SENATI Chimbote to compensate it the un level of 0.97 and with it to take it decision of design the capacitor bank to controlarla, it muestral selección al 95% de confianza fue 83 personas de la specialty of Construcciones y Electrical Steel for it to apply interviewing techniques, surveys, documentation and to use instruments such as chips and the Likert scale. If Diseño la capacidad del el automatic bank will provide a la instalación it necesaria reactive power to achieve un power factor of 0.97. This bank of capacitors will be installed en el taller metal construcciones, this equipo debe be able to adecuarse a las variaciones reactive power de la instalación to get mantener el $\cos \phi$ goal de la instalación. Nuestro result determined by them ecuaciones 4 and 5, it permitió calculate reactive power which needs el capacitor bank to make it compensación. Al make it reactive energía del bank will avoid capacitors pay overruns en la facturacion a la Hidrandina company, contrasting it hipótesis general un 95% de confianza will say that it corrección del power factor by measuring un capacitor bank, contribuye the disminuir it reactive power system Electric del del Centro de Formación Profesional - SENATI Chimbote, año 2015.

Keywords: reactive power, automatic bank, power variation, compensation capacitors.

Resumo

O principal objetivo deste trabalho foi calcular a potência reativa de SENATI Chimbote, para tornar-se a um nível de 0,97 e, portanto, a decisão de criar o banco de capacitores é tomada para controlar a seleção da amostra a 95% de confiança foi usado 83 pessoas metal especialidade e construção elétrico para o que as técnicas aplicadas entrevistas, pesquisas, documentação e ferramentas, tais como batatas fritas e escala de Likert. Capacidade de banco automático é projetado para fornecer potência reativa instalação necessário para atingir um fator de potência de 0,97. Este banco de capacitores está instalado na fábrica de construções de metal, este equipamento deve ser capaz de se adaptar às mudanças na instalação de potência reativa para a manutenção das

¹Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad César Vallejo. Chimbote, Perú. juvillafanab@hotmail.com

²Escuela de Ingeniería en Energía. Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú.

Recibido: 14 de diciembre del 2015
Aceptado: 18 de diciembre del 2015

Cos ϕ do destino de instalação. Nossa determinado pelas equações 4 e 5, os resultados permitiram calcular a potência reativa necessária pelo banco de capacitores para a compensação. Ao tomar potência reativa do banco de capacitores que evitar o pagamento de custos adicionais no faturamento da empresa Hidrandina, contrastando a hipótese geral de 95% de confiança dizer que a correção do fator de potência por meio de um banco de capacitores, ajuda a reduzir potência reativa Elétrica Training Center System - SENATI Chimbote de 2015.

Palavras-chave: energia reativa, banco automático, variação de potência, compensação, Capacitores.

Introducción

Existen en el mercado materiales, equipos, máquinas, instrumentos, etc. de buena, mediana y baja calidad, los cuales se reflejan en sus costos, como SENATI, que es una Empresa de Formación y Capacitación Técnica a nivel Nacional, y que compra grandes lotes de equipos para renovar y actualizar sus talleres de enseñanza aprendizaje teórico práctico, lo que lleva a tratar de economizar sus costos y también a las ofertas que ofrecen las distintas empresas proveedoras. También a mi parecer el Área de Logística no tiene el suficiente conocimiento claro de cada uno de los distintos materiales, equipos, máquinas, instrumentos, etc. Podría ser que por las muchas carreras que tiene el SENATI a nivel nacional en sus 54 años de vida, ellos realizan las compras en forma corporativa y posiblemente no se están asesorando lo suficientemente para la adquisición de todo el equipamiento que se recibe en todos los centros de Formación Profesional a nivel nacional y también los equipos que tienen mayor uso en las empresas en el Perú son por lo general de marcas más usadas y tienen mayor costo, entonces están optando por comprar de marcas poco conocidas y que por lo tanto tienen un costo más reducido. Esta renovación y actualización de materiales, equipos, máquinas, instrumentos, etc. es muy importante en un centro técnico; especialmente con la trayectoria que tiene el SENATI a nivel nacional; esto es debido que permanentemente está actualizando la currícula de todas las carreras mediante los comités consultivos de las distintas especialidades, para estar de acuerdo al avance de las tecnologías de muchas empresas nacionales. Al ser una empresa grande, para poder equipar y renovar en un proceso continuo todos los Centros de Formación Profesional a nivel Nacional, optó en algunas compras reducir costos, lo que llevó a disminuir la calidad de consumo eficiente de energía eléctrica, tratar de reducir costos en la adquisición, y también cuenta con equipos antiguos que aún se siguen utilizando en las prácticas de laboratorio. Por las actividades que realiza el SENATI Chimbote en sus labor diaria con los más de 1200 aprendices en las Áreas de Electrotecnia, Mecánica Automotriz, Construcciones Metálicas, Mecánica de Mantenimiento y otras especialidades menores. Todos los equipos que tienen bobinas y condensadores tienden a consumir energía reactiva; actualmente existen equipos de mejor calidad que reduce el consumo de esta energía, pero que tienen un mayor costo, en SENATI, se utilizan muchos motores, equipos fluorescentes con reactores normales (no son electrónicos) y máquinas de soldar que consumen mucha energía reactiva, lo cual repercute en el sistema eléctrico del Centro de Formación Profesional. La energía eléctrica es causada por el movimiento de las cargas eléctricas en el interior de los materiales conductores. Esta energía produce, fundamentalmente, 3 efectos: Luminoso, térmico y magnético. Ejemplo: La transportada por la corriente eléctrica en las empresas y que se manifiestan al encender motores eléctricos, según el tipo de aplicación la energía que es entregada es activa, reactiva o la combinación de ambas. La energía activa es la que se convierte luz, calor o en trabajo mecánico y la energía reactiva es la que crea el campo electromagnético y campo eléctrico. La energía eléctrica utilizada en el Centro de Formación Profesional SENATI Chimbote, para el funcionamiento de las diferentes máquinas y equipos como iluminación, ventilación, refrigeración, arranque de motores trifásicos y monofásicos, bombeo del sistema hidroneumático, sistema de bombeo contra incendios, iluminación, máquinas de soldar, etc., todos ellos toman la energía eléctrica de la subestación a través de un transformador reductor de media a baja tensión en condiciones normales de trabajo. Todo este consumo de energía eléctrica que genera el funcionamiento de los diversos sistemas y se cargan al transformador, producen un incremento de consumo de energía, llamada potencia reactiva. En consecuencia, un exceso de consumo energía reactiva produce:

- Calentamiento de cables.
- Calentamiento de embobinados de los transformadores de distribución, y
- 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 corto circuitos son: La sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución; el exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los generadores, transformadores y líneas de distribución trabajen con cierta sobrecarga y reduzcan su vida útil, debido a que estos equipos, se diseñan para un cierto valor de corriente y para no dañarlos, se deben operar sin que este se rebase. El aumento de la caída de tensión debido a la circulación de corriente a través de los conductores ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones de origen y la que lo canaliza, resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida. Esta caída de voltaje afecta a:

- Los embobinados del transformador de distribución.
- Los cables de alimentación.
- Sistemas de protección y control.

Por lo que el incremento en la facturación eléctrica debido a que un bajo factor de potencia implica pérdidas de energía en la red eléctrica, por lo tanto un mayor costo de la energía eléctrica.

Una forma de que las empresas de electricidad a nivel nacional e internacional hagan reflexionar a las industrias sobre la conveniencia de generar o controlar su consumo de energía reactiva ha sido a través de un cargo por demanda, facturado en soles por kVA, es decir cobrándole por capacidad suministrada en kVA. Factor donde se incluye el consumo de los kVA_r que se entregan a la industria.

Ante esto se ve la necesidad de diseñar un banco de condensadores, que ayude a mejorar el factor de potencia con el objetivo de disminuir la potencia reactiva, disminuir el recargo por consumo de energía reactiva y contribuir a disminuir la potencia aparente del sistema eléctrico del C.F.P SENATI Chimbote. No se ha encontrado antecedentes directos donde exista información referente a los resultados obtenidos a partir del diseño de un banco de condensadores implementada en Centros de Formación Profesional, sin embargo podemos mencionar diversos estudios realizados sobre factor de potencia, banco de condensadores, cálculo y diseño de implementación e instalación en diversas empresas industriales así como estudios específicos y estratégicos relacionados a esta investigación.

Gómez Morales, Enrique. En su trabajo de grado titulado “Compensación de potencia reactiva, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, unidad profesional Adolfo López Mateos”, México. 2009. 94 pág. dijo lo siguiente: “En el presente trabajo se realizó la compensación de potencia reactiva en una industria mostrando los beneficios obtenidos al llevar a cabo la compensación de potencia reactiva por medio de bancos de capacitores, demostrando que al corregir el factor de potencia se logra alcanzar un ahorro mensual del 9% en las facturas eléctricas una vez que se corrigió el factor de potencia, esto sumado a los beneficios obtenidos por la disminución de pérdidas en los alimentadores, reducción del calibre de conductores y la liberación de capacidad en los transformadores en un 20%, los cuales se presentan en la simulación realizada en el Power World Simulator 13 para analizar los flujos de carga, justificando con ello el empleo de bancos de capacitores en un sistema industrial”. Para la realización de este trabajo se consultó la norma mexicana NMX-J-203/1-ANCE, esta norma indica las especificaciones técnicas y lineamientos que se deben cumplir para la utilización de bancos de capacitores en baja y media tensión, así como las consideraciones tomadas del Manual de Compensación de Potencia Reactiva, elaborado por el grupo Schneider Electric. También se consideró el uso de las facturas eléctricas del Grupo Industrial S.A. de C.V. de la guía de aplicación de tarifas eléctrica de la compañía de Luz y Fuerza del Centro, así como las tarifas actuales de esta misma compañía. Los métodos para efectuar el cálculo del factor de potencia obtenidos en la metodología que aquí se presenta, donde estas pueden variar dependiendo de los datos que se tengan, uno de estos métodos que se presentan es por el método de tablas, con equipos de medición de energía y por medio de la tarifa eléctrica principalmente, esto con la finalidad de dar más herramientas para el cálculo de compensación de potencia reactiva y cálculo del factor de potencia. En este trabajo se llega a la conclusión que el método de compensación individual es el más efectivo dado que se reducen tanto las pérdidas por efecto Joule, en las líneas como la reducción de las capacidades de los transformadores, pero también es el más costoso ya que se tiene que conectar un banco por cada carga que se tenga conectado en el sistema, mientras que en los otros casos se puede tener un banco

por un grupo determinado de cargas o un banco que realice la compensación de todo el sistema, minimizando con ello los costos por compra de capacitores. Sin embargo la metodología que se desarrolla en este trabajo, tiene limitantes dado que no se realiza un estudio a fondo del comportamiento del sistema, puesto que se debe contemplar parámetros como la distribución de las cargas, la configuración del circuito y la regulación de tensión, para efectuar una compensación de potencia reactiva adecuada, sin embargo es una gran herramienta para poder analizar y contemplar los beneficios y los puntos a considerar para la aplicación de bancos de capacitores si se requiere compensar potencia reactiva a un sistema industrial.

Ramírez Chávez, Mizdrain Israely, en su trabajo de grado titulado: “Ahorro de energía por corrección del factor de potencia”. Santiago de Querétaro México. Universidad Tecnológica de Querétaro. 2013. 43 pág. dijo lo siguiente: “El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en la planta fabricante de cemento Portland, en el departamento de trituración de agregados al cemento”. En vista de los aumentos y la situación energética que atraviesa el país, se tuvo necesidad de iniciar un proyecto cuya finalidad es reducir el consumo de energía eléctrica, así como también los costos de la empresa. El desarrollo del mismo se llevó a cabo mediante la realización de un plan de trabajo, mediciones de parámetros eléctricos, recopilación de datos de producción, cálculo y propuesta de equipos, análisis de costos y de facturación. Con los resultados obtenidos por el proyecto. Se podrán reducir las pérdidas de manera significativa, reduciendo el costo tan elevado que se tenía, se demostró que tener un bajo factor de potencia representa altos costos, y el usar un banco de capacitores implica una inversión que será recuperada en poco tiempo. Como conclusiones resaltan más cuando el factor de potencia es causa de recargos en la cuenta de energía eléctrica, los cuales llegan a ser significativos cuando el factor de potencia es reducido, cuando limita la capacidad de los equipos con el riesgo de incurrir en sobrecargas peligrosas y pérdidas excesivas con el dispendio de energía. Otro de los puntos importantes es que el costo de los capacitores se recupera rápidamente, la corrección del factor se previene mediante la selección y operación correcta de los equipos, los bancos de capacitores son la forma más práctica y económica para mejorar el factor de potencia.

En el Perú, el Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial-SENATI, es de una importancia estratégica para la educación técnica a nivel local y nacional. La sede Chimbote inició con las especialidades Construcciones Metálicas y Mecánica de Mantenimiento, que son con el tiempo se incrementaron: Mecánica Automotriz, Mecánica Diésel, Refrigeración Industrial, Electricidad Industrial, Aseguramiento de la Calidad y Productos Hidrobiológicos, debido a esta demanda de equipos, el Taller de Construcciones Metálicas se convirtió en el taller que más potencia eléctrica consume y ocasiona la mayor caída de tensión y mayor consumo de potencia reactiva, producto de la cantidad de máquinas de soldar, motores eléctrico y equipos instalados; también se incrementa la corriente sobrecargando los circuitos eléctricos, debido a los aprendices de soldadura que al empezar su proceso de aprendizaje con las máquinas de soldar, se les pega las varillas de soldadura en las placas de hierro.

SENATI Chimbote cuenta con una subestación eléctrica, como fuente principal de energía, la cual es la encargada de suministrar energía a todas las áreas en condiciones normales de trabajo. Esta subestación, está compuesta por un transformador seco de 400kVA.

En un circuito industrial de corriente alterna, el factor de potencia afecta directamente la eficiencia del mismo, en una instalación es necesario conocer las causas y las desventajas de tener un bajo factor de potencia y los métodos para mejorarlo. Cuando este factor disminuye las consecuencias son: Incremento de las pérdidas por efecto Joule manifestado por calentamiento de cables, calentamiento de embobinados de los transformadores de distribución; y, disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección.

Por otro lado ocasionando el sobrecalentamiento de cables reduce la vida útil de los equipos siendo causa probable de corto circuitos; Cuando se sobrecargan los generadores, transformadores trabajan a sobrecarga lo que reduce la vida útil. Cuando aumenta la caída de tensión se produce una pérdida de potencia ocasionando caída de voltaje afecta embobinados del transformador, cables de alimentación y sistema de protección y control; igualmente este bajo factor de potencia implica costo de la energía eléctrica.

El retraso de la corriente en relación a la tensión es producido por las cargas inductivas originadas por bobinados. Para corregir este desfase lo que se necesita hacer es producir un efecto contrario, es decir adelantar la corriente en relación a la tensión; esto se logra instalando componentes capaces de producir cargas capacitivas, con el fin de corregir el desfasaje producido y de esta manera disminuir las cargas reactivas, transformando la potencia aparente en mayor potencia activa o útil, aumentando el factor de potencia hasta los niveles óptimos de referencia que en este caso sería conveniente a 0.97, por tanto la instalación de capacitores o baterías de capacitores es la práctica más usada para la compensación del factor de potencia.

Actualmente el consumo de energía eléctrica es alto, en todo el sistema eléctrico del Centro de Formación Profesional SENATI Chimbote; ello debido al consumo elevado de energía reactiva. Luego de realizar un estudio preliminar de mediciones y lecturas, se dio una primera conclusión, que existe un bajo factor de potencia, y por ende un exceso de consumo de potencia reactiva de los equipos eléctricos, llevándonos a una posible solución y proponer la siguiente pregunta:

¿En qué medida la corrección del factor de potencia, por medio de un banco de condensadores contribuye a disminuir la potencia reactiva del Sistema Eléctrico del Centro de Formación Profesional - SENATI Chimbote, año 2015?. Para responder esta interrogante, se propuso mejorar la compensación de la energía reactiva para contribuir en disminuir el recargo por consumo de energía reactiva; igualmente, evaluó de qué manera el banco de condensadores contribuye a disminuir la potencia aparente del Sistema Eléctrico de SENATI en la ciudad de Chimbote, año 2015.

Con la implementación del proyecto propuesto, el Centro de Formación Profesional, SENATI Chimbote obtendrá beneficios como ahorrar energía reactiva que es improductiva y de este modo evitarse el cargo por bajo factor de potencia que cobra la compañía suministradora, ahorros por concepto de pérdidas (en cables, motores y transformadores).

Un factor de potencia óptimo se logra con un nivel adecuado de compensación de potencia reactiva, el cual va a permitir una correcta selección de componentes del sistema eléctrico, evitando el sobredimensionamiento de los conductores, ocasionando gastos innecesarios para mantener un sistema eléctrico eficiente.

En el presente artículo que considera un proceso lógico – científico donde, a nivel de tesis en la investigación, probamos que si aplicamos la corrección del factor de potencia, por medio de un banco de condensadores; entonces, se contribuye a disminuir la potencia reactiva del Sistema Eléctrico del Centro de Formación Profesional - SENATI Chimbote, año 2015.

Materiales y métodos

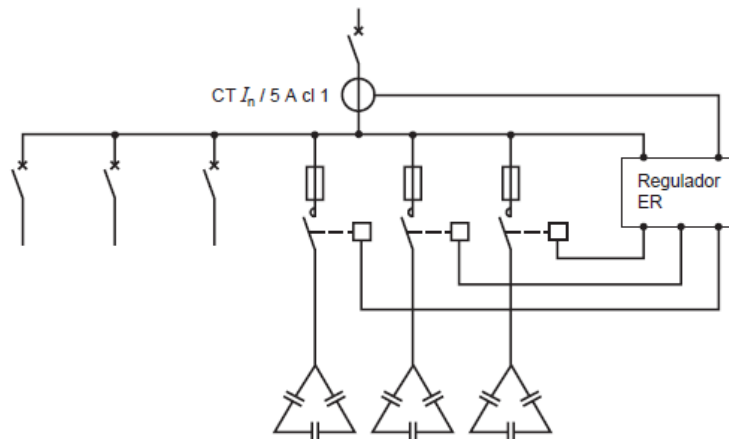
La presente investigación es correlacional porque buscamos encontrar como el Sistema Eléctrico se relaciona o es influenciada por la variable de investigación independiente corrección del factor de potencia; igualmente, el diseño es pre experimental porque se manipulará la variable independiente al describir el comportamiento cuando se midan los parámetros eléctricos, para diseñar el banco de condensadores, donde la variable de observación e interés es la corrección del factor de potencia.

La población en esta investigación considera a los sujetos como dueños del problema N=83 personas y el objeto de la investigación es el Taller de Construcciones Metálicas de SENATI. El muestreo se realizará con $(1-\alpha) = 0,95$ (95%).

Se diseñará la capacidad del banco automático el que proporcionará a la instalación la potencia reactiva necesaria dentro de unos límites cercanos a un factor de potencia de 0,97. Este banco de condensadores se instalará en el Taller de Construcciones Metálicas. Este equipo debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir mantener el $\text{Cos } \varphi$ objetivo de la instalación. Los elementos a instalar serán el regulador que medirá el $\text{Cos } \varphi$ de la instalación y dar las órdenes a los contactores para intentar aproximarse lo más posible al $\text{Cos } \varphi$ objetivo, conectando los distintos escalones de potencia reactiva; también, los contactores serán los elementos encargados de conectar los distintos condensadores que configuran la batería y finalmente los condensadores quienes aportarán la energía reactiva a la instalación.

Además, para el correcto funcionamiento del equipo de compensación automática se toman datos de la instalación con los elementos externos que permiten actuar correctamente al equipo. La lectura de intensidad se toma por un amperímetro conectado a un transformador de intensidad que lee el consumo total de corriente de la instalación; la lectura de tensión se realiza en la batería; esta información de la instalación del amperímetro y voltímetro le permite al regulador automático efectuar el cálculo del $\text{Cos } \varphi$ existente en la instalación en todo momento (continuamente), conectando y desconectando automáticamente los condensadores. La batería de condensadores mostrada en la figura siguiente es el equipo de corrección del factor de potencia automática que incluye contactores estáticos.

Figura 1: Compensación automática.



Fuente: Catálogo Schneider Electric.

Para compensar el factor de potencia de la instalación trifásica se calculó el valor de la corriente total I .

$$I1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \text{Cos } \varphi1} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Aplicando la siguiente fórmula se obtuvo la potencia reactiva que debe producirse localmente Qc :

$$Qc = P (\text{tg } \varphi1 - \text{tg } \varphi2) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Por efecto de la corrección, el nuevo valor de corriente reducida se calculó con la ecuación:

$$I2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \text{Cos } \varphi2} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Con todo ello, las ventajas principales que se consigue son:

Uso optimizado de las máquinas eléctricas; Uso optimizado de las líneas eléctricas, reducción de las pérdidas y la reducción de la caída de tensión.

Resultados

Nuestro resultado determinado por las ecuaciones:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \text{Cos } \varphi1} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$Qc = P (\text{tg } \varphi1 - \text{tg } \varphi2) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Permitirá calcular la potencia reactiva que necesita el banco de condensadores para realizar la compensación.

Ahorrar energía reactiva que es improductiva y de este modo evitarse el cargo por bajo factor de potencia que cobra la compañía suministradora, ahorros por concepto de pérdidas (en cables, motores y transformadores).

¿De qué manera la compensación de la energía reactiva contribuye en disminuir el recargo por consumo de energía reactiva del Sistema Eléctrico de SENATI Chimbote, año 2015?

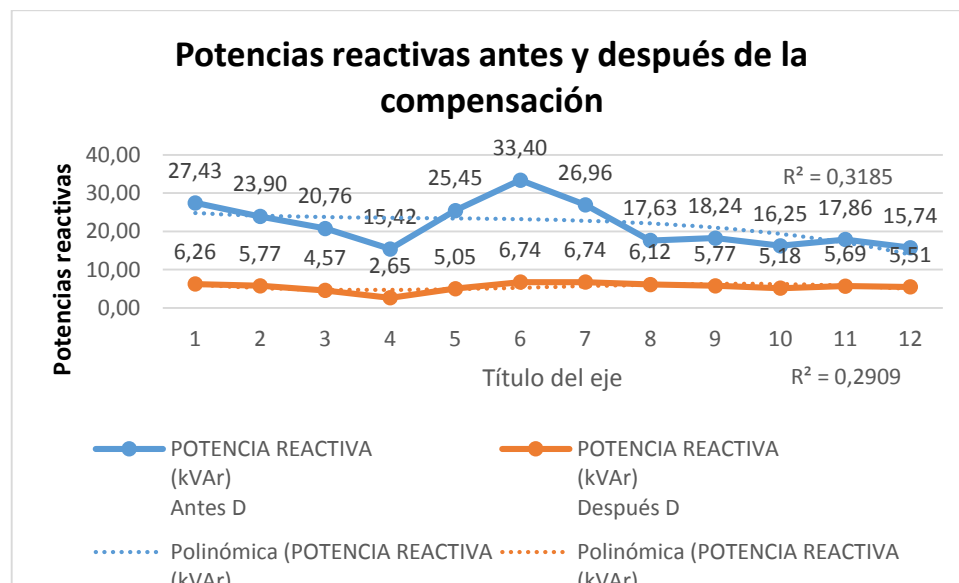
Cuadro 1: Registro con el nuevo factor de potencia 0,97 para el Taller de Construcciones Metálicas.

| N° | TENSION (V) | INTENSIDAD (A) | POTENCIA ACTIVA (kW) | FACTOR DE POTENCIA | POTENCIA APARENTE (kVA) | POTENCIA REACTIVA (kVar) |
|--------------|-------------|----------------|----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | 220 | 67,61 | 24,96 | 0,97 | 25,73 | 6,26 |
| 2 | 220 | 62,41 | 23,04 | 0,97 | 23,75 | 5,77 |
| 3 | 220 | 49,41 | 18,24 | 0,97 | 18,80 | 4,57 |
| 4 | 220 | 28,60 | 10,56 | 0,97 | 10,89 | 2,65 |
| 5 | 220 | 54,61 | 20,16 | 0,97 | 20,78 | 5,05 |
| 6 | 220 | 72,81 | 26,88 | 0,97 | 27,71 | 6,74 |
| 7 | 220 | 72,81 | 26,88 | 0,97 | 27,71 | 6,74 |
| 8 | 220 | 66,19 | 24,44 | 0,97 | 25,19 | 6,12 |
| 9 | 220 | 62,41 | 23,04 | 0,97 | 23,75 | 5,77 |
| 10 | 220 | 55,97 | 20,66 | 0,97 | 21,30 | 5,18 |
| 11 | 220 | 61,52 | 22,71 | 0,97 | 23,41 | 5,69 |
| 12 | 220 | 59,52 | 21,97 | 0,97 | 22,65 | 5,51 |
| TOTAL | 220 | 59,49 | 21,96 | 0,97 | 22,64 | 5,50 |

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de compensación inicial es de 0,71 (71%), siendo mejorada el factor de potencia a 0,97 (97%), con ello logrando reducir la potencia reactiva y el consumo de corriente eléctrica, como se muestra en la comparación de los cuadros 5 y 6.

Gráfica 1: Potencias reactivas antes y después del cálculo de corrección en el Taller de Construcciones Metálicas.



Fuente: Elaboración propia

Se han realizado mediciones con el analizador de energía en tres puntos y que se han determinado de acuerdo al número de cargas eléctricas y al consumo diario de dichas cargas, determinando de esta manera las mediciones en:

- Sub estación eléctrica (medición total).
- Taller de Construcciones Metálicas (medición parcial).
- Taller de Mecánica de Mantenimiento (medición parcial).

Observando y comparando los valores obtenidos y calculados en la sub-estación, Taller de Construcciones Metálicas y Taller de Mecánica de Mantenimiento, debido a los costos no es posible realizar la compensación general, se opta por el taller o área que tiene el mayor consumo de potencia reactiva, que en este caso es el Taller de Construcciones Metálicas, mediante la compensación grupal.

Cuadro 2: Potencias reactivas antes y después de la compensación

| LUGARES | POTENCIA REACTIVA (kVAr) | POTENCIA REACTIVA (kVAr) |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Q ₁ | Q ₂ |
| Sub-estación eléctrica | 59,86 | 13,76 |
| Taller de construcciones metálicas | 21,59 | 5,50 |
| Taller de mecánica de mantenimiento | 14,97 | 3,44 |

Fuente: Elaboración propia

Cálculo en costos del Centro de Formación Profesional SENATI Chimbote, antes y después de la compensación realizada en el Taller de Construcciones Metálicas.

Promedio del consumo de energía reactiva total desde octubre 2014 hasta setiembre 2015 (12 meses) del Centro de Formación Profesional SENATI Chimbote es de 5069,61 kVArh .

Cuadro 3: Costo en dólares de la energía reactiva consumida aprox./mes.

| ENERGIA REACTIVA TOTAL (kVArh) | Costo/kVAr | Costo soles | 1 dolar | Costo dolares |
|--------------------------------|------------|-------------|---------|---------------|
| 5069,61 | 0,0389 | 197,21 | 3,34 | 59,04 |

Fuente: Data obtenida de los promedios finales.

Cuadro 4: Valores finales antes de la compensación - Taller de Construcciones Metálicas.

| | TENSIÓN (V) | INTENSIDAD (A) | FACTOR DE POTENCIA | POTENCIA ACTIVA (kW) | POTENCIA APARENTE (kVA) | POTENCIA REACTIVA (kVAr) | ENERGIA REACTIVA (kVArh) |
|--------------|-------------|----------------|--------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| TOTAL | 220 | 81,40 | 0,71 | 21,96 | 30,98 | 21,59 | 2027,84 |

Fuente: Costo por kVAr del recibo de luz

Cuadro 5: Valores finales después de la compensación en el taller de construcciones.

| | TENSIÓN (V) | INTENSIDAD (A) | FACTOR DE POTENCIA | POTENCIA ACTIVA (kW) | POTENCIA APARENTE (kVA) | POTENCIA REACTIVA (kVAr) |
|--------------|----------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| TOTAL | 220 | 59,49 | 0,97 | 21,96 | 22,64 | 5,50 |

Fuente: Data obtenida de los promedios finales.

Cuadro 6: Energía reactiva por compensar en el Centro de Formación.

| ENERGÍA REACTIVA (kVAr) ANTES D | ENERGÍA REACTIVA (kVAr) COMPENSADA | ENERGÍA REACTIVA (kVAr) DESPUÉS D |
|--|---|--|
| 5069,61 | 2027,84 | 3041,77 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 7: Costo de la energía reactiva compensación.

| ENERGÍA REACTIVA kVAr | Costo/kVAr | Costo soles | 1 dolar | Costo dolares |
|-----------------------------|------------|-------------|---------|---------------|
| 2027,84 | 0,0389 | 78,88 | 3,34 | 23,62 |

Fuente: Costo por kVAr del recibo de luz

Luego de la compensación en el Taller de Construcciones Metálicas, el SENATI Chimbote tendrá un ahorro en costos del total del consumo de energía reactiva:

Cuadro 8: Porcentaje de ahorro en costos de la facturación mensual

| FACTURACIÓN MENSUAL (Soles) | COSTO TOTAL (ENERGÍA REACTIVA) | COSTO ENERGÍA REACTIVA COMPENSADA TALLER CONSTRUCCIONES METÁLICAS | AHORRO EN % EN LA FACTURACIÓN |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|
| S/3297,94 | S/197,26 | S/78,88 | 2,39 |

Fuente: Elaboración propia

¿De qué manera la entrega de energía reactiva del banco de condensadores contribuye con disminuir la intensidad eléctrica del Sistema Eléctrico de SENATI en la ciudad de Chimbote, año 2015?

Optimización técnica.

Optimización del sistema eléctrico del Taller de Construcciones Metálicas

Un factor de potencia alto permite la optimización de los diferentes componentes de una instalación. Se evita el sobredimensionamiento de algunos equipos; pero sin embargo para lograr los mejores resultados, a nivel técnico, la corrección debe llevarse a cabo lo más cerca posible de los receptores demandantes de reactiva.

La compensación grupal del sistema eléctrico la potencia activa se mantiene de acuerdo al consumo de cada carga eléctrica, mientras que la potencia reactiva se reduce drásticamente de las líneas de alimentación, produciendo:

- Reducción en el recibo de electricidad.
- Optimiza una parte de la instalación.
- Aumento de la potencia disponible en kW.
- Reducción de la sección de los conductores aguas arriba.
- Disminución de las pérdidas.
- Reducción de las caídas de tensión.

Sistema eléctrico no óptimo:

Figura 2: Alimentación eléctrica, sin compensar



Fuente: Elaboración propia

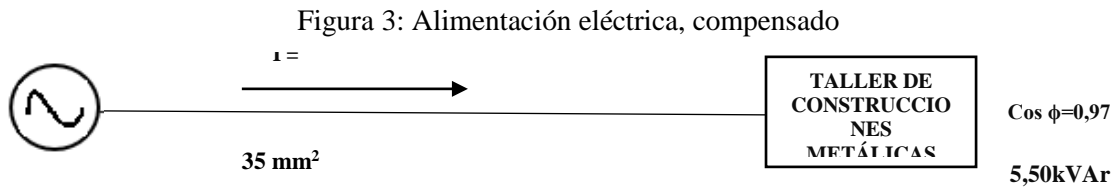
Cuadro 9: Potencia reactiva del taller, sin compensación.

| N° | TENSION (V) | INTENSIDAD (A) | POTENCIA ACTIVA (kW) | FACTOR DE POTENCIA | POTENCIA APARENTE (kVA) | POTENCIA REACTIVA (kVAr) |
|--------------|-------------|----------------|----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | 220 | 97,45 | 24,96 | 0,67 | 37,09 | 27,43 |
| 2 | 220 | 87,23 | 23,04 | 0,69 | 33,20 | 23,90 |
| 3 | 220 | 72,61 | 18,24 | 0,66 | 27,64 | 20,76 |
| 4 | 220 | 49,11 | 10,56 | 0,57 | 18,69 | 15,42 |
| 5 | 220 | 85,30 | 20,16 | 0,62 | 32,46 | 25,45 |
| 6 | 220 | 112,64 | 26,88 | 0,63 | 42,87 | 33,40 |
| 7 | 220 | 100,04 | 26,88 | 0,71 | 38,07 | 26,96 |
| 8 | 220 | 79,17 | 24,44 | 0,81 | 30,13 | 17,63 |
| 9 | 220 | 77,21 | 23,04 | 0,78 | 29,39 | 18,24 |
| 10 | 220 | 69,08 | 20,66 | 0,79 | 26,29 | 16,25 |
| 11 | 220 | 75,92 | 22,71 | 0,79 | 28,90 | 17,86 |
| 12 | 220 | 71,01 | 21,97 | 0,81 | 27,03 | 15,74 |
| TOTAL | 220 | 81,40 | 21,96 | 0,71 | 30,98 | 21,59 |

Fuente: Elaboración propia

Sistema eléctrico óptimo:

Aplicando las fórmulas para calcular la compensación al $\text{Cos } \phi = 0,97$ obtenemos el siguiente circuito con su respectivo cuadro compensado.



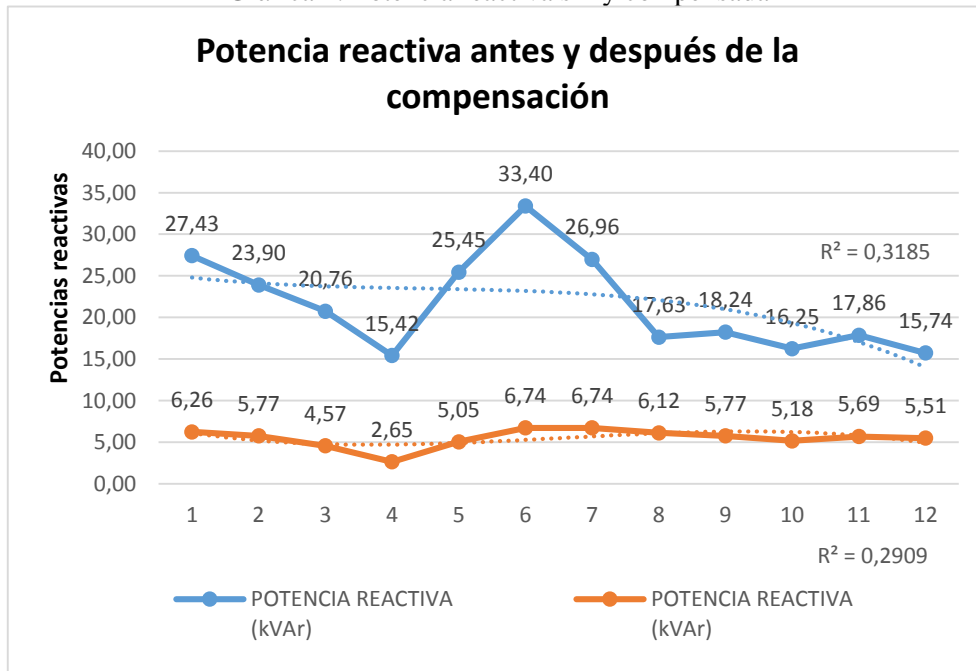
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10: Potencia reactiva del taller, con compensación.

| Nº | TENSION (V) | INTENSIDAD (A) | POTENCIA ACTIVA (kW) | FACTOR DE POTENCIA | POTENCIA APARENTE (kVA) | POTENCIA REACTIVA (kVAr) |
|--------------|-------------|----------------|----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | 220 | 67,61 | 24,96 | 0,97 | 25,73 | 6,26 |
| 2 | 220 | 62,41 | 23,04 | 0,97 | 23,75 | 5,77 |
| 3 | 220 | 49,41 | 18,24 | 0,97 | 18,80 | 4,57 |
| 4 | 220 | 28,60 | 10,56 | 0,97 | 10,89 | 2,65 |
| 5 | 220 | 54,61 | 20,16 | 0,97 | 20,78 | 5,05 |
| 6 | 220 | 72,81 | 26,88 | 0,97 | 27,71 | 6,74 |
| 7 | 220 | 72,81 | 26,88 | 0,97 | 27,71 | 6,74 |
| 8 | 220 | 66,19 | 24,44 | 0,97 | 25,19 | 6,12 |
| 9 | 220 | 62,41 | 23,04 | 0,97 | 23,75 | 5,77 |
| 10 | 220 | 55,97 | 20,66 | 0,97 | 21,30 | 5,18 |
| 11 | 220 | 61,52 | 22,71 | 0,97 | 23,41 | 5,69 |
| 12 | 220 | 59,52 | 21,97 | 0,97 | 22,65 | 5,51 |
| TOTAL | 220 | 59,49 | 21,96 | 0,97 | 22,64 | 5,50 |

Fuente: Elaboración propia

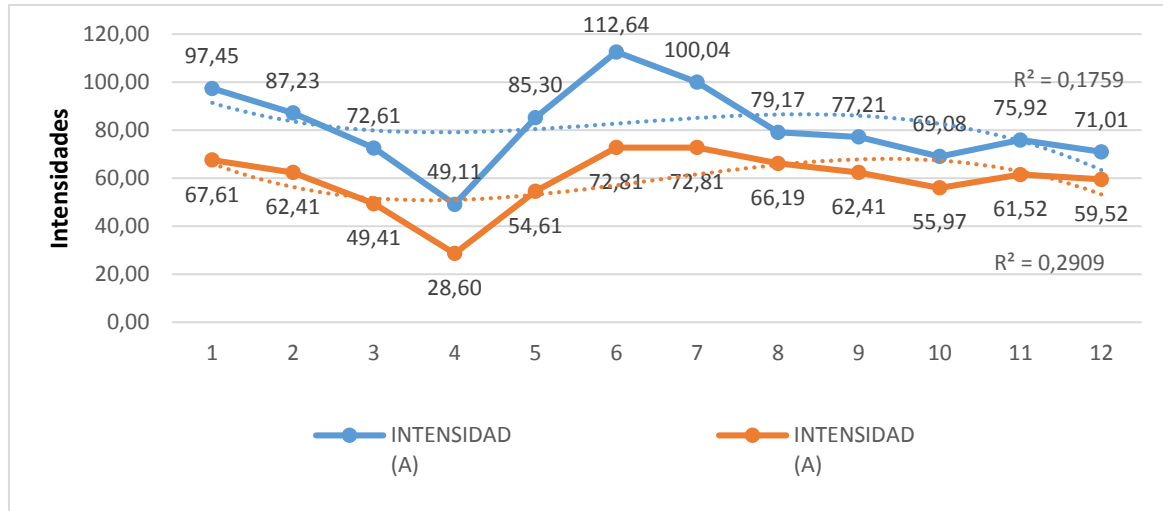
Gráfica 2: Potencia reactiva sin y compensada



Fuente: Elaboración propia

La corriente eléctrica antes de la compensación es de 81,40A; luego de realizada la compensación será igual a 59,49A .

Gráfica 3: Intensidad antes y después de la compensación



Fuente: Elaboración propia

Compensando el factor de potencia de 0,71 a 0,97

Se reduce el consumo de potencia reactiva de 21,59 kVAr a 5,50 kVAr, los cálculos realizados son similares al procedimiento del punto 3.3 .

Aplicando la regla de 3 simple:

La corriente antes de la compensación es 81,40A - 100%

La corriente después de la compensación es 59,49A - X

$X = 73,08\%$

Restando: $100\% - 73,08\% = 26,92\%$

Por lo tanto la corriente disminuye un 26,92% en el Taller de Construcciones Metálicas.

DISCUSIÓN

Esta investigación tiene como propósito mejorar el factor de potencia del sistema eléctrico del Centro de Formación Profesional SENATI Chimbote. Para ello se tuvo que recoger la data de tensión, intensidad, potencia activa, potencia reactiva y $\cos \phi$, con un instrumento llamado analizador de redes.

Referenciado el Taller de Construcciones Metálicas por ser el de mayor consumo de potencia reactiva, El reducir la potencia reactiva de 21,59 kVAr al 5,50 kVAr del sistema eléctrico del taller antes mencionado mediante un banco de condensadores como se indica en la presente tesis, permite optimizar el factor de potencia a un valor de 0,71 al 0,97 disminuyendo de esta manera el consumo de la corriente eléctrica en un 22,65%; ello permitirá disminuir el pago por esta energía que no tiene un trabajo efectivo, por lo que se tendría un ahorro en la facturación del Centro de Formación Profesional SENATI Chimbote del 2,39% (ver cuadro 24), y coincidiendo con la tesis “Compensación de potencia reactiva” de Gómez Morales, Enrique. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad profesional Adolfo López Mateos, México. 2009, dijo lo siguiente: En el presente trabajo se realizó la compensación de potencia reactiva en una industria mostrando los beneficios obtenidos al llevar a cabo la compensación de potencia reactiva por medio de bancos de capacitores, demostrando que al corregir el factor de potencia se logra alcanzar un ahorro mensual del 8,9% de ahorro en la factura de

consumo de energía. En la tesis antes mencionada realiza la compensación general por ello el porcentaje es mayor.

Es más común realizar la compensación de la energía reactiva con condensadores, especialmente porque son dispositivos estáticos requieren casi nulo mantenimiento, otra forma de compensar la potencia reactiva es mediante máquinas síncronas las cuales se pueden trabajar sobrecargadas para poder cumplir esta función, tal como lo menciona Jimenez Valdés, Javier A. en su tesis “Efectos de los Compensadores de Reactivos de Sistemas de Excitación en el Control de Voltaje – Potencia Reactiva de Sistemas Eléctricos de Potencia”. Tesis de grado. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica. 2011. Dijo lo siguiente: “La fuente principal de esta potencia, reside en los generadores y a diferencia de la potencia real, existen dispositivos como los reactores, compensadores estáticos de VARs, condensadores síncronos que contribuyen a mejorar los perfiles de voltaje en un punto de conexión sin aportar potencia real”.

Compensando el sistema eléctrico, la potencia activa se mantiene de acuerdo al consumo de cada carga eléctrica, mientras que la potencia reactiva se reduce drásticamente de las líneas de alimentación, produciendo:

- Reducción en el recibo de electricidad.
- Optimiza una parte de la instalación.
- Aumento de la potencia disponible en kW.
- Reducción de la sección de los conductores aguas arriba.
- Disminución de las pérdidas.
- Reducción de las caídas de tensión.

Coincidentemente así lo manifiesta en la investigación de tesis “Corrección del factor de potencia y diseño e instalación óptima de banco de capacitores bajo el efecto de distorsión armónica en la industria de producción de cloro”, el autor López Paiz, Gerardo Antonio, en su tesis de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. 2011, quien dijo lo siguiente: “Una instalación industrial debe tener un factor de potencia adecuado debido a que, de esta manera, se evita que los equipos tengan baja eficiencia energética y al mismo tiempo puedan disminuir los costos de energía eléctrica”. Hoy en día tanto las empresas que prestan el servicio de venta de energía como los consumidores deben de contribuir a que se tenga una buena calidad de energía y esto se logra corrigiendo el factor de potencia.

Referencias Bibliográficas.

- Alcalde, P. (2011). Electrotecnia 1ª Edición. 497p. ISBN: 9788497328616.
- Day, R. (2005). Cómo escribir y publicar trabajos científicos 3ª ed. Washington, DC: OPS. (Publicación científica y técnica n°598) 270p. ISBN: 9275315981.
- Gómez, E. (2009). Compensación de potencia reactiva. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad profesional Adolfo López Mateos, México. 94 pág.
- Guía de diseño de instalaciones eléctricas. (2010). Según normas Internacionales IEC. Guía de Schneider Electric. 4ª ed. España: Tecfoto, S.L. Ciutat de Granada, Barcelona. 476p. ISBN: 8460986586.
- López, G. (2011). Corrección del factor de potencia y diseño e instalación óptima de banco de capacitores bajo el efecto de distorsión armónica en la industria de producción de cloro. Tesis de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. 202 pág.
- Ramírez, M. (2013). Ahorro de energía por corrección del factor de potencia. Tesis de grado. Santiago de Querétaro México. Universidad Tecnológica de Querétaro. 43 Pág.
- Roldán, J. (2011). Manual de mantenimiento de instalaciones. 4ª Edición. 411p. ISBN: 9788428323932.