

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Investigación

**Compensación de energía reactiva y los costos por
consumo en la empresa Productos del País S. A.
en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019**

Emerson Alanya Calixto Emerson
Kenyi Hugo Yacolca Cajacuri

Para Optar el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería Eléctrica

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Joel Contreras Núñez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a la Gerencia de la empresa Productos Del País S.A. por brindar acceso y facilidad para la obtención de datos de los respectivos motores y planta en general, así como la evaluación de los mismos. Asimismo, agradezco a mi compañero y colega por el apoyo brindado en la elaboración de esta investigación y a mi alma máter por los conocimientos brindados.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios, quien es mi norte para toda trayectoria de mi vida, bendiciéndome y brindándome fuerzas para concluir todas mis metas trazadas.

A mis padres, que me brindan su apoyo incondicional, amor y confianza; ingredientes que me permiten lograr culminar todas mis metas.

RESUMEN

La investigación tiene como título “Compensación de energía reactiva y los costos por consumo en la empresa Productos Del País S.A. en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019”. Tiene como objetivo general analizar el efecto de la compensación de energía reactiva en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, mediante la instalación del banco de condensadores en la subestación de distribución de la empresa en mención.

La metodología de investigación empleada es el deductivo, el tipo de investigación es aplicada, el nivel de investigación es descriptiva- explicativa y el diseño de investigación pre-experimental.

Al realizar la implementación del banco de condensadores se concluyó que es favorable para la reducción de la energía reactiva en los costos por consumos en la empresa productos del país SA.

Palabras clave: **banco de condensadores, energía reactiva y factor de potencia.**

SUMMARY

The title of the research is “Compensation of reactive energy and consumption costs in the Company Productos del País SA in the province of Huanta-Ayacucho,2019”. It’s general objective is to analyze the effect of reactive energy compensation on consumption costs of energy of the Company Productos del País SA in the province of Huanta-Ayacucho, through the installation of the capacitor bank in the distribution substation of the Company in question.

The research methodology used is deductive, the type of research is applied, the research level is descriptive-explanatory and the research desing is pre-experimental.

When carrying out the implementation of the capacitor bank ‘it was concluded that it is favorable for the reduction of reactive energy in consumption costs in the company Productos del Pais SA.

Key words: **Capacitor bank, reactive energy and power factor.**

INDICE

ASESOR	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
RESUMEN	6
SUMMARY	7
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	11
1.1. Planteamiento y formulación del problema	11
1.1.1. Planteamiento del problema	11
1.1.2. Formulación del Problema	12
1.2. Objetivos	13
1.2.1. Objetivo General	13
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3. Justificación e importancia	13
1.3.1. Justificación Práctica	13
1.3.2. Justificación Social	14
1.3.3. Justificación Teórica	14
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	14
1.4.1. Hipótesis General.....	14
1.4.2. Hipótesis Especificas	14
1.4.3. Descripción de Variables.....	15
CAPÍTULO II.....	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes del problema	16
2.1.1. Antecedentes Internacionales	16
2.1.2. Antecedentes Nacionales	19
2.1.3. Antecedentes Locales.....	22
2.2. Bases Teóricas	26
2.2.1. Compensación de energía reactiva.....	26

2.2.2.	Factor de potencia	30
2.2.3.	Banco de capacitores	33
2.2.4.	Condensadores o capacitor	35
2.2.5.	Energía eléctrica	36
2.2.6.	Potencia eléctrica	38
2.2.7.	Precios de energía y potencia.....	41
2.2.8.	Facturación por tipo de energía en el Perú	43
2.2.9.	Disminución del consumo eléctrico	44
2.2.10.	Eficiencia energética	45
2.2.11.	Rendimiento de equipos	45
2.3.	Términos básicos.....	45
2.3.1.	Definición.....	45
CAPÍTULO III		48
METODOLOGÍA.....		48
3.1.	Método, tipo y alcance de la investigación.....	48
3.1.1.	Método de la investigación.....	48
3.1.2.	Alcance de la investigación	48
3.1.3.	Tipo de investigación.....	48
3.1.4.	Nivel de investigación	49
3.2.	Diseño de la investigación.....	49
3.3.	Población y Muestra	50
3.3.1.	Población	50
3.3.2.	Muestra.....	50
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	51
3.4.1.	Técnica de análisis de datos	51
3.4.2.	Instrumentos para la recolección de datos	51
CAPÍTULO IV.....		54
RESULTADO Y DISCUSION		54
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	54
4.1.1.	Determinación del efecto de la compensación de la energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía reactiva.....	55

4.1.2. Determinación del efecto de la compensación de energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía activa	72
4.1.3. Análisis económico de la implementación e instalación del banco de condensadores en la empresa productos del país S.A.	77
4.2. Prueba de hipótesis	78
4.2.1. Hipótesis general.....	79
4.2.2. Hipótesis específicas	81
4.2.2.1. <i>Hipótesis específica 1</i>	81
4.2.2.2. <i>Hipótesis específica 2</i>	83
4.3. Discusión de resultados	86
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	94
ANEXO 1.Matriz de consistencias.....	98

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad se sabe que el sector industrial es uno de los grandes contribuidores de la sostenibilidad económica del país, para ello es indispensable el uso de máquinas y equipos eléctricos de gran diversidad, motivo por el cual en su mayoría requieren métodos y acciones de compensación de energías reactivas en el sistema eléctrico sobre todo las cargas inductivas por ser las que generan mayor perjuicio al originar consumo de potencias reactivas al funcionar, esto trae consigo un bajo factor de potencia que se reflejan en afectaciones de real consideración para las empresas, es así que en este sector se hace necesario el desarrollo de gestiones de energía adecuadas para evitar significativas pérdidas económicas, obtención de competitividad y estabilidad en el mercado.

La dirección general de políticas agrarias, menciona que Ayacucho es uno de los departamentos con mayor producción de tara, junto al departamento de La libertad, Cajamarca y Huánuco. (1) Es así que la empresa Productos del País SA dedicada a la elaboración y exportación de productos de molinera (molienda de tara) inicio sus actividades hace 25 años logrando una ampliación de sus actividades e instalaciones, de esta manera cuenta con una sede productiva en la provincia de Huanta del departamento de Ayacucho.

Sin embargo, últimamente se ha visto una serie de problemas que viene arrastrando como: altas facturaciones en los recibos de consumo de energía eléctrica, bajos

niveles en el factor de potencia de consumo y no se obtiene el rendimiento de las máquinas y equipos eléctricos a pesar de estar trabajando en su máxima capacidad.

Se encuentran en esta problemática, debido a que existe un elevado consumo de energía reactiva de las máquinas y equipos eléctricos durante su proceso productivo, ineficiente consumo de energía eléctrica en el proceso productivo y presentan sobrecargas en las líneas BT y transformadores.

De continuar con los problemas ya mencionados no se podrá reducir los costos por consumo de energía, no se logrará la eficiencia en el uso de la energía, se afectarán el estado de las máquinas y equipos electrónicos si continúan operando en su capacidad máxima, consecuentemente se afectará el desarrollo de las actividades de producción.

Frente a esta problemática, es necesario que empresas analicen propuestas técnicas de ahorro y eficiencia energética, reduciendo la energía reactiva, este también dará paso a que las máquinas y equipos electrónicos trabajen dentro los rangos permitidos y le aseguran mayor vida útil, finalmente disminuirá los costos invertidos en consumo de energía sin afectar sus actividades.

1.1.2. Formulación del Problema

Problema General:

¿Cuál es el efecto de la compensación de energía reactiva en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A. en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019?

Problemas Específicos:

- A. ¿Cuál es el efecto de la compensación de la energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía reactiva?
- B. ¿Cuál es el efecto de la compensación de energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía activa?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Analizar el efecto de la compensación de energía reactiva en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019.

1.2.2. Objetivos Específicos

- A. Determinar el efecto de la compensación de la energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía reactiva.
- B. Determinar el efecto de la compensación de energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía activa.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación Práctica

La presente investigación permitió determinar el ahorro de consumo de energía reactiva en la empresa Productos del País, conllevando a una mejor facturación y logrando una mayor eficiencia y rendimiento en los motores con el uso de los recursos de implementación del banco de condensadores con dimensiones adecuadas.

1.3.2. Justificación Social

La presente investigación se justifica en el ámbito social ya que las empresas industriales al tener un sistema eléctrico en condiciones adecuadas ninguna maquina o artefactos eléctricos presentaran problemas de energía reactiva, bajo factor de potencia y caída de tensión, recomendado acciones de mejora para disminuir el consumo de energía reactiva y logra un ahorro económico en la facturación eléctrica.

Asimismo, con los resultados obtenidos con esta investigación nos servirán para otras empresas industriales similares para que puedan también hacer esos ajustes y ser más competitivas.

1.3.3. Justificación Teórica

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 Cos (φ)

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis General

La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019.

1.4.2. Hipótesis Especificas

- La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía reactiva.

- La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía activa.

1.4.3. Descripción de Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
<ul style="list-style-type: none"> • Compensación de Energía Reactiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Banco de condensadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad (faradio) • Factor De Potencia. (Fp)
VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
<ul style="list-style-type: none"> • Costos Por Consumo De Energía 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo por energía activa • Costo por energía reactiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Soles * (Kw/h) • Soles * Potencia Reactiva (kvar/h)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

A continuación, presentamos los antecedentes locales, nacionales e internacionales que se pudieron encontrar en relación a este trabajo de investigación.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

“Metodología para el diseño y dimensionamiento adecuado de banco de capacitadores para corrección de factor de potencia en la empresa Yambersa”, tesis presentada por Espinoza Trejos, Carlos y Pérez Suazo, Mauricio. La investigación tiene como objetivo calcular y diseñar un banco de capacitadores para minimizar los efectos de las armónicas dentro de un sistema eléctrico de distribución y mantener el factor potencia dentro de las normas establecidas por la empresa distribuidora de energía eléctrica. Para ello se tiene como objetivo realizar una metodología que permita implementar bancos de capacitadores para la compensación de la potencia reactiva capacitiva en una industria, así como simular la compensación por medio de bancos de condensadores.

La investigación concluye que se obtendrá un ahorro del 7.40% evitando las penalizaciones mensuales al corregir el factor de potencia de 0.82 a 0.95. Así mismo Al corregir el factor de potencia disminuyen las corrientes que circulan por los conductores, al mismo tiempo disminuyen las perdidas por efecto Joule que finalmente se traduce a un ahorro anual de 0.75% del total de la factura. (2)

“Análisis de alternativas para compensación de energía reactiva en los alimentadores de 23 KV de la estación de Caaguazú” tesis presentada por

Gonzales Rodríguez, Pedro que tiene como objetivo general determinar la mejor solución técnica y económica para la compensación de potencia reactiva en el sistema de distribución dependiente de la ES-CZU y como objetivos específicos realizar análisis de las variaciones de las cargas reactivas en los alimentadores y en la barra de 23 KV de la ES-CZU, Evaluar alternativas para corregir el factor de potencia en el sistema de distribución, diseñar el sistema de compensación reactiva de acuerdo a la mejor alternativa evaluada y finalmente determinar la mejor solución técnica y económica para la compensación de potencia reactiva en el sistema de distribución dependiente de la ES-CZU.

La metodología desarrollada fue de nivel descriptivo, diseño no experimental para el cual se utilizó la técnica de observación libre.

La investigación concluye que la mejor alternativa técnica y económica para compensar la energía reactiva en el sistema de distribución dependiente a la ESCZU, es la de instalar bancos de capacitadores en los alimentadores de distribución en lugar de bancos de capacitadores en la barra de 23 KV. Del mismo modo al elevar el factor de potencia en los alimentadores de distribución, se logra reducir la corriente reactiva de esta y tiene como beneficio la reducción de pérdidas en KW del centro de distribución y en las líneas de transmisión contiguas a la ES-CZU. Así también al reducir la potencia reactiva en los alimentadores de distribución, se consiguió aumentar la capacidad de transmisión y la disponibilidad de potencia activa en la ES-CZU. Teniendo como beneficio el uso eficiente del transformador de potencia y equipos aumentando la vida útil de estas. (3)

“Análisis de factibilidad para la compensación de reactivo en función del mínimo de pérdidas en redes de distribución” tesis presentada por Clavijo Flores, Fabricio

que tiene como objetivo principal es desarrollar un modelamiento que permita estudiar el comportamiento de la red de energía ante la instalación de bancos de condensadores para el cual se crea un modelo de ubicación y dimensionamiento adecuado de bancos de condensadores en MATLAB y así aportar a la eficiencia energética. La investigación concluye que en un sistema eléctrico no compensado lo más seguro es que se puede tener un recargo de hasta un 20% de su facturación por consumo de energía eléctrica. También la compensación de energía reactiva favorece con la eficiencia del consumo de energía ya que se reducen las pérdidas en el transporte. Por otro lado, con la ubicación adecuada de equipos de compensación se incrementa la capacidad del sistema, ya que todo lo que se produce como extra para contrarrestar las pérdidas podría utilizarse para suministrar electricidad en el consumo. Como también debido a la compensación de la red se promueven un consumo eficiente del recurso energético ya que, al eliminar los incrementos por caída de tensión en el transporte, se mejora sustancialmente la calidad del sistema. Así mismo la ubicación de bancos de condensadores en las redes de distribución son aplicables con una considerable carga inductiva. Por otro lado, el bajo factor de potencia es causa de recargos y multas en la planilla de energía eléctrica, los cuales llegan a ser significativos cuando el factor de potencia es muy bajo un bajo factor de potencia limita la capacidad de los equipos, con el riesgo de ocasionar sobrecargas peligrosas y pérdidas excesivas. (4)

“Corrección del factor potencia y eliminación de corrientes armónicas en sistemas de baja tensión” tesis presentada por Ortega Hernández Alejandro, tiene como objetivo juntar los conocimientos teóricos y prácticos aplicados en el proyecto de campo, así también el planteamiento de una metodología para dar solución a

problemas de factor de potencia bajo o a los originados por las corrientes armónicas. El autor de la investigación concluye que: Las empresas de electricidad a nivel nacional e internacional hacen reflexionar a las industrias sobre la conveniencia de generar o controlar su consumo de potencia reactiva a través de este cargo por penalización, al reducir este consumo se obtiene un beneficio y la compañía suministradora concede incentivo en el pago para motivar cobrándole por capacidad suministrada en KVA, factor donde se incluye el consumo de KVAR que se entrega a la industria. Como también la administración de la carga es una técnica que han tenido que seguir algunas empresas debido a los precios de las tarifas que debe pagar cada usuario, lo que también provoca otra área de oportunidad. (5)

2.1.2. Antecedentes Nacionales

“Implementación De Un Banco De Condensadores Para Aumentar El Factor De Potencia En La Empresa Fibraforte Año 2015” tesis presentada por Iván Henry Vargas Espinoza. La investigación tiene como objetivo general implementar un banco de condensadores para aumentar el factor de potencia en la empresa FIBRAFORTE para el año 2015. El tipo de investigación fue experimental desarrollado con el método cuantitativo, de diseño transversal y nivel explicativo experimental. El autor concluye que: Al implementar el banco de condensadores aumento el factor de potencia de 0.79 a 0.98 y por el consumo eléctrico se redujo en un 30%. Así mismo al realizar el diagnóstico antes de la implementación del Banco de Condensadores se observó que se pagaba una sobrefacturación por concepto existencia de energía reactiva debido al bajo factor de potencia. También al realizar el Diseño del banco de condensadores e implementarlo nos damos cuenta que es un

proyecto totalmente factible y rentable en otras industrias, ya que la inversión inicial es de 15 mil soles y el retorno de la inversión se estima en dos años. Finalmente se evidencia que con esta instalación se logró reducir el impacto económico existente en las facturas por concepto de consumo de electricidad logrando un ahorro de 500 soles mensuales además por concepto de reducción de frecuencia de mantenimiento un ahorro de 1500 soles anuales, reflejando ser un mecanismo totalmente valido y eficiente si se quiere ahorrar el consumo. (6)

“Análisis del proyecto de compensación de energía reactiva en baja tensión implementado por Electro noreste SA” tesis presentada por Herrera Reátegui, Daniel. La investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia del proyecto que busca disminuir el porcentaje de pérdidas técnicas de energía y mejorar la calidad de tensión. Esta evaluación fue realizada en base a un análisis comparativo de los registros de balances de energía BT durante un año antes y un año después de ejecutado el proyecto, adicionalmente se simulo el comportamiento de una subestación de distribución (SED) para la validación de resultados.

Finalmente, el autor concluye lo siguiente: En la implementación del proyecto de compensación reactiva BT en las muestras observadas se obtuvo una disminución de las pérdidas técnicas de energía entre 3-6,6% de acuerdo a las características de cada sistema y una mejora del 1,7% en los niveles de tensión mínima de cada circuito asociado a la SED. Otro de los proyectos ofrece mayores beneficios, maximizando la eficiencia de la compensación reactiva BT, cuando se implementa en SED que tenga un factor de utilización (FU) entre el 60-90%. Así mismo la ventaja de compensar en baja tensión es que no requiere de grandes inversiones ni equipos complejos, es fácil su instalación y es una compensación focalizada. Como

también es técnicamente recomendable continuar con la implementación del proyecto de compensación reactiva en baja tensión, dado que optimiza y pone eficiente las redes eléctricas de distribución. (7)

“Análisis técnico y económico de corrección del factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V, del hospital IV Víctor Lazarte Echegaray-Trujillo”

tesis presentada por Gómez Cabanillas, Eligio. La investigación tiene como objetivo analizar técnica y económica la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V, del hospital IV Víctor Lazarte Echegaray-Trujillo. La metodología aplicada para el desarrollo de la investigación fue el método observacional-pre experimental de tipo descriptiva y explicativa y de diseño pre-experimental.

La investigación concluye que mediante los cálculos realizados se obtuvo una reducción del 15.27% en el costo de facturación eléctrica, por lo que resulta viable la inversión e instalación del banco de condensadores de compensación reactiva. Por otro la reducción de la corriente es de 25%, la reducción de la temperatura es de 28%, la caída de tensión mejoro en 25% y una reducción de pérdidas en el cobre del transformador de potencia del 78.39% y una reducción en el costo de facturación de consumo de energía eléctrica del 15.27%, el monto de inversión será S/45,335.93 nuevos soles y un retorno de la inversión en un plazo de 1 año y 2 meses. (8)

“Estudio de instalaciones eléctricas en MT/BT para alimentación de fuerza a través de centro de control de motores y compensación de energía reactiva para nueva fábrica de alimentos de mascotas-Molitalia”

tesis presentada por Manrique Jaeger, Ricardo y Sanz Moya, Carlo. La investigación tiene como objetivo desarrollar el estudio para la implementación de un centro control de motores y la

compensación de energía reactiva en la nueva fábrica para alimentos de mascotas-Molitalia, demostrando los beneficios técnicos y económicos, el impago en la producción y la mejor organización de los sistemas a través de la centralización de equipos. La investigación se desarrolló bajo la metodología de la cuantificación de las cargas instaladas. La investigación concluyó que: Se obtienen satisfactoriamente beneficios económicos por la instalación del sistema de compensación de energía reactiva mediante el ahorro anual de una posible facturación. Los indicadores de rentabilidad para una inversión de los sistemas contemplados muestran resultados óptimos. Por otro lado, como resultado de la compensación de energía reactiva se logran satisfactoriamente beneficios técnicos como la disminución de pérdidas en los conductores hasta de un 21.53%, disminución de la caída de tensión de 1.96% a 1.06% en el alimentador principal y hasta de 2.46% a 1.84% en alimentadores de cargas y un aumento de la potencia disponible de 4.59% a 15.48%. También Se realizó un análisis de armónicos en la instalación tomando como referencia principal la presencia de los condensadores y los variadores de frecuencia lográndose valores máximos de THD para voltajes de 1.38 % menores al de 3.00% máximo recomendado por las normas internacionales. (9)

2.1.3. Antecedentes Locales

“Influencia de la compensación reactiva en las sub estaciones Bolívar y San Jerónimo en la disminución de las pérdidas de transmisión de energía en la empresa minera catalina huanca, Ayacucho-2019” tesis presentada por Cairo Huaranga, Kevin. La investigación tiene como objetivo determinar la influencia de la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo para disminuir las pérdidas de transmisión de energía en la Empresa Minera Catalina

Huanca, Ayacucho-2019, mediante la implementación de bancos de condensadores en el lado de baja tensión de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo así también respetar las normativas del estado. El método de investigación fue el deductivo por basarse en la aplicación de normativas y el conocimiento científico validado, el tipo de investigación fue aplicada, el nivel de investigación descriptiva y de diseño cuasi experimental. La investigación concluyo que: La compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo tendrá una influencia positiva económica y técnicamente al disminuir las pérdidas de transmisión de energía es así que se afirma que la compensación reactiva en estas subestaciones influirá positivamente a la mejora del factor de potencia y se evitará las penalizaciones por exceso de energía reactiva y también otorgará un sistema eléctrico estable. Como también la compensación de energía reactiva, reduce la facturación de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo a nivel alto por respetarse la normativa de Opciones tarifarias y condiciones de ampliación de las tarifas a usuario final. Así mismo la caída de tensión en las subestaciones de potencia es la adecuada para su correcta operación por cumplir con la normativa dictaminada respetándose así la tensión. Así mismo Existe un porcentaje de disminución de cargabilidad en los transformadores de las sub estaciones. También existe un porcentaje de disminución de pérdidas en los conductores de las subestaciones al corregir el factor potencia esta disminuirá las pérdidas en los conductores. (10)

“Localización optima de capacitadores en redes de distribución para mejorar la eficiencia energética del sistema eléctrico Chungar -Volcan” tesis presentada por Torres Gutiérrez, David. La investigación tiene como objetivo optimizar la

localización e implementar bancos de capacitadores en redes de distribución para mejorar la eficiencia energética en el sistema eléctrico Chungar-Volcan.

La metodología de la investigación fue de tipo tecnológica, el nivel de investigación es experimental y se utilizó un diseño experimental con grupos de control y post prueba. La investigación concluyó que: Se logró optimizar la localización e implementar bancos de capacitadores en redes de distribución, mejorando la eficiencia energética en el sistema eléctrico Chungar-volcan. Por otro lado se logró mejorar el factor de potencia hasta de un 91.9% en barras de 50KV y 93.4en barras de 22.9 KV. Se logró reducir las pérdidas de potencia de 0.848 a 0.656 MW. También Se logró mejorar la desviación media de perfil de tensiones en barras del sistema evitando violaciones de voltaje en todas las barras. (11)

“Ubicación optima de bancos de condensadores para mejorar la eficiencia de energía en sistema de bombeo de la mina Animon” tesis presentada por Ugarte Martínez, Juan. La investigación tiene como objetivo ubicar óptimamente los bancos de condensadores mediante algoritmos genéticos para mejorar la eficiencia de energía en sistema de bombeo de la mina Animon. La metodología empleada fue de tipo aplicada por basarse en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los comportamientos, el nivel de investigación es descriptiva. La obtención de los datos se realizó con reportes de SCADA mediante en acceso a la simulación digital. La investigación concluye que: Es necesario instalar bancos de condensadores de 600 KVAR en el nivel 355 y de 650 KVAR en el nivel 100 para evitar que los arranques de los motores sean más severos con riesgo de avería prematura por caída de tensión. También con la instalación de bancos de condensadores se evitará caídas de tensión en otras barras de 0.48kv y 4.16 kv del

sistema eléctrico CHUNGAR como también el aumento de las pérdidas en conductores y la sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución. Por otro lado, del análisis económico se pudo demostrar que es necesaria colorar los bancos de condensadores para asegurar la reducción en facturación por energía eléctrica. (12)

“Determinación de la influencia de un banco de condensadores para reducir el consumo de la potencia reactiva en el sistema eléctrico EPASA, San Martin de Pangoa 2018” tesis presentada por Miranda Urbano, José. La investigación tiene como objetivo general determinar la influencia del banco de condensadores para reducir por lo menos un 30% el consumo de potencia reactiva en el sistema eléctrico EPASA, San Martin de Pangoa 2018. La metodología empleada fue de nivel descriptivo analítico, método de investigación cuantitativo y se trabajó teniendo en cuenta las lecturas mensuales del medidor del punto de entrega de la empresa EPASA y la información recopilada se analizó a través de diagramas de cargas diarios de energía reactiva y así poder calcular el sobre exceso de este tipo de energía. La investigación concluyo que: La influencia de un banco de condensadores es positiva respecto a la reducción de consumo de potencia reactiva. Así mismo el exceso de potencia reactiva influye negativamente en la facturación eléctrica, asimismo se puede verificar que cuando se realiza la compensación de este exceso de potencia reactiva, se logra mejorar el factor de potencia y reducir el monto por el cargo del consumo de esta potencia reactiva. Como también la selección de la capacidad de banco de condensadores es factible y se logra obtener de acuerdo a los cálculos que se realiza, se propuso un banco de condensadores automático de 110 KVAR. (13)

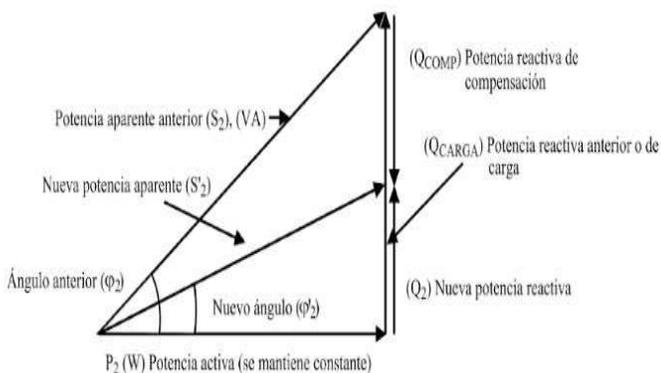
2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Compensación de energía reactiva

Según ABB (14)“Significa actuar para incrementar la capacidad en una instalación eléctrica, así como reducir la caída de tensión, reducir la sección de los conductores, disminuye las pérdidas por efecto joule y se amplía la potencia disponible en una instalación”

Mediante la compensación de energía reactiva se realiza la instalación de capacitores con regulación automática o fijos, para obtener como resultado disminuir la caída de tensión en la línea, reducir la energía reactiva transportada, reducir las pérdidas por efecto Joule que se producen en los conductores y transformadores, incrementando la potencia disponible en una instalación sin necesidad de ampliar los equipos como cables, equipos y transformadores. (15)

Figura N°3 Esquema de compensación de potencia reactiva



Fuente: Herrera, Daniel (2019)

2.2.1.1. Formas de compensación de energía reactiva

En el sistema de compensación de energía reactiva mediante un banco de condensadores se distinguen 2 formas de compensación: de acuerdo al tipo de condensadores y de acuerdo a la ubicación de la compensación.

A- Según el tipo de condensadores:

a) Condensadores Fijos:

Son bancos de baterías de condensadores que proporcionan un valor fijo y constante de potencia reactiva unitaria (KVA_r) pueden ir conectados directamente mediante interruptores, contactores o conectados de manera directa a la carga. Son usados de acuerdo a la necesidad de obtención de la reactiva necesaria para compensar.

Son apropiados para una compensación individual de motores de gran potencia, transformadores o instalación con consumos constantes, poseen menor costo, pero su aplicación es muy limitada debido a la escasez de las cargas con un consumo constante. (9)

b) Condensadores automáticos:

Es un banco de varios pasos que son controlados por un relé según la variación del factor potencia de acuerdo a la necesidad de carga. el condensador unitario es el que proporciona la potencia reactiva necesario para mantener el factor de potencia (FP), de la instalación a un valor apropiado, el cual debe ser cercano a 1, en el que se maximice la eficiencia.

Estos condensadores logran adaptarse a las variaciones de consumo de energía reactiva por lo que es más recomendada, sin embargo, la desventaja principal son los altos costos de implementación. (7)

B- Según la ubicación de la compensación.

a) Compensación global centralizada

Este tipo de compensación corrige el factor de potencia de forma generalizada manteniéndola constante, ubicándose en la entrada principal de la instalación, la capacidad de este banco de compensadores se instala en la acometida muchas veces cerca del tablero de distribución principal, esta es usada cuando existe una gran cantidad de cargas con potencias y conexiones distintas. **(13)**

Esta compensación es una de las más económicas al optimizar los costos de los condensadores que se instalaran, proporciona facilidades en los trabajos de voltaje del sistema eléctrico, también suprime las penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva, logra el acercamiento de la potencia aparente a la potencia activa de acuerdo a la necesidad real de la instalación, consecuentemente se logra disminuir la facturación de energía eléctrica, mejoras en la capacidad del banco de condensadores, el suministro de la potencia reactiva es inmediato y facilita el monitoreo y control de ella. **(16)**

La desventaja que presenta esta compensación es que la corriente reactiva circula por toda la instalación, no se logra la disminución de pérdidas de energía por efecto Joule en los cables, no se corrige las caídas de tensión requerida, no se puede incrementar el rendimiento de motores y otras cargas.

Esta compensación es recomendable para las instalaciones que tiene una carga estable y continúa y sobre todo necesiten reducir costos de instalación. **(9)**

b) Compensación por grupo (sector)

La compensación por grupo se da cuando se tienen grupos de cargas ya sean iguales o diversos grupos en lugares distintos, estos condensadores son

conectados en barras de distribución por lo que son sectorizadas y extensas, estas se conectan simultáneamente y demandan una potencia reactiva constante.

(7)

Entre las ventajas de esta compensación están: se utiliza solo cuando las cargas están funcionando, pueden instalarse en el centro de control de motores, se logra la reducción de consumo eléctrico y aprovechamiento de la potencia al suprimir la penalización por consumo excesivo de energía reactiva, reduciéndose pérdidas y caídas de tensión, estas solo se utilizan cuando las cargas están en funcionamiento. (9)

Sin embargo, la desventaja que tiene es que puede darse la sobre compensación por la existencia de gran variación de carga, la corriente reactiva está presente en la instalación hasta los receptores. Esta compensación es recomendada cuando se tienen cargas importantes que están repartidas en distintos tableros de distribución y si se pretende aumentar la capacidad de carga activa en los transformadores y mejorar el nivel de voltaje. (5)

c) Compensación individual:

Esta compensación es usada para cargas específicas y en equipos con cargas y factores de potencia constante y con un ciclo continuo de operación donde el consumo de potencia reactiva es significativo. (7)

El condensador es instalado directamente en cada carga de esta manera solo están afectados los conductores entre carga y condensadores dejando libre de potencia reactiva el resto de la instalación y solo trabaja cuando la maquina empiece a operar. (5)

Las ventajas de esta compensación son: la potencia reactiva deja de circular y se queda entre el capacitor y la carga donde es consumida suprimiéndose la penalizaciones por el exceso de energía reactiva, optimiza toda la instalación eléctrica, las caídas de tensión son reducidas, se da un gran reducción de las pérdidas por efecto Joule, finalmente esta compensación descarga el transformador de potencia. **(5)**

Entre las desventajas más resaltantes de esta compensación se encuentran: el precio por cada compensador que se utilizara de manera individual, en el caso de que las cargas no son usadas con frecuencia genera que los condensadores puedan estar sobredimensionados. **(13)**

2.2.2. Factor de potencia

El factor de potencia es la relación entre potencia activa y potencia aparente, cuyo valor oscila entre 0 y 1, cuando el factor de potencia está cerca de 1, indica que toda la potencia absorbida se trasforma en trabajo. Y si el factor de potencia es menor y se aleja de la unidad, indica la existencia de bajo factor de potencia y con ella la ineficiencia eléctrica, consecuentemente la maquina o equipo eléctrico necesitara mayor consumo de energía para producir un trabajo útil. **(13)**

El factor de potencia es un indicador cuantitativo del adecuado aprovechamiento de la energía eléctrica, esta describe la cantidad de energía eléctrica que se convirtió en trabajo útil. **(7)**

El 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 Cos (φ). (16)

En una instalacion electrica, mientras mayor sea el factor de potencia, mayor sera la cantidad de energia aprovechada en trabajo util, por lo cual siempre es recomendado mantener dicho valor cercano a la unidad. (9)

$$FP = \cos \varphi = \frac{\text{Potencia Activa}(P)}{\text{Potencia Aparente}(S)}$$

2.2.2.1. Corrección del factor de potencia

La correccion del factor potencia tiene el objetivo de mejorar el rendimiento de las instalaciones electricas y sobretodo evitar el pago de recargo en la facturacion electrica, por ello la correccion del factor potencia esta basada en lograr el trabajo con factores de potencia lo mas cercano a la unidad.

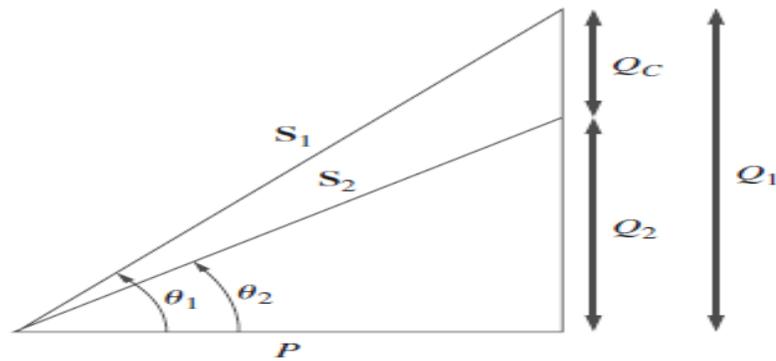
Generalmente la empresas de la industria trabajan con energia reactiva inductiva para elfuncionamiento de sus maquinarias por lo que el factor potencia siempre sera menor que 1. Sin embargo el factor de potencia puede ser modificado con elementos que consumen energia reactiva de signo distinto al de las maquinas ya instaladas o tambien llamada capacitiva, con ella se anulan entre si la energia reactiva inductiva y capacitiva, y reduciendo el factor potencia en algunos casos son llevados a la unidad, para todo eso es necesario la instalacion de condensadores en el sistema

Al corregir el factor de potencia, lo que se consigue es aprovechar la mayor cantidad de potencia aparente en potencia util o activa, lo cual tambien llevara a que disminuyan las intensidades, la tension se mantiene inalterable. (9)

Para lograr la correccion del factor de potencia existen algunas alternativas :

- Ubicación de banco de condensadores.
- Minimizar la operación de motores con poca carga.
- Evitar que los equipos operen por debajo de su voltaje nominal
- Reemplazarmotores estandar por motores eficientes en energia. (6)

Figura N° 2:Triangulo para correccion de factor de potencia



Fuente:Molina, Angeles y Vega, Franco. (17)

En la figura N°2 se observa dos triangulos superpuestos, el mayor representa las condiciones actuales de la instalacion electrica y esta formado por los lados P,Q1,S1, mientras el triangulo menor representa las condiciones en las que operara el sistema una vez alcanzado el factor de potencia deseado, sus lados son Q2,S2. La potencia reactiva Q2 es la que la instalacion absorbera del suministro electrico despues de que se haya corregido el factor de potencia.

2.2.2.2. Causas del bajo factor de potencia

El bajo factor de potencia en algunos casos se debe a la carga de motores de inducción, también debido a balastos, transformadores y en general a cualquier tipo de inductancia. Estas son el origen del bajo factor de potencia ya que son cargas no lineales que contaminan la red eléctrica. **(18)**

2.2.2.3. Consecuencia del bajo factor de potencia

Entre las principales consecuencias del bajo factor de potencia son **(13)**:

- Incremento de pérdidas por el calentamiento de conductores o efecto Joule, generando el desgaste de aisladores de los conductores y con ella los cortocircuitos.
- Incremento de la potencia aparente, reduciendo la capacidad de carga instalada.
- Aumento de la caída de tensión.
- Sobrecargas en transformadores generando la reducción de la vida útil.
- Incremento de la facturación del consumo eléctrico.
- Incremento de las pérdidas de energía activa.
- Estas pérdidas afectan al productor y distribuidor de energía eléctrica, por lo que se penaliza al usuario.

2.2.3. Banco de capacitores

Los bancos de capacitores están constituidos por una asociación serie/paralelo de unidades capacitivas. Normalmente se realiza un estudio técnico-económico teniendo en cuenta conexión de los bancos al sistema eléctrico. **(3)**

2.2.3.1. Conexión de un banco de capacitores

Los bancos de compensación o capacitores pueden ser instalados en cualquiera de las conexiones trifásicas como son: delta, estrella solida aterrada y estrella con neutro aislado.

a- Conexión delta

La conexión delta es usada generalmente en instalaciones de industrias (300 KVAR- 2400 Kv), es así que se usa en motores de baja tensión, las ventajas de esta conexión son: esta conexión no presenta problemas de desbalance, aísla las corrientes armónicas, es adecuado para sistemas con neutro aislado o puesto a tierra. Sin embargo, las desventajas que presenta son sus sistemas de conexión dificultosas y los sistemas de protección son caros. (3)

b- Conexión estrella solida aterrada

La conexión estrella solida aterrada suele usarse en bancos para instalación en postes o en sistemas de distribución (hasta 1200 kVAR-13.8 Kv), es decir el voltaje de las unidades capacitivas debe ser igual o mayor que el voltaje de fase neutro al cual serán conectados. Cada fase en la conexión estrella solida aterrada está formada por grupos de unidades capacitivas conectadas en paralelo. En este tipo de conexión se adopta una protección para cada unidad capacitiva por fusibles, aunque también se le puede proteger por grupo. Las ventajas que presenta esta conexión es que: es utilizado en un amplio rango de tensión y potencia de bancos, sistemas de conexión simplificados, reduce el nivel de armónicas en las líneas y los sistemas de protección son accesibles por ser

baratos. La desventaja que presenta es que solo son aptas para sistemas con neutro puesto a tierra. (6)

c- Estrella con neutro aislado

Esta conexión es usada en sistemas de media tensión o mayores, entre las ventajas que presenta se encuentran las siguientes: evita la presencia de transitorios de sobretensión y permite una mejor protección contra la sobre corriente, es utilizado en un amplio rango de tensión y potencia de bancos, los sistemas de conexión son simplificados, no se presentan circulación de armónicos, los sistemas de protección son más baratos y son aptos para sistemas con neutro aislado o puesto a tierra. Sin embargo, las desventajas que presenta es que presentan problemas de desbalance de voltaje con el que aparecen tensiones al neutro en forma, por lo que es necesario incorporar una protección.

2.2.4. Condensadores o capacitor

De acuerdo a la investigación referenciada manifiesta que el capacitor o también llamado antiguamente compensador, que hasta la actualidad es el término más usado, aunque el término correcto sea el capacitor, está formado por dos conductores o placas paralelas de sección (S) que están separadas por un dieléctrico de permisividad siendo un aislante. (3)

El autor Jaramillo menciona que el capacitor es un elemento pasivo de la red eléctrica, es importante por ser un dispositivo que almacena carga eléctrica generada de la fuerza electromotriz del mismo la diferencia potencial innecesario. (19)

2.2.4.1. Magnitud de la capacitancia

La capacitancia se define como la propiedad de un circuito eléctrico, esta permite almacenar y liberar la energía eléctrica a través del campo electrostático.

(20)

La magnitud de la capacitancia de un capacitor(C) “es directamente proporcional al área de sus placas e inversamente proporcional a la distancia que las separa.” (5) de esta manera cuando el área de las placas sea mayor, también será mayor el valor de la capacitancia y cuando la distancia entre las placas sea mayor, mayor será la tensión de trabajo del capacitor, el valor de la capacitancia disminuye proporcionalmente cuando las placas se separan. (5)

$$Ct = \frac{Qc}{U^2 \times 2\pi \times F}$$

Dónde:

Qc = potencia reactiva del condensador (Var)

U^2 = tensión de la línea (v)

2.2.5. Energía eléctrica

La energía eléctrica es el resultado de la diferencia potencial que se manifiesta como una corriente eléctrica, a través de un conductor para obtener algún tipo de trabajo también puede transformarse en otros tipos de energía. (7)

Se conoce como energía eléctrica a la potencia consumida en un determinado tiempo, su unidad es KW.h (21)

$$E = P.T$$

Dónde:

E: energía en julios (J)

P: potencia en vatios (W)

T: tiempo en segundos (S)

La energía tiene 3 componentes: energía activa, energía reactiva y energía aparente, que se obtienen al multiplicar la potencia con el tiempo.

2.2.5.1. Energía activa

Es la energía aprovechada por los receptores para realizar un trabajo que transforma la energía eléctrica en otro tipo de energía. (22)

También se le denomina energía reactiva al efecto en el que los receptores eléctricos alimentados por corriente eléctrica transforman la energía eléctrica en trabajo mecánico y en calor. (7)

2.2.5.2. Energía reactiva

Es la energía debida a la existencia de elementos inductivos o capacitivos en la carga. Su existencia supone pérdidas y problemas de dimensionamiento de líneas. En casos de factor de potencia inferior a 0.8 la compañía suministradora facturara dicha energía reactiva al consumidor. (22)

Esta energía aparece en toda máquina o equipo que tiene alambres enrollados donde forman bobinas, es decir estas máquinas para estar en funcionamiento necesitan una parte de energía para crear campos magnéticos en las bobinas. (15)

La energía reactiva afecta directamente al factor de potencia y también reduce la capacidad de los sistemas eléctricos. Estos efectos son reflejados en un

sobredimensionamiento de la infraestructura eléctrica, dando como resultado un incremento en la facturación del consumo eléctrico. (23)

2.2.5.3. Energía aparente

La energía aparente es el total de energía que utiliza un circuito eléctrico, es decir es la suma de la energía activa y la energía reactiva.

Es la energía producida por los generadores y transportada mediante líneas hasta los receptores. (22)

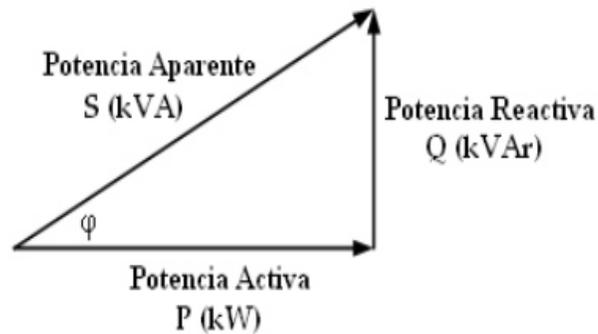
2.2.6. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica es la relación entre el paso de energía por unidad de tiempo en otras palabras, es la cantidad de energía entregada o absorbida en un lapso de tiempo determinada. (7)

La potencia eléctrica también se puede definir como la capacidad para efectuar un trabajo, en el que se da una variación o transferencia de energía por un tiempo determinado. (13)

En circuitos de corriente alterna de estado permanente, en el que los voltajes y corrientes son sinusoidales se aplican tres tipos de potencia eléctrica, que se relacionan mediante un triángulo de potencias: potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente. (9)

Figura N°1 Triangulo de potencias eléctricas



Fuente: EDMINISTER, Joseph, 1997. (24)

2.2.6.1. Potencia activa o absorbida

Es la potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo efectivo, es decir es la potencia que el circuito utiliza para hacer funcionar los elementos que se conecten al circuito. Es así que es la potencia útil que consumo un equipo eléctrico y la que realmente es consumida por sus circuitos. (7)

Es conocida como potencia efectiva, se la representa con la letra (P) y se expresa en Vatios (W). Es la potencia de un circuito que necesita para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica. (4)

La potencia activa es realmente la potencia contratada en la empresa eléctrica.

(9)

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Dónde:

P: Potencia aparente (W)

I: Corriente (A)

V: Voltaje (V)

$\cos\phi$: valor del ángulo

$\sqrt{3}$: Constante para circuitos trifásicos

2.2.6.2. Potencia reactiva

La potencia reactiva no genera ningún trabajo útil, pero es necesaria para el funcionamiento de algunas máquinas y equipos eléctricos que necesitan de esta potencia para generar un campo magnético, esta energía no puede ser convertida en energía activa y retorna a la red eléctrica al removerse el campo magnético perjudicando la transmisión de la energía. (13)

La energía reactiva produce por si misma ningún trabajo, pero cuando se hace pasar una corriente por un conductor, el campo magnético es producto de esta se simboliza con la letra “Q” y su unidad es el Volt Amper Reactivo (VAR). (25)

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \sin \phi$$

Dónde:

Q: Potencia Reactiva (VAR)

I: Corriente (A)

V: Voltaje (V)

$\sin \phi$: valor del ángulo

$\sqrt{3}$: Constante para circuitos trifásicos

2.2.6.3. Potencia aparente o total

La potencia total es la suma geométrica de la potencia activa y reactiva, también el producto de la corriente y el voltaje. Esta potencia es la que realmente suministra una planta eléctrica se simboliza con la letra “S” y su unidad es el Volt Amper (VA). (5)

Es aquella potencia eléctrica que realmente es absorbida por la carga y se obtiene a partir de la suma geométrica de las potencias activa y reactiva. (6)

$$S = \sqrt{3}.V.I$$

Dónde:

S: Potencia Aparente (VA)

I: Corriente (A)

V: Voltaje (V)

$\sqrt{3}$: Constante para circuitos trifásico

2.2.7. Precios de energía y potencia

La tarifa está compuesta por los componentes de generación, transmisión y distribución eléctrica. La formación de precios de energía para el usuario, está en función de los costos de generación (CG), costos por peaje de trasmisión (CPT), valor agregado de distribución para media tensión (VADMT) y el valor agregado para baja tensión (VADBT) (26)

2.2.7.1. Opciones de tarifas para clientes en media tensión

Condiciones de aplicación:

Las condiciones de aplicación de las tarifas en el mercado eléctrico se encuentran sujeto a las condiciones que emite el organismo superior de la inversión de la energía OSINERGMIN en su resolución N° 206-2013.OS/CD.

Dichas condiciones son generales para el sistema eléctrico, dependiendo de la opción tarifaria elegida. Estas condiciones generales definen básicamente los criterios, que se deben de emplear para la facturación de la potencia, modalidad de contratación, la determinación de su valor y el procedimiento de facturación. Las condiciones de aplicación específicas son referidas a las opciones de medición y contratación, la calificación de la carga del cliente y las restricciones para acceder a algunas tarifas. (27)

a) Facturación de la energía activa

Para la facturación de los consumos de energía activa en horas punta, se exceptuará los días domingos, los días feriados nacionales del calendario regular anual y los feriados nacionales extraordinarios declarados en días hábiles. (27)

La facturación de energía en horas punta y fuera de punta, se demandará en base al consumo registrado en dichos periodos por su respectivo precio unitario (expresado en S/. /kW.h) (27)

b) Facturación del cargo por potencia activa de generación en horas punta

Está dada por la demanda máxima mensual en horas punta, multiplicando por el precio unitario de potencia activa de generación en horas punta (27)

c) Facturación del cargo por potencia por uso de las redes de distribución en horas punta

Toma en cuenta el promedio de las dos más altas demandas máximas de los últimos seis meses en el periodo de horas punta

$$PURDHP = PHP \text{ MAX } 1 + PHP \text{ MAX } 2 / 2$$

d) Facturación por exceso de potencia activa por uso de las redes de distribución en horas fuera de punta

Para determinar el exceso de potencia a facturar por uso de las redes de distribución en horas fuera de punta, se resta el valor de la potencia por uso de distribución de horas fuera de punta menos la potencia por uso de redes de distribución a facturar en horas de punta. El exceso resultante será aplicable cuando el resultado sea positivo.

$$EPURDHFP = PURDHFP - PURDHP$$

e) Facturación por energía reactiva

Si el consumo de energía reactiva exceda al 30% de la energía activa total mensual, la facturación se efectuará sobre el exceso de la energía reactiva.

$$\text{Energía reactiva a facturar} = ER \text{ mes} - (0.3 \times EA \text{ mes})$$

A este resultado, se multiplica por el precio unitario de energía reactiva (expresado en S/. /kVAR.h).

2.2.8. Facturación por tipo de energía en el Perú

El encargado de vigilar la energía en planta deberá conocer la estructura tarifaria Vigente y deberá estar permanentemente informado de todas las resoluciones que afecten la factura, se pueden lograr grandes ahorros vigilando este concepto. (28)
Para la correcta interpretación de una factura, se debe tener en cuenta lo que dicta

OSINERGMIN, esta institución pública dicta la terminología tarifaria y sus conceptos básicos.

A. Usuario regulado

Son usuarios que su potencia contratada es menor al 0.2 MW, estos usuarios pertenecen al mercado regulado, de este modo las tarifas son reguladas por la Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria (GART) del OSINERGMIN, por las resoluciones que emite en forma periódica.

OSINERGMIN establece una lista de opciones tarifarias para estos usuarios, las que son de libre elección de acuerdo a sus necesidades de consumo. Cabe mencionar que los usuarios regulados solo pueden ser atendidos a precios regulados por una empresa distribuidora.

Las opciones tarifarias en el mercado regulado, se encuentran normadas por la GART del OSINERGMIN mediante sus Resoluciones semestrales de precios en barra y de períodos de cuatro (04) años para los costos de distribución.

Los cargos para formular la factura del servicio eléctrico, están dado comúnmente por tres conceptos: demanda máxima, energía consumida y factor de potencia, y adicionalmente aplicación de diversos complementos según especifica la legislación vigente. (10)

2.2.9. Disminución del consumo eléctrico

Es disminuir o restringir el consumo eléctrico sin variar la eficiencia de los equipos con lo que se trabaja, también optando medidas técnicas, organizativas, estructurales y aplicando tecnologías. (29).

2.2.10. Eficiencia energética

La eficiencia energética se define como la optimización de los consumos energéticos de una instalación, que permitan realizar una misma operación y se reduzca el consumo energético sin reducir la calidad del servicio prestado. (30)

2.2.11. Rendimiento de equipos

Es la relación entre la energía que absorbe y cuanto de esta lo transforma en útil.

Esto se logra mediante **(30)**:

- dimensionamiento adecuado.
- Realizar el mantenimiento correspondiente.
- Emplear equipos con mayor rendimiento.
- Utilizar equipos controlados por sistemas electrónicos.

2.3. Términos básicos

2.3.1. Definición

- **Energía**

El concepto de energía; se relaciona con la capacidad de generar movimiento o lograr la transformación de algo. La materia posee energía como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella. (7)

Energía es la capacidad de realizar trabajo. (31)

Energía es la capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo. (22)

- **Potencia**

Mientras el concepto de potencia, se relaciona con la fuerza, el poder o la capacidad para realizar o conseguir algo. La potencia es la cantidad de trabajo que se realiza

por unidad de tiempo. Finalmente, la potencia resulta igual a la energía total dividida por el tiempo. (7)

Potencia es la razón de cambio a la cual se utiliza la energía. (31)

Potencia se define como el trabajo realizado en la unidad de tiempo. (22)

- **Banco de condensadores**

Utilizados en subestaciones de Baja (BT) y media tensión (MT), donde se compensa la energía reactiva y mejora el factor de potencia, por otro lado, sirve para disminuir caídas de tensión, minimizar pérdidas de energía; entre otras. Estos equipos pueden ser fijos o automáticos, dependiendo del diagrama de carga del consumo de energía reactiva.

- **Energía activa**

Energía capaz de producir trabajo, se mide en kilowatt-hora (kWh).

- **Energía reactiva**

Energía requerida por algunos equipos eléctricos, para mantener flujos magnéticos. Esta energía no produce trabajo útil y se mide en kilo Volt-Ampere reactivos hora (kVARh)

- **Potencia eléctrica**

Cantidad de energía requerida en una unidad de tiempo. La unidad de medida es el kilowatt (kW).

- **Factor de potencia**

Es la eficiencia que mide un consumo eléctrico a la hora de convertirlo en potencia útil, asimismo es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente.

- **Potencia activa**

Es la potencia útil, que al momento de realizar su transformación se aprovecha como trabajo.

- **Potencia aparente**

Es la potencia que consume un equipo eléctrico, sin tomar en cuenta el factor de potencia.

- **Potencia reactiva**

Es la potencia imaginaria, por no producir trabajo útil, se encuentran dentro de una instalación donde existen bobinas o condensadores y se requiere de estas para poder producir campos magnéticos

- **Sistema eléctrico**

Son redes eléctricas que están compuestas por subestaciones y líneas de MT y BT, estructuras, conductores eléctricos y equipos de protección.

- **Consumo de energía**

Consumido por el cliente el Precio cobrado. Estos varían dependiendo de la tarifa contratada por el cliente.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

En la investigación se desarrolló el método deductivo, ya que el proceso de desarrollo inicio con teorías, conceptos ya validados y corroborados, leyes para obtener soluciones acordes a estas.

El autor Caballero menciona que: El método deductivo es aquella orientación que va de lo general al específico, partiendo de un enunciado general para ir por partes o elementos específicos. (32)

3.1.2. Alcance de la investigación

La investigación se realizó con las mediciones obtenidas de la empresa objeto de estudio, estos resultados se obtuvieron del analizador de redes PM710G instalado en el tablero general de la subestación de la propia empresa Productos del País S.A. Por otra parte, el analizador de redes proporciono datos certeros, como: tensiones, corriente, potencias, factor de potencia, entre otras.

3.1.3. Tipo de investigación.

En la presente investigación se tendrá en cuenta el tipo de investigación aplicada, porque se dará solución a un problema recurrente en toda empresa industrial. De acuerdo Ñaupas, Mejía, & Villagómez “la investigación de tipo aplica es aquella orientada a resolver objetivamente los problemas de los procesos de producción, distribución y consumos de bienes y servicios de cualquier actividad humana,

principalmente de tipo industrial, infraestructural, comercial, comunicacional, servicios, etc.” (33)

3.1.4. Nivel de investigación

La investigación es descriptiva- explicativa, por que inicialmente describe cada una de las variables y con ella recién empezara a explicar el efecto de la compensación de energía reactiva en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019.

Es así que busca determinar las causas que dieron origen a la existencia y naturaleza del problema de estudio, del mismo modo busca sobre la relación reciproca de todos los hechos, buscando dar una explicación objetiva.

Sobre el nivel descriptivo Ñaupas, Mejía, & Villagómez, mencionan que es una investigación de segundo nivel que tiene el objetivo de recopilar datos e información sobre las características, propiedades, aspectos y dimensiones, mientras que sobre el nivel explicativo menciona que es una investigación mucho más compleja, profunda y rigurosa de la investigación básica, con el objetivo de verificación de hipótesis causales o explicativas. (33)

3.2. Diseño de la investigación

En la investigación presentada se tendrá en cuenta el diseño pre experimental, debido que se tendrá en cuenta una evaluación previa y evaluación posterior, estos resultados se obtendrán de un sistema sin compensación reactiva y el otro con un sistema de compensación reactiva.

Sampieri menciona en su libro que el diseño pre experimental es un “Diseño de un solo grupo cuyo grado de control es mínimo. Generalmente es útil como un primer acercamiento al problema de investigación en la realidad.” (34)

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

De acuerdo a Ñaupas, Mejía, & Villagómez la población es el conjunto que abarca todos aquellos individuos, personas o instituciones, los cuales son motivo de investigación. (33)

La población de la investigación está determinada por las facturas de consumo eléctrico mensual de la empresa Productos del País SA de junio 2019 a mayo 2020.

3.3.2. Muestra

De acuerdo Ñaupas, Mejía, & Villagómez “se le conoce como muestra al subconjunto de la población o universo, el cual ha sido seleccionada de acuerdo a diferentes métodos, teniendo en cuentas las características representativas del Universo.” (33)

El tipo de muestreo aplicado es intencional por conveniencia, utilizando un tipo de muestreo no probabilístico, ya que no se utiliza ningún cálculo de probabilidad. La muestra será el total de 10 facturaciones de consumos eléctrico, meses donde se da el mayor procesamiento de la materia prima con la que trabaja la empresa objeto de estudio, siendo esta los periodos de junio 2019 a marzo del año 2020.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnica de análisis de datos

3.4.1.1. Observación

Esta técnica se desarrolló para la recolección de los datos y los registros de las mediciones realizadas en el tablero general de la subestación de la empresa Productos del País S.A.

3.4.1.2. Análisis Documental.

El análisis documental, busca comparar la documentación existente junto con los aportes obtenidos. Además, desarrolla el uso de la bibliografía necesaria que sustenten los conceptos de sistema de información, calidad, comunicación, entre otros. (34)

Se revisará y analizará la información a partir de los documentos facilitados de la empresa, como son las facturaciones por consumo eléctrico.

3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos

3.4.2.1. Ficha de recolección de datos

Este instrumento fue utilizado para la recolección de datos de las mediciones realizadas en el tablero general de la subestación de la empresa Productos del País S.A.

Para realizar la medición de los parámetros se requieren los siguientes equipos.

Analizador de redes.

Características:

Marca: Schneider

Modelo: PM710G

Potencia: 5va

Intensidad: 5amp.

Tensión: media trifásica L-L, L-N.

Frecuencia: 45 a 56 Hz fase fase

Factor de potencia 0.0034 de 1A a 6A y desde -0,5 a +0,5

Potencia activa: Total y por fase (absoluta).

Potencia reactiva: Total y por fase (absoluta)

Potencia aparente: Total y por fase.



Muestra del analizador de redes PM710G

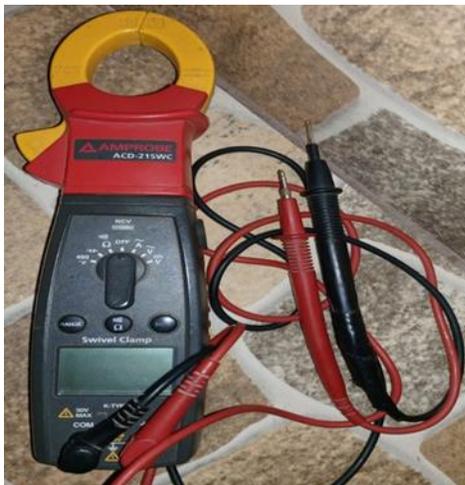
Pinza Amperimétrica

Características:

Marca: Amprobe.

Modelo: ACD-21SWS.

Serie: 110200364



Muestra de la pinza amperimétrica utilizado

3.4.2.2. *Guía de análisis documental.*

Para el análisis documental, tendrá que tener en referencia la información que permita conocer aspectos acordes con el estudio, de tal manera que permita realizar un análisis más profundo, en este caso será conocer sobre el consumo de la energía eléctrica.

A través de las guías de análisis se analizaron los datos de tensión (U), corriente (I), y las potencias activas (KW), reactivas (S), aparente (Q) y el factor de potencia ($\cos \theta$)

CAPÍTULO IV

RESULTADO Y DISCUSION

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

En este capítulo se presenta los resultados de los análisis realizados en el tablero general de la subestación de la empresa Productos Del País S. A. La toma de datos realizada será útil para determinar el estado en el que se encuentra el sistema eléctrico de la empresa Productos del País S.A, esta nos proporcionará información de la potencia activa y reactiva, factor potencia (Fp), tensión y frecuencia. Con la información obtenida se procederá a realizar los cálculos correspondientes para determinar el efecto de la compensación de la energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía reactiva y del mismo para la determinación del efecto de la compensación de la energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía activa.

La recolección de datos se realizó en el periodo de 10 meses enfocándonos en las facturaciones mensuales por consumo de energía eléctrica del mismo modo se identificó el periodo de máxima demanda en hora punta que resultó ser el mes de Julio 2019 (tabla N° 1) se optó por trabajar con este periodo por registrarse un mayor consumo de energía reactiva y energía activa, todo esto generado por un mayor trabajo de producción que tuvieron las maquinarias y equipos de la empresa en el periodo de Julio 2019.

4.1.1. Determinación del efecto de la compensación de la energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía reactiva.

Para determinar el efecto de la compensación de la energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía reactiva se analizó el estado actual en el que se encontró el sistema eléctrico para ello se inició con la determinación de la potencia reactiva y la potencia activa, potencia aparente y el factor de potencia a través de la medición con el analizador de redes (PM710G), que se instaló en el tablero de distribución general.

Determinación de la potencia reactiva máxima y la potencia activa máxima de la empresa productos del País SA –Situación actual.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los datos obtenidos en un periodo de (10 meses) de las facturas emitidas por Electro Centro donde se detalla los costos por facturación de energía total mensual, el registro de consumo de energía reactiva (kvar/h), la potencia en hora punta y potencia fuera de hora punta los registros de la potencia reactiva máxima y la potencia activa máxima.

Tabla N° 1: Consumo eléctrico mensual de la Empresa Productos del País S.A.

BASE DE DATOS PARA EVALUAR EL CONSUMO ELECTRICO DE LA EMPRESA PRODUCTOS DEL PAIS										
PERIODO	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	ene-20	feb-20	mar-20
Energía Activa Total (kW.h)	12,587.00	22,519.25	22,088.75	18,685.75	20,899.75	15,364.75	12,658.75	13,950.25	5,391.50	3,772.00
Energía Activa Hora Punta (kW.h)	369.00	133.25	112.75	123.00	123.00	194.75	112.75	112.75	92.25	82.00
Energía Activa Fuera Punta (kW.h)	12,218.00	22,386.00	21,976.00	18,562.75	20,776.75	15,170.00	12,546.00	13,837.50	5,299.25	3,690.00
Energía Reactiva (kVAR.h)	9,522.2500	18,583.25	17,937.50	14,339.75	18,111.75	13,376.25	10,260.25	13,960.50	3,843.75	2,644.50
Potencia Hora Punta (kW)	4.10	5.95	6.77	4.31	5.64	19.27	4.92	16.20	7.79	1.74
Potencia Fuera Punta (kW)	93.28	172.30	166.87	156.93	139.20	117.88	167.38	113.67	103.42	83.85
Potencia por uso de redes de distribución máxima demanda (KW)	59.91	58.63	58.63	58.63	58.63	31.01	13.02	17.73	17.73	17.73
Facturación total por mes \$/.	8,553.90	12,169.70	12,160.30	11,109.60	12,297.00	11,129.40	9,292.70	10,111.70	7,186.40	5,777.40

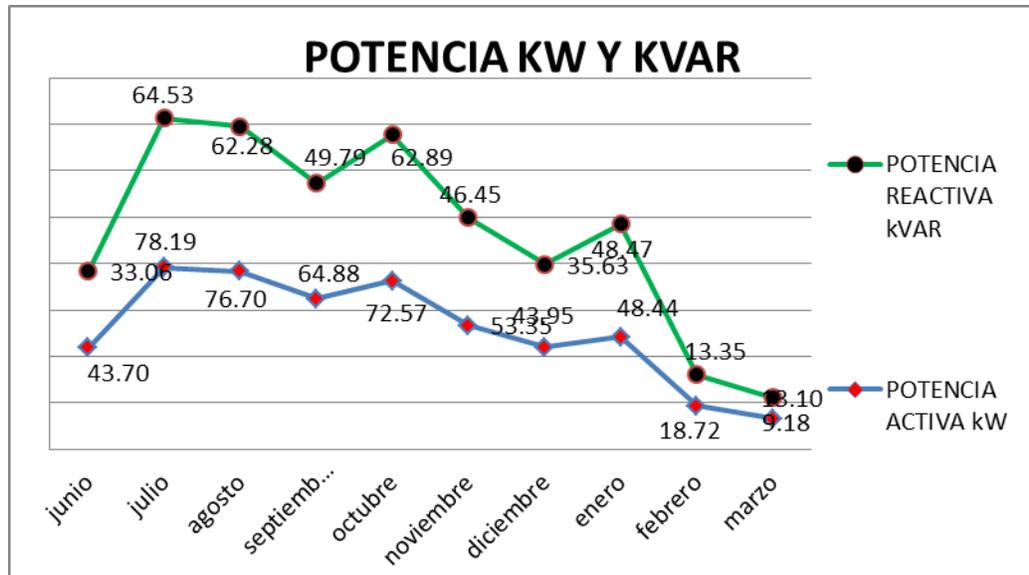
Tabla N° 2:

CUADRO DE DATOS OBTENIDO DE LAS FACTURAS EMITIDAS POR ELECTROCENTRO				
ITM	HORA	POTENCIA ACTIVA (KW)	FACTOR DE POTENCIA (COS ϕ)	POTENCIA REACTIVA (KVAR)
1	junio	43.70	0.79	33.06
2	julio	78.19	0.82	64.53
3	agosto	76.70	0.77	62.28
4	septiembre	64.88	0.79	49.79
5	octubre	72.57	0.75	62.89
6	noviembre	53.35	0.75	46.45
7	diciembre	43.95	0.77	35.63
8	enero	48.44	0.70	48.47
9	febrero	18.72	0.81	13.35
10	marzo	13.10	0.81	9.18

Fuente: elaboración propia

Los datos de la tabla N° 1 fueron tomados en horas de mayor producción (hora punta), que se registró en el mes de julio 2019, en este mes se registró el mayor consumo de potencia reactiva siendo **64.53 kvar** y la mayor potencia activa **78.19 kw**. En la tabla también se muestra los datos del factor de potencia (FP) del cual se tomará el FP promedio de la base de datos (0.75) que corresponde a un ángulo de 41. 40°, para asegurar la correcta capacidad del condensador en la compensación, con estos datos se procederá a calcular la potencia aparente total consumida para demostrar el estado en el que se encontró la empresa objeto de análisis.

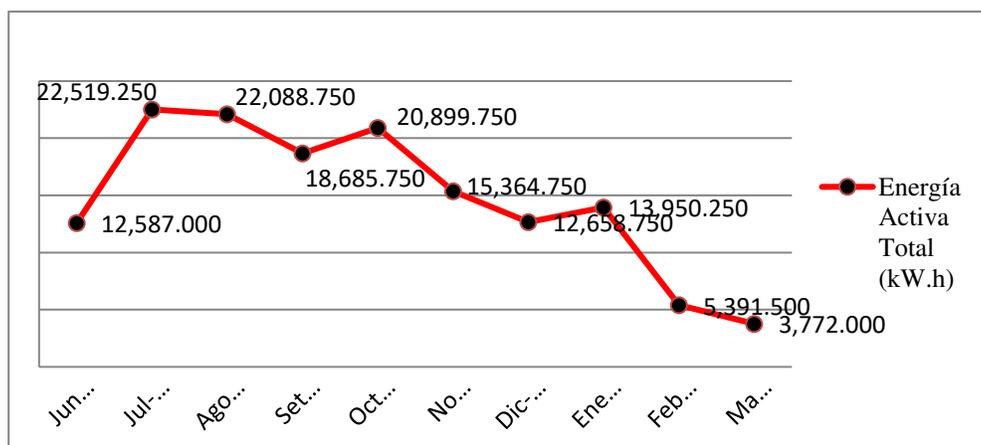
Figura N° 1 Evolución Del Consumo De Energía Eléctrica- La Situación Actual



Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 1 se visualiza la evolución del consumo de los datos recolectados de las facturas lográndose identificar la potencia reactiva máxima (64.53 KVAR) y la potencia activa máxima (78.19 KW) evidenciándose que a mayor potencia activa consumida también es mayor la potencia reactiva tal como se muestra en la figura.

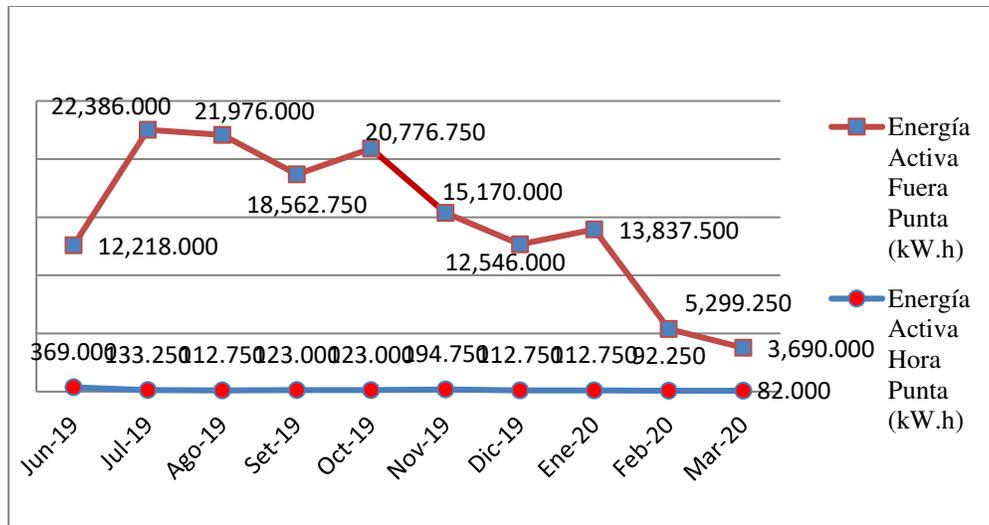
Figura N° 2 Energía activa total (KW.h).



Fuente: Elaboración propia

En la figura mostrada el consumo de la energía activa de mayor significancia es en el mes de julio con un valor de (22,519.250 KW.h). De igual manera se visualiza la energía activa de menor significancia de (3,772.00 KW.h) esto en el mes de marzo.

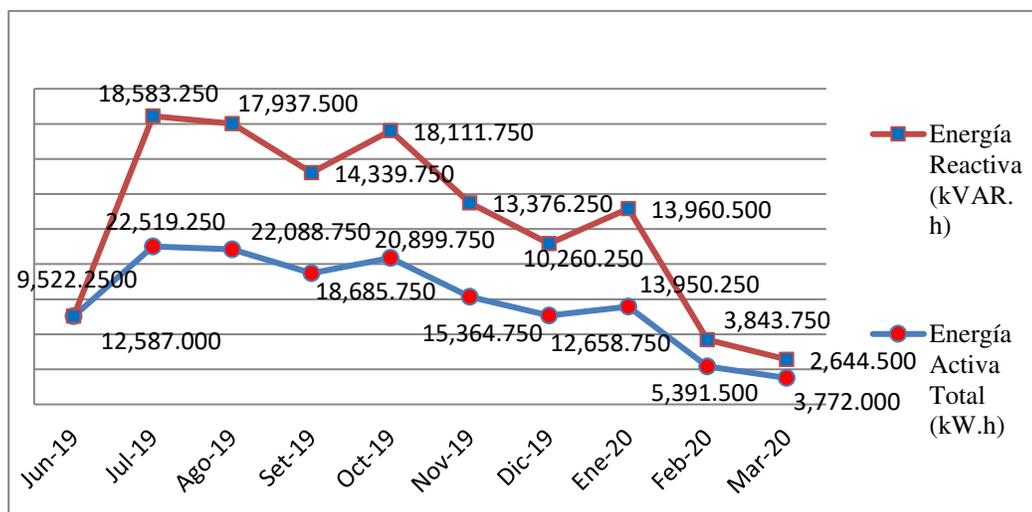
Figura N° 3 Energía activa en hora punta y fuera de punta (KW.h).



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura se muestra la energía activa en horas punta y fuera punta el cual varia su consumo, según el periodo de evaluación en el mes de julio en hora fuera punta tiene un valor de (22.386.00 KW.h), y en hora punta el mes de marzo un valor de (82.00 KW.h).

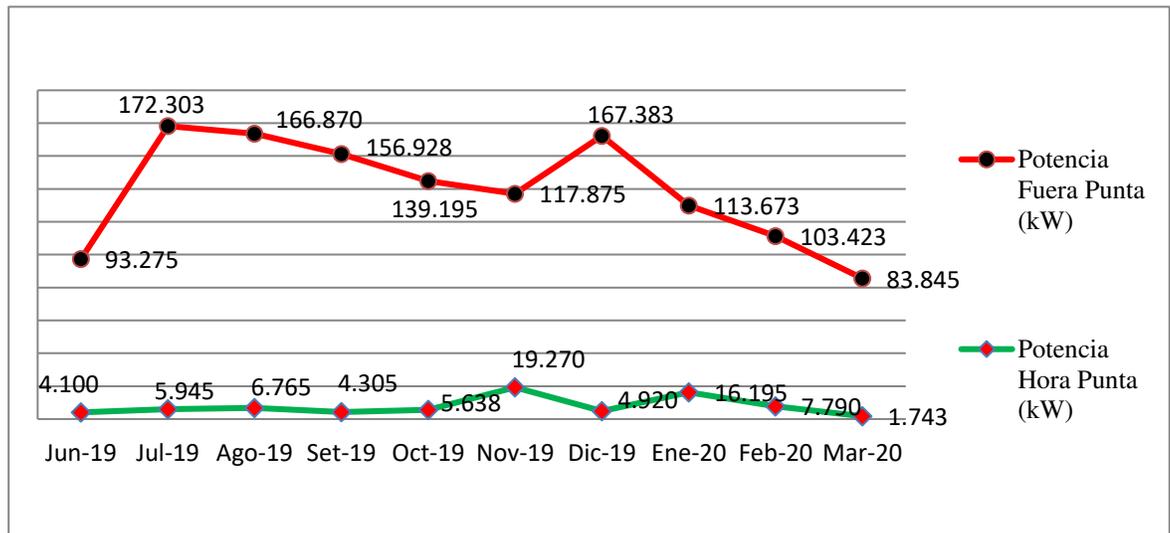
Figura N° 4 Energía activa total y energía reactiva.



Fuente: Elaboración propia.

Según esta figura se visualiza el consumo de la energía reactiva durante (10 meses), donde la variación de esta energía con respecto a la energía activa total depende de la variación de la energía activa total. Esto quiere decir cuánto más energía activase consume, la energía reactiva también es más alta. En consecuencia, la figura mostrada nos permite identificar los puntos donde hay mayor consumo para realizar la compensación de la energía reactiva. Es así que de esta figura se tomara el consumo del mes de julio donde el consumo es más alto de acuerdo al periodo de evaluación de (10 meses).

Figura N° 5 potencia activa hora punta y fuera hora punta.



Fuente: Elaboración propia.

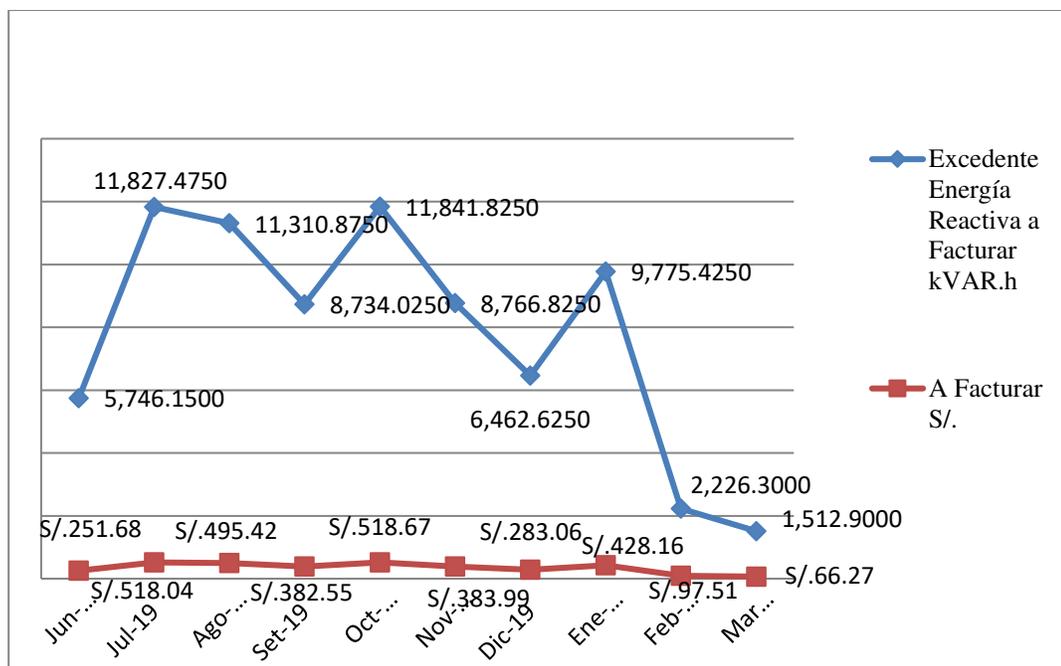
Tabla N° 3 Facturación mensual por excedente en energía reactiva

Facturación mensual por excedente en Energía Reactiva							
Periodo	Energía Activa kW.h-Mes	Energía Reactiva kVAR.h - Mes	Energía Activa 30%	Excedente Energía Reactiva a Facturar kVAR.h	Costo Unitario Energía Reactiva S/.	A Facturar S/.	Porcentaje del excedente de ER %
jun-19	12,587.00	9,522.25	3776.10	5,746.1500	S/. 0.0438	S/. 251.68	45.65%
jul-19	22,519.25	18,583.25	6755.78	11,827.4750	S/. 0.0438	S/. 518.04	52.52%
ago-19	22,088.75	17,937.50	6626.63	11,310.8750	S/. 0.0438	S/. 495.42	51.21%
sep-19	18,685.75	14,339.75	5605.73	8,734.0250	S/. 0.0438	S/. 382.55	46.74%
oct-19	20,899.75	18,111.75	6269.93	11,841.8250	S/. 0.0438	S/. 518.67	56.66%
nov-19	15,364.75	13,376.25	4609.43	8,766.8250	S/. 0.0438	S/. 383.99	57.06%
dic-19	12,658.75	10,260.25	3797.63	6,462.6250	S/. 0.0438	S/. 283.06	51.05%
ene-20	13,950.25	13,960.50	4185.08	9,775.4250	S/. 0.0438	S/. 428.16	70.07%
feb-20	5,391.50	3,843.75	1617.45	2,226.3000	S/. 0.0438	S/. 97.51	41.29%
mar-20	3,772.00	2,644.50	1131.60	1,512.9000	S/. 0.0438	S/. 66.27	40.11%
total						S/. 3,425.35	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla (3) mostrada se registraron datos a evaluar para la facturación actual de la energía reactiva (ER) durante la recolección de datos de (10 meses).

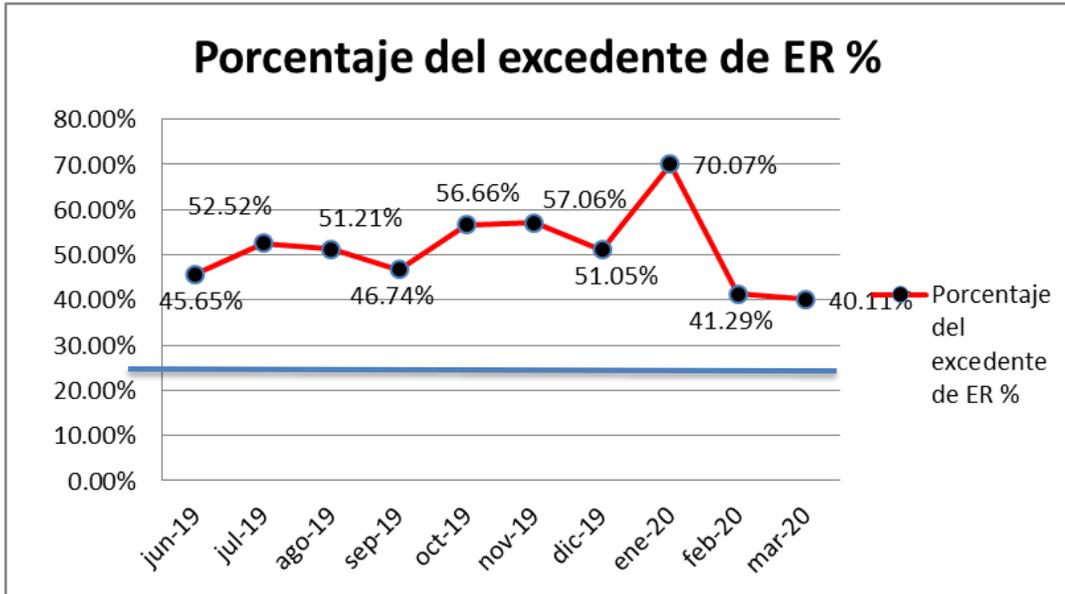
Figura N° 6 se muestra el consumo de energía reactiva.



Fuente: Elaboración propia.

Según la figura mostrada la energía reactiva y facturación por el consumo de estas se evidencia durante el periodo de 10 meses donde se analiza los resultados, así en el mes de marzo fue la facturación mínima de S/. 66.27, y la máxima que se facturó por consumo de esta energía reactiva fue en el mes octubre con un monto de S/. 518.67.

Figura N° 7 se muestra el porcentaje de la energía activa y energía reactiva



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura mostrada se evidencia la variación en porcentaje de la energía reactiva durante el periodo de (10 meses) que se evaluó, tiempo que se considera para realizar el análisis del excedente de la energía reactiva, en consecuente se observa que, si hay penalidad de la energía reactiva por exceder el 30% de la energía activa total, dicho esto lo correcto sería no superar el 30% de la energía total consumida

Cálculo de la potencia aparente total.

El cálculo de la potencia aparente total se logra con la formula mostrada en el marco teórico y con los valores obtenidos de la potencia más alta de 78.19KW y el Factor de potencia mínima de (0.75).

$$St = \frac{p(kw)}{\cos\varphi} \qquad St = \frac{78.19}{0.75} = 104.25KVA$$

st =Potencia aparente total

$\cos\varphi$ = Factor de potencia (FP)

$p(Kw)$ = Potencia activa

Conociendo este nuevo resultado de la potencia aparente total procederemos al nuevo cálculo de la potencia reactiva, para visualizar en un gráfico el estado de las potencias antes de realizar la compensación de la potencia reactiva.

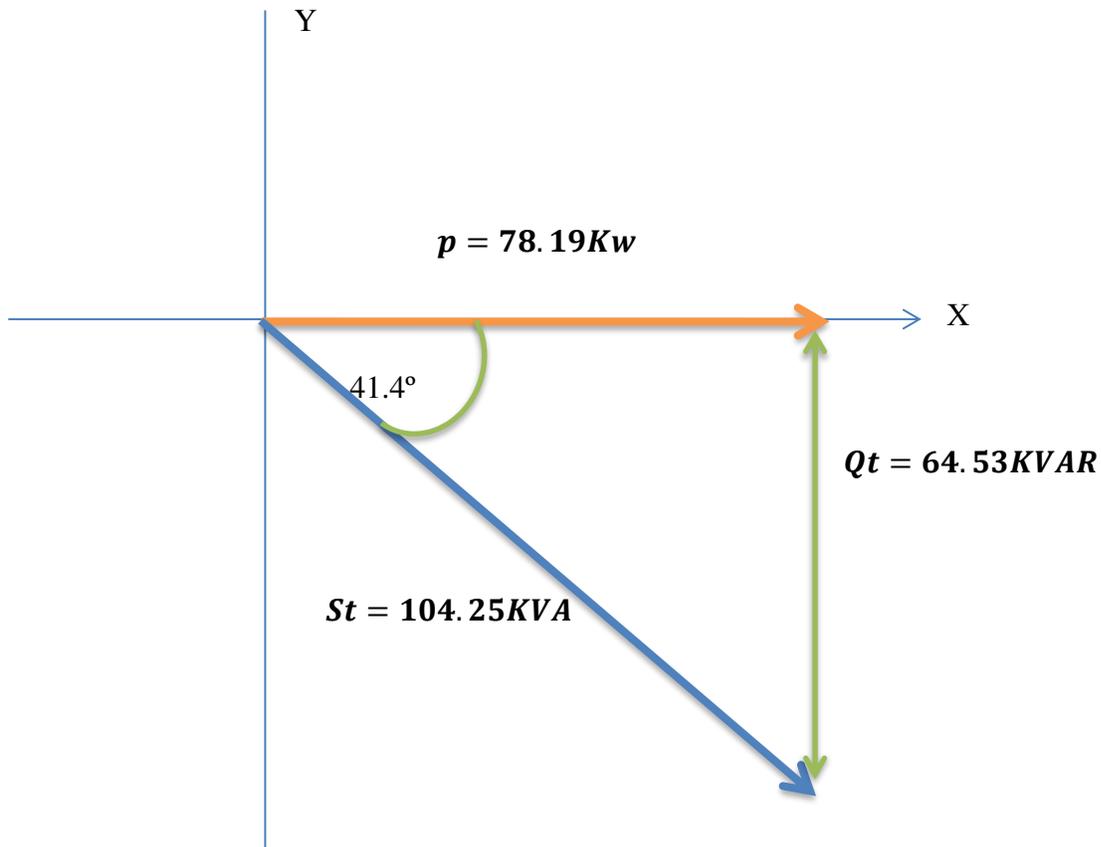
Potencia reactiva consumida total.

Este dato se obtiene de la tabla (Nº 1) mostrado donde la potencia reactiva máxima se visualiza un mayor consumo en el mes de julio con un valor de (64.53 KVAR).

$$Qt = 64.53KVAR$$

Con los cálculos realizados de la potencia total, Se procede a realizar el diagrama fasorial de las potencias sin la compensación de acuerdo a los resultados obtenidos.

Figura N° 8 diagrama fasorial de las potencias sin compensar.



Fuente: Elaboración propia.

Según el diagrama fasorial mostrado, se puede apreciar la potencia activa, aparente, reactiva y el factor de potencia actual antes de la compensación, Ahora para analizar la diferencia de la potencia reactiva encontrada y la compensada se procederá a realizar el cálculo de la potencia reactiva capacitiva. Una vez encontrado este dato se procederá analizar dicha potencia reactiva y el factor de potencia para determinar si incide la compensación de la potencia reactiva en las opciones tarifarias y condiciones de ampliación de tarifarias, donde OSINERMIGN precisa en el artículo

17°, que el consumo de energía reactiva hasta el 30% de la potencia activa total, no será motivo de recargo alguno.

La norma indica el cumplimiento de la siguiente:

Formula Para encontrar FP libre de penalidad.

$$Q \leq 30\%. P$$

$$Q = 0.30 \times 78.19 = 23.457 \text{VAR}$$

Según el cálculo realizado la potencia reactiva no se encuentra afectada a la penalidad del 30% por parte de la concesionaria (Electro centro).

Determinación de la capacidad del banco de condensador

Para poder mejorar el factor de potencia y reducir el consumo de la energía reactiva se tomará en cuenta la determinación de la capacidad del banco de condensador en (KVAR), para ello se iniciará con el cálculo de la potencia aparente en (KVA).

Determinación para encontrar la nueva potencia aparente.

El cálculo de la nueva potencia aparente se realiza con la formula mostrada en el marco teórico

$$S_2 = \sqrt{78.19^2 + 23.457^2}$$

$$S_2 = 81.633 \text{VA}$$

- **La nueva $\cos\varphi_2$ será:**

$$\cos\varphi_2 = \frac{78.19}{81.633} = 0.958 \approx 0.96$$

El nuevo $\cos\varphi_2$ calculado regulará la potencia reactiva

Calculando el ángulo del $\cos\varphi_2$:

$$\varphi_2 = \cos^{-1}(0.96) = 16.7^\circ$$

Determinación de la potencia reactiva capacitiva.

La potencia reactiva de lo condensador necesarios para desarrollar la compensación se obtiene de la diferencia de tangente del ángulo inicial y la futura.

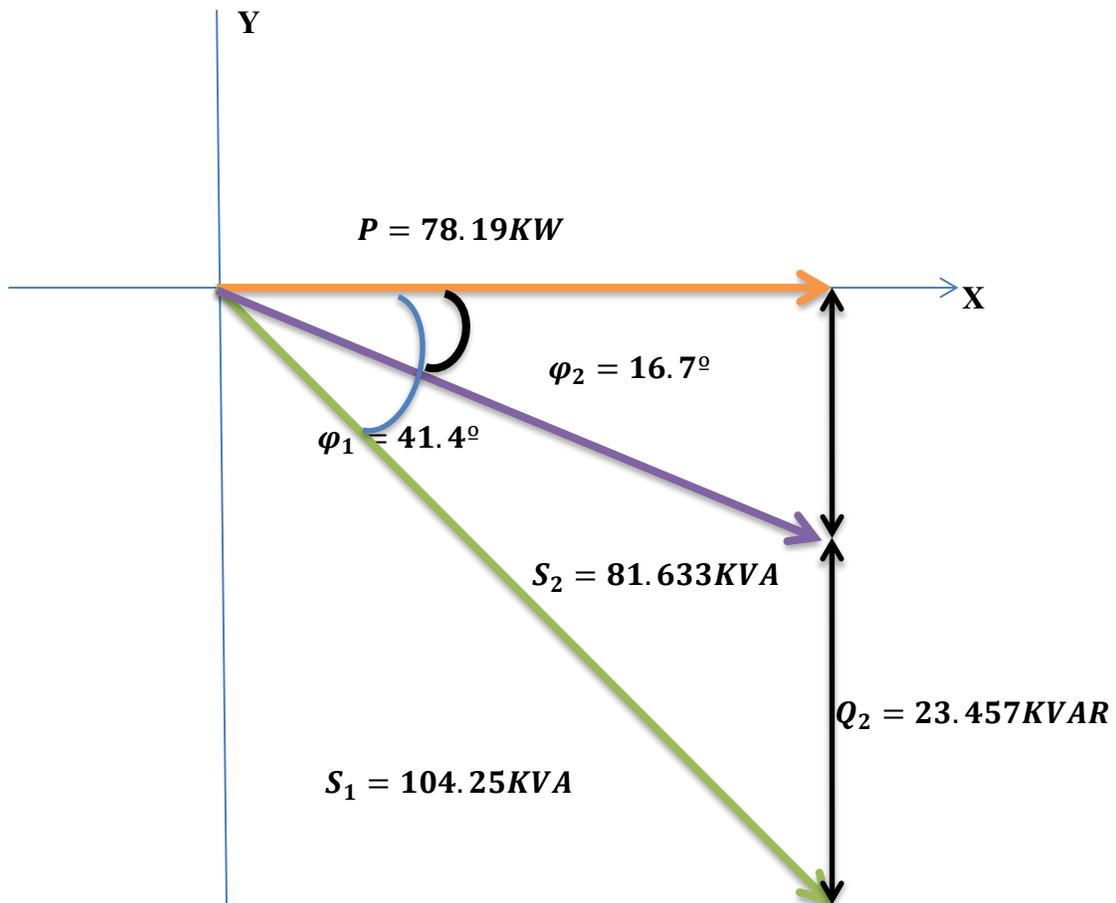
$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2}$$

$$Q_2 = \sqrt{81.633^2 - 78.19^2}$$

$$Q_2 = 23.457$$

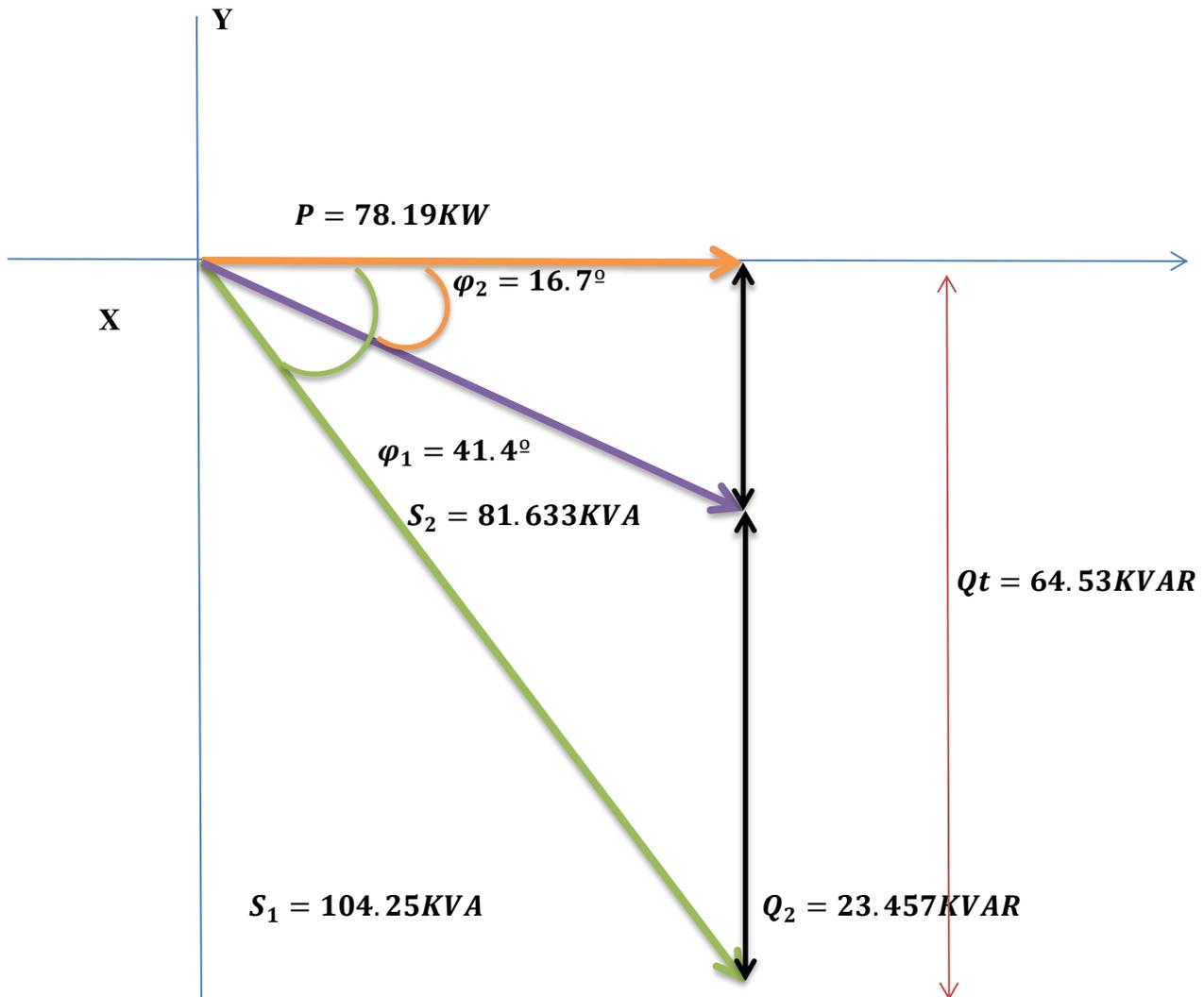
A continuación, se muestra los factores de la potencia originales y la corregida mediante la compensación en el diagrama siguiente.

Figura N° 9 diagrama fasorial reactiva compensada



Fuente: elaboración propia.

Figura N° 10 diagrama fasorial con 20% de aumento en la potencia reactiva compensada



Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados mostrados, el banco de condensadores fue seleccionado de acuerdo a los cálculos realizados donde la potencia reactiva del condensador es de capacidad 24 KVAR.

Determinación de la capacidad total del condensador (μF) con la potencia reactiva encontrado.

Se determinó la capacidad del condensador total con la formula presentada en el marco teórico, este se implementará una compensación automática ideal para mantener el factor de potencia lo más cercano al establecido ya que, mediante los contactores, estará conectado y desconectado los condensadores. Para ello es necesario el cálculo de la capacidad del banco de condensadores de la siguiente manera.

$$\begin{aligned}CB &= Q_1 - Q_2 \\CB &= 64.53 - 23.457 \\CB &= 41.73KVAR \approx 42KVAR\end{aligned}$$

Entonces la capacidad de cada condensador se elegirá de acuerdo al resultado del cálculo realizado **41.73KVAR** misma que se reemplazara por su valor inmediato que es de **42 KVAR** la cual es comercial y el total de escalones a realizar será de 3 pasos de 7.1 KVAR de capacidad de cada condensador.

Calculamos la corriente total (It) del banco de condensadores, para obtener los dispositivos de protección, conexión y calibre de conductor.

Para la elección de los dispositivos de protección y conexión es necesario conocer la corriente total con la cual trabajara el sistema eléctrico después de su compensación de la potencia reactiva, ya que esta no solo influye en la reducción del consumo eléctrico, esta también influye en la reducción de la corriente total del sistema

eléctrico, del mismo modo también generara un incremento de la vida útil de la maquinas e instalaciones eléctricos que estaban siendo afectadas, antes de realizar la compensación de la energía reactiva.

$$I_t = \frac{CB}{Ux\sqrt{3}}$$

$$I_t = \frac{420000}{230x\sqrt{3}} = 104.73Amp$$

La corriente total encontrada agregamos el 25% de corriente de diseño.

$$I_d = 1.25x104.73$$

$$I_d = 130.91Amp$$

Se determinó la corriente total de 130.91 amperios mediante los cálculos realizados, a este valor se le multiplico por 25% como corriente de diseño donde se obtuvo una corriente Id (130.91) amperio. Por ello para la elección del interruptor termo magnético se optó por uno de su inmediato superior.

Así se optó por un interruptor termo magnético de (150) amperio de caja moldeada y con un poder de corte, de, cortocircuito de 90 (KA).

TABLA N° 4

Datos técnicos del banco de condensador utilizados		
ITM	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS
1	Potencia	42KVAR
2	Tensión	230V
3	Frecuencia	60Hz
4	Fase	3
5	Norma de fabricación	IEC60831-1 IEC60831-2

6	Celdas capacitivas	Polipropileno metálico con una aleación de Zn/Al, resistencia y perfil especial con una temperatura 25c° a 55c° continuo
7	N° de pasos	1.1
8	Tipo de conexión	Delta
9	Ventilación	Con inyección y extracción de aire, forzada
10	Descarga de celdas	Por medio de resistencias individuales
11	Altitud máxima	2000mm
12	Régimen de utilización	continuo

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Determinación del efecto de la compensación de energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía activa

La determinación de la compensación no solo se analizará la reducción de la potencia reactiva, también se refleja en la reducción de trabajo principalmente de los equipos y conductores ocasionados por el efecto joule. Por ello se determinó el efecto de la compensación en el sistema eléctrico por lo cual se procederá al cálculo independiente de cada capacitor y componente para el correcto funcionamiento, Cálculo de la corriente nominal de cada condensador de 7 .1KVAR ya que estas estarán sometidas a 6 pasos y conectados en delta.

$$I_N = \frac{Q(KVAR)}{\sqrt{3}xU}$$

$$I_N = \frac{7.1}{\sqrt{3} \times 0.230}$$

$$I_N = 17.82 \text{ amp}$$

Características del condensador.

Pot. (kVar) según las tensiones de operación								IN (A)	Tipo de envase	Ø (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Referencia
230	240	260	300	400	415	440	480						
2.4	2.6	3.1	6.6	7.3	7.9	8.9	10.6	12.7	LC	70	245	1.1	BLRCH088A106B48
3.4	3.8	4.4	9.4	10.4	11.2	12.6	15.0	18	RC	90	242	1.6	BLRCH125A150B48
4.7	5.1	6	12.8	14.2	15.2	17.1	20.4	24.5	RC	90	242	1.6	BLRCH170A204B48
5.7	6.2	7.3	15.6	17.3	18.7	21	25.0	30	TC	116	242	2.5	BLRCH208A250B48
7.1	7.7	9.1	19.4	21.5	23.1	26	31.0	37.2	TC	116	242	2.5	BLRCH258A310B48
7.9	8.6	10.1	21.7	24	25.8	29	34.6	41.6	VC	136	242	3.2	BLRCH288A346B48
9.3	10.2	11.9	25.5	28.3	30.4	34.2	40.7	48.9	XC	116	321	4.1	BLRCH339A407B48

Cálculo de la corriente de contactores.

Este dispositivo funcionara en la conexión y desconexión de cada uno de los condensadores mismos que trabajarán a escalones de 5 pasos, estos serán controlados por el controlador de factor de potencia.

$$I_n = I_c$$

$$17.82 \text{ amp} = 17.82 \text{ amp}$$

Con los resultados obtenidos se instaló contactores trifásicos misma que soportan una intensidad de 20 Amp y de modelo de acuerdo al catálogo de Schneider.

Cálculo de la corriente para el Interruptor termo magnético.

Para los bancos de condensadores los cuales son propensos a fallas anormales y de operación, por ello es fundamental contar con una protección de capacidades adecuadas. Para realizar el cálculo de la corriente del interruptor termo magnético se utilizará una constante de 1.25 como operación.

$$I_{int} = I_N \times 1.25$$

$$I_{int} = 22.27 \text{ amp}$$

La corriente calculada para el interruptor termo magnético es de 22.27 amp.

Con el cálculo obtenido se procedió a instalar el interruptor termo magnético de 10 amp, no regulable

Cálculo del conductor de alimentación.

Para determinar el calibre del conductor de alimentación se realizará el cálculo teniendo en cuenta el incremento de la corriente nominal en un 30%

$$I_{conduc} = I_N \times 1.35$$

$$I_{conduc} = 17.82 \times 1.35 = 24.05 \text{ amp}$$

Tabla N° 5 Calibre de conductor NNY

CALIBRE	N° HILOS	ESPEORES		DIMENCIONES		PESO (Kg/Km)	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA	ALTO	ANCHO		ENTERRADO	AIRE	DUCTO
N° x mm ²		mm	mm	mm	mm		A	A	A
3 - 1 x 6	1	1	1.4	7.8	23.2	324	72	54	58
3 - 1 x 10	1	1	1.4	8.6	25.7	455	95	74	77
3 - 1 x 16	7	1	1.4	9.8	29.1	672	127	100	102
3 - 1 x 25	7	1.2	1.4	11.4	33.9	992	163	131	132
3 - 1 x 35	7	1.2	1.4	12.4	37.1	1298	195	161	157
3 - 1 x 50	19	1.4	1.4	14.1	42	1707	230	196	186
3 - 1 x 70	19	1.4	1.4	15.7	46.8	2339	282	250	222
3 - 1 x 95	19	1.6	1.5	18.2	54.3	3209	336	306	265
3 - 1 x 120	37	1.6	1.5	19.9	59.5	3975	382	356	301
3 - 1 x 150	37	1.8	1.6	21.7	64.9	4836	428	408	338
3 - 1 x 185	37	2	1.7	24.1	72	6027	483	470	367
3 - 1 x 240	37	2.2	1.8	27	80.8	7825	561	562	426
3 - 1 x 300	37	2.4	1.9	29.8	89.3	9736	632	646	480
3 - 1 x 400	61	2.6	2	33.2	99.4	12336	730	790	555
3 - 1 x 500	61	2.8	2.1	36.9	110.4	15590	823	895	567

Fuente: Indeco.

Determinación del factor C/K del regulador de potencia reactiva y resistencia de descarga.

Para determinar la corriente d línea es necesario conocer la potencia aparente máxima consumida es 81.45 KVA según el cuadro de datos.

$$I = \frac{81.45}{Ux\sqrt{3}}$$

$$I = \frac{81.45}{230x\sqrt{3}} = 204.45Amp$$

Con el resultado obtenido de la corriente delinea se procede a calcular el transformador de corriente.

$$T_c = \frac{204.45}{5} = 40.89$$

El resultado del transformador de corriente es de 40.89 Amp a 230 v, estos valores de acuerdo a los catalogas del mercado no son comerciales por ello se opta por un transformador de corriente de 50 Amp con una relación de transformación de 50/5.

Otro dato importante es la de cesibilidad del controlador de factor de potencia, para este cálculo de cesibilidad se realizará de acuerdo a la formula mostrada en el marco teórico.

$$\frac{C}{K} = \frac{10000/(\sqrt{3} x230)}{\frac{50}{5}}$$

$$\frac{C}{K} = 0.251$$

Este cálculo de sensibilidad servirá para la determinación de la entrada y salida de los condensadores, esto quiere decir cuando los valores de potencia reactiva superan los 0.251 KVAR, este empezara a accionar y al momento de no exceder esta potencia reactiva, evitara realizar una sobrecompensación.

El resultado del factor $C/K = 0.25$ servirá para determinar la regulación de la energía reactiva de acuerdo a los pasos 6.

Análisis del efecto de instalar el banco de condensadores en las redes eléctricas.

La corriente total consumida en relación a la máxima demanda compensada y sin compensar.

- Sin compensar

$$It = \frac{P}{Ux\sqrt{3} x\cos\phi_1}$$

$$It = \frac{78.19}{230x\sqrt{3} x0.0.75} = 261.69Amp$$

- Compensado

$$It = \frac{78.19}{230x\sqrt{3} x0.96} = 204.45Amp$$

Se observa que la corriente disminuyo en un 25% mejorando el factor de potencia al 0.96% e indicar que esta disminución solo afecta la línea de alimentación de principal.

4.1.3. Análisis económico de la implementación e instalación del banco de condensadores en la empresa productos del país S.A.

Para realizar la implementación e instalación del banco de condensadores que compense el factor de potencia es necesario los siguientes materiales mostrados a continuación.

Tabla N°6

Descripción de materiales a utilizar en la instalación del banco de condensadores				
ITM	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Condensador de 7.1KVAR-varplus Schneider	6	393.72	2362.32
2	Interruptor termo magnético de 150 amp regulable Schneider	1	858,45	858.45
3	Contactador LC1-DLK11M7 Schneider	3	158.51	475.53
4	Trasformador de corriente de RT-50/5	1	138.23	138.23
5	Regulador de factor de potencia varlogic de 6 pasos -Schneider	1	1498.45	1,498.45
6	Cable NYYde 1.4mm ² ; 2(3-1x4)	12mts	176.5	2,118
7	Alambre de cobre desnudo de 25mm	8mts	10.5	84
8	Rollo de conductor N°16 AWG	1	110	110
9	Tablero eléctrico1200x 600x300mm	1	670.23	670.23
10	Precintos(paquete)	1	5.5	5.5
11	Total, de precios en soles			8,320.71

Fuente: Elaboración propia.

Costo de la instalación del banco de condensadores

ITM	DESCRIPCION	COSTOS
1	Costo de materiales a utilizar	8,320.71
2	Mano de obra	1.500
3	Gastos indirectos	500
4	Gastos técnicos	500
5	Total, de costo	10,820.71

El Valor de adquisición (VA) será: 10,820.71 S/

Costo de operación

$$CO = VA \times 70\%$$

$$CO = 10,820.71 \times 70\% = 7,574.497$$

La inflación moderada del 3% en los costos de materiales se dará con el CM obtenido como resultado.

$$7,574.497 \times 1.03 = 7,801.73$$

Mediante los resultados obtenidos el valor se tomará el 25% de mano de obra y 75% de gastos de repuesto. Emitidos por la norma técnica de ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

Costo de materiales:

$$CM = 7,801.73 \times 75\% = 5695.26$$

Mano de obra:

$$MO = 7,801.73 \times 25\% = 1,423.82$$

Costo total de inversión:

$$Ct = 10,820.71 + 7,801.73 = 18622.44$$

Beneficios de compensación

Costo total anual de la energía reactiva S/8,244.56, realizamos la comprobación adquisición de la compensación es viable.

$$8,244.56(10) > (1 + (10 \times 0.04)) \times 18,622.44$$

$$82,445.6 > 26,071.41$$

Calculamos el retorno de la inversión en años:

$$RI = \frac{26,071.41}{82,445.6} = 1.32 \approx \text{años}$$

La devolución de la inversión será en un aproximado de 1 año y 3 meses.

4.2. Prueba de hipótesis

La determinación de los datos que se analizó de la potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva y el factor de potencia, así como las facturaciones que fueron

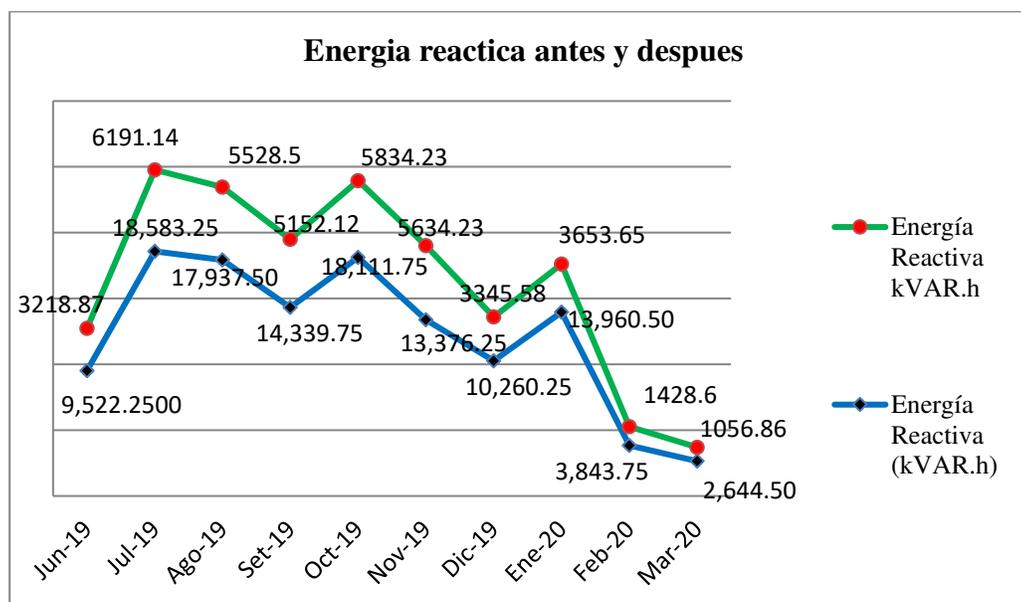
emitidas por el concesionario las que se consideró en el presente proyecto como también el banco de condensadores la que se propone, nos permitirá evaluar las hipótesis planteadas.

4.2.1. Hipótesis general

H0: La compensación de energía reactiva no incide significativamente en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A. en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019.

H1: La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A. en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019.

Figura N° 11 Energía reactiva sin compensar y compensada.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura mostrada se representa el antes y después de compensación de la energía reactiva, donde podemos concluir que la compensación de la energía reactiva es efectiva porque demuestra la disminución de esta energía después de la compensación, esto se verá reflejará en las facturas emitidas por la concesionaria donde precisará el costo S/.00.00 de la energía reactiva, así mismo esto representa el ahorro mes a mes para la empresa productos del país.

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Prueba estadística de muestras emparejadas

Prueba de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Después - Antes	- 4095,00	1806,07	571,13	-5386,98	-2803,01	- 7,17	9	,000

Regla para la decisión

P-valor > α ; se acepta la hipótesis nula.

P-valor < α ; se rechaza la hipótesis nula.

Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística de muestras emparejadas, la probabilidad estadística a un nivel de significancia de 5% resulta ser menor al nivel de significancia (pvalor=0.00 <0.05), por lo que existe suficiente evidencia estadística

para rechazar la hipótesis nula (H_0), y se acepta la hipótesis alterna (H_a) con ella se afirma que la compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del país S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019

4.2.2. Hipótesis específicas

4.2.2.1. Hipótesis específica 1

H₀: La compensación de energía reactiva no incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía reactiva.

H₁: La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía reactiva.

Nivel de significancia

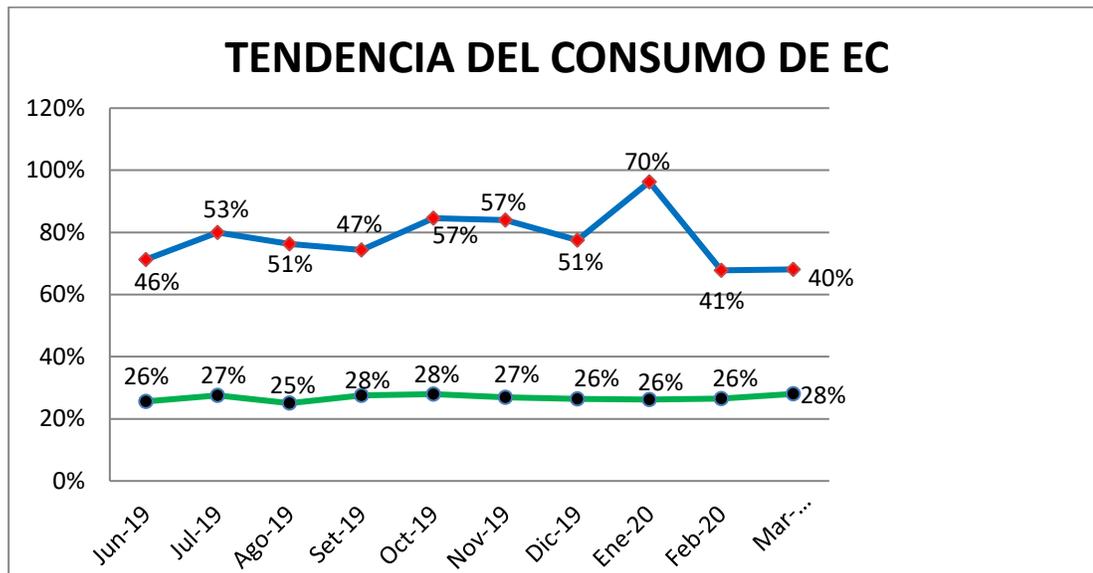
$$\alpha = 0.05$$

Tabla N°7

periodo	POTENCIA REACTIVA SIN COMPENSAR (FP 0.75)							POTENCIA REACTIVA COMPENSADA (FP 0.96)		
	Energía Activa kW.h-Mes	Energía activa kW.h-Mes 30%	Máxima Demanda (kW)	Potencia Reactiva kVAR	Energía Reactiva (kVAR.h)	Porcentaje excedente (Energía reactiva)	Tiempo de Trabajo (h-mes)	Potencia Reactiva kVAR	Energía Reactiva kVAR.h	Porcentaje (Energía reactiva)
jun-19	12,587.00	3776.1	43.705	33.06	9,522.2500	46%	288	11.177	3218.87	26%
jul-19	22,519.25	6755.775	78.192	64.53	18,583.25	53%	288	21.497	6191.14	27%
ago-19	22,088.75	6626.625	76.697	62.28	17,937.50	51%	288	19.196	5528.5	25%
sep-19	18,685.75	5605.725	64.881	49.79	14,339.75	47%	288	17.889	5152.12	28%
oct-19	20,899.75	6269.925	72.569	62.89	18,111.75	57%	288	20.258	5834.23	28%
nov-19	15,364.75	4609.425	53.350	46.45	13,376.25	57%	288	14.355	4134.23	27%
dic-19	12,658.75	3797.625	43.954	35.63	10,260.25	51%	288	11.617	3345.58	26%
ene-20	13,950.25	4185.075	48.438	48.47	13,960.50	70%	288	12.686	3653.65	26%
feb-20	5,391.50	1617.45	18.720	13.35	3,843.75	41%	288	4.960	1428.6	26%
mar-20	3,772.00	1131.6	13.097	9.18	2,644.50	40%	288	3.670	1056.86	28%

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 12 tendencia del consumo de energía compensada.



Fuente: Elaboración propia.

El consumo de la potencia reactiva a un $\cos\phi$ 0.75, se determina que es del 87% como máximo (sin compensar) y aun $\cos\phi$ 0.96 se determina que es 25% (compensada) esto indica que menor al 30% no se factura por consumo de energía reactiva, mientras que al mayor de 30% si se factura. Por lo tanto, se concluye que de acuerdo a los resultados obtenidos de la compensación de la energía reactiva ya no se facturara por consumo de la energía reactiva.

Prueba estadística de muestras emparejadas

Prueba de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior				Superior
Después - Antes	-,536	,089	,028	-,599	-,472	-19,02	9 ,000	

Regla para la decisión

P-valor $> \alpha$; se acepta la hipótesis nula.

P-valor $< \alpha$; se rechaza la hipótesis nula.

Decisión estadística

A un nivel de significancia del 5% (pvalor=0.00 < 0.05), existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por tanto, se afirma que la compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía reactiva de consumo de energía eléctrica. La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía reactiva.

4.2.2.2. *Hipótesis específica 2*

H₀: La compensación de energía reactiva no incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía activa.

H₁: La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía activa.

Nivel de significancia

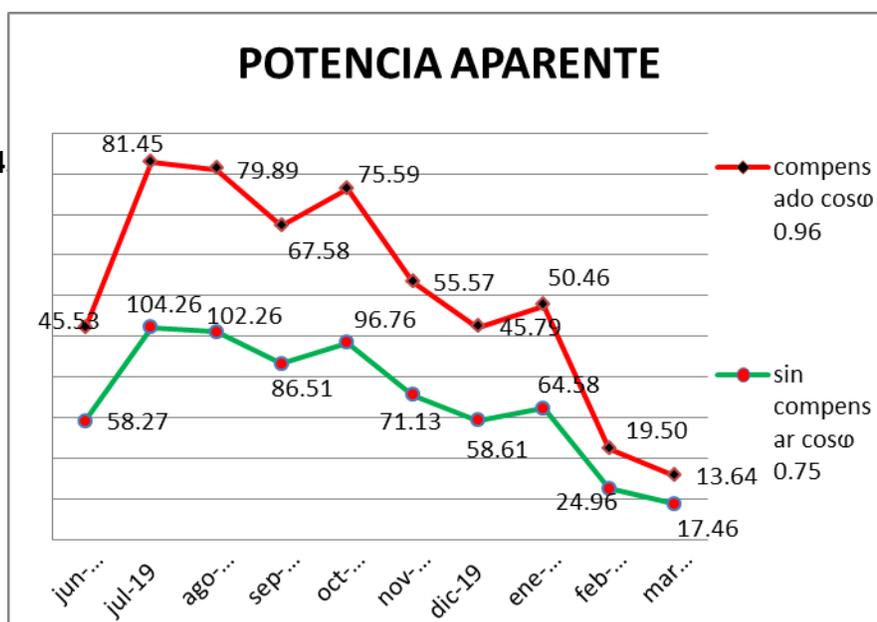
$\alpha = 0.05$

Tabla N° 8. Datos de potencia activa, aparente y reactiva compensada.

F PERIODO	sin compensar $\cos\phi$		compensado $\cos\phi$ 0.96			INGRESO MENSUAL S/.		
	POTENCIA A KVA	POTENCIA kW	POTENCIA kVA	POTENCIA RECUPERADA		COSTO S/ ./kW-Mes	AHORRO EN SOLES S/.	
				kVA	kW			
jun-19	58.27	43.705	45.53	12.75	12.24	57.3300	701.57	
jul-19	104.26	78.192	81.45	22.81	21.89	57.3300	1255.17	
ago-19	102.26	76.697	79.89	22.37	21.48	57.3300	1231.17	
sep-19	86.51	64.881	67.58	18.92	18.17	57.3300	1041.50	
oct-19	96.76	72.569	75.59	21.17	20.32	57.3300	1164.91	
nov-19	71.13	53.350	55.57	15.56	14.94	57.3300	856.40	
dic-19	58.61	43.954	45.79	12.82	12.31	57.3300	705.57	
ene-20	64.58	48.438	50.46	14.13	13.56	57.3300	777.55	
feb-20	24.96	18.720	19.50	5.46	5.24	57.3300	300.50	
mar-20	17.46	13.097	13.64	3.82	3.67	57.3300	210.24	
TOTAL							S/. 8,244.56	

Elaboración propia.

Figura N° 13. Potencia aparente compensada y sin compensar



Fuente: Elaboración propia.

En este cuadro mostrado se identifica que el consumo de la potencia aparente disminuye significativamente mejorando el factor de potencia $\cos\phi$ 0,75 a un $\cos\phi$ 0.96 con un promedio aproximado de 14.38KW en potencia aparente y en amperios 58 amperios, menos de sobrecarga en el conductor alimentador.

Prueba estadística de muestras emparejadas

Prueba de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Después - Antes	-14,98	6,63	2,09	-19,72	-10,23	-7,14	9	,000

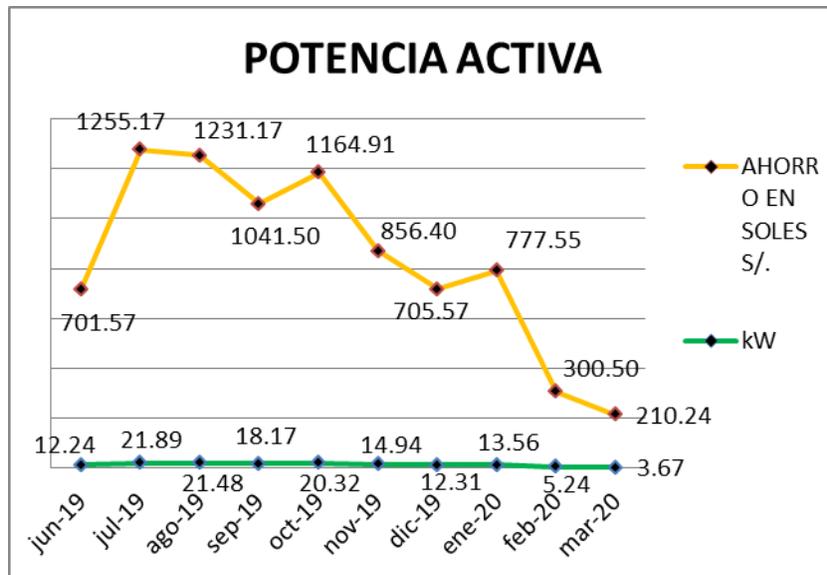
Regla para la decisión

P-valor $> \alpha$; se acepta la hipótesis nula.

P-valor $< \alpha$; se rechaza la hipótesis nula.

Decisión estadística

A un nivel de significancia del 5% (p valor=0.00 <0.05), existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por tanto, se afirma que la compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía activa.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al diagrama se muestra ingreso mensual para la empresa, por disminuir el consumo, por lo tanto, la empresa tiene un ingreso económico de S/8,244.56 nuevos soles.

4.3. Discusión de resultados

Los resultados de la investigación están en relación con los objetivos planteados y a partir de ellos aceptaremos la hipótesis general que establece y explica la relación existente entre la compensación de energía reactiva y los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019.

En referencia a la hipótesis general se afirma que la compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del país S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019, de acuerdo a la prueba estadística de muestras emparejadas, la probabilidad estadística a un nivel de significancia de 5% resulta ser menor al nivel de significancia ($p\text{valor}=0.00 < 0.05$),

este resultado guarda relación con lo que sostiene la tesis “Determinación de la influencia de un banco de condensadores para reducir el consumo de la potencia reactiva en el sistema eléctrico EPASA, San Martín de Pangoa 2018” (13) donde se afirma que la influencia de un banco de condensadores es positiva respecto a la reducción de consumo de potencia reactiva. Así mismo el exceso de potencia reactiva influye negativamente en la facturación eléctrica, asimismo se puede verificar que cuando se realiza la compensación de este exceso de potencia reactiva, se logra mejorar el factor de potencia y reducir el monto por el cargo del consumo de esta potencia reactiva. Todo ello es acorde con lo que esta investigación explica. Del mismo modo la tesis “Implementación De Un Banco De Condensadores Para Aumentar El Factor De Potencia En La Empresa Fibraforte Año 2015” (6) en ella se evidencia que con esta instalación se logró reducir el impacto económico existente en las facturas por concepto de consumo de electricidad logrando un ahorro de 500 soles mensuales además por concepto de reducción de frecuencia de mantenimiento un ahorro de 1500 soles anuales, reflejando ser un mecanismo totalmente válido y eficiente si se quiere ahorrar el consumo. esta investigación también resulta muy acorde.

Del mismo modo se aceptarán las hipótesis específicas de la investigación. Para la comprobación de las hipótesis específica “La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía reactiva” A partir de los resultados encontrados. La potencia reactiva calculada de los condensadores es (42KVAR), misma que inyectara una corriente capacitiva al sistema eléctrico de la empresa Productos del País S.A, este mejorara el factor de potencia de (0.75) ya calculada es de 0.96 de factor de potencia. Con este nuevo $\cos \phi$ la compensación ha

sido determinada analíticamente, utilizando los cálculos que se detallan en los cuadros y diagrama fasorial de resultados.

Al realizar la compensación de la potencia reactiva, se logró mejorar el factor de potencia en un 75% de 0.75 a 0.96) este resultado se ha realizado corroborado con la tesis “Análisis técnico y económico de corrección del factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V, del hospital IV Víctor Lazarte Echegaray-Trujillo” (8). Donde precisa el logro del mejoramiento del factor de potencia de 0.79 a 0.95. Si comparamos los resultados podemos ver efectivamente nuestros cálculos tienen concordancia por lo cual son válidos. También pudimos apoyarnos de la norma de opciones tarifarias y condiciones de ampliación de las tarifas a usuario final de Osinergmin, donde en el artículo 17° indica la energía reactiva inductiva consumida hasta en valor equivalente del 30% de la energía activa total, mensual no será afecto a la penalidad de pagos.

Mediante los cálculos realizados se pudo obtener la capacidad individual de cada condensador que es de **7.1 μ F** misma que será suministrada por el banco de 6 condensadores que fueron instalados, dicha capacidad permite el análisis de cuanto corriente puro capacitiva será inyectada al sistema eléctrico de la empresa productos del país S.A. De esta forma al realizar la compensación de la energía reactiva y corrección del factor de potencia se obtuvo una reducción del costo de facturación debido que la energía reactiva ya no se encuentra afecto a pago de penalidades por superar los 30% de la potencia activa. Por otro lado, el cálculo de la corriente total realizada del banco de condensadores es de 104Amp al cual se le agrego el 20% como

factor de diseño, obteniendo un resultado de 130 Amp. Pero este último valor no es comercial por ello se optó por un inmediato superior la cual es comercial de 150Amp.

Así mismo la corriente de cada circuito es de 17 Amp, de igual manera como no es una capacidad comercial en los interruptores termo magnéticos se optó por un inmediato superior que si es comercial entonces se trabajó con uno de 20 Amp. Estos interruptores termo magnéticos, aparte los dispositivos de conexión los (contactores) son de la misma capacidad de 20 Amp, de corriente nominal.

Para el factor (K) el valor calculado es de 0.251 y la relación de transformación de 50/5. Estos valores fueron determinados con las fórmulas que se muestra en el marco teórico. Ahora para el control de descarga de los capacitores se trabajó con los reguladores de potencia que tiene un rango de 0.025 - 1, para la conexión y desconexión de los condensadores se usó contactores en relación a la necesidad de la potencia reactiva del sistema eléctrico.

Se realizó un diseño del diagrama de conexiones del banco de condensadores (conexión en delta), en la cual se puede visualizar la conexión de los contactores e interruptores termo magnético todos estos monitoreados por el regulador de potencia reactiva.

Estos cálculos realizados demuestran, un rendimiento adecuado de la energía eléctrica en las instalaciones. Esto implica que mejoro la eficiencia en las redes del sistema eléctrico producto de la compensación de la energía reactiva y la reducción de la intensidad de corriente en un 25% de 262 Amp a 204 Amp. Y la reducción de la caída de tensión en los conductores de 25% del 0.557 a .0418 voltios en este caso la caída de

tensión es peña ya que depende mucho de la distancia entre el transformador y el tablero general. Así como la reducción de pérdidas por el efecto joule.

Considero que las exigencias del CNE, NTCSE, y estándares internacionales como IEC que solicitan 95 – 105% Vn. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar

Finalmente, para la comprobación de la hipótesis específica “La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía activa” se corroboró con la tesis consultada de Kevin Cristian Cairo Huaranga, donde esta muestra resultados con una mayor eficiencia en la red de energía eléctrica con la compensación de la energía reactiva. Los métodos empleados tienen concordancia con los resultados que mi investigación utiliza. Estos valores se encuentran dentro del rango esperado, dando confiabilidad al desarrollo del presente estudio.

CONCLUSIONES

- La compensación de energía reactiva afecta positivamente en la reducción de los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A. Los costos por consumo de energía eléctrica fueron altos por las penalidades del exceso de la energía reactiva, en julio del 2019 (Tabla N°3) se alcanzó un excedente de energía reactiva de 11,827.47 (53%), después de la compensación de la energía reactiva (Tabla N°7) esta alcanza un 27% proporcionando una reducción de 26% del excedente de energía de este modo se evita incurrir en penalidades y se reduce el costo por consumo de energía.
- La compensación de energía reactiva afecta positivamente en la reducción de los costos de facturación mensual de energía reactiva , el factor de potencia con el que trabajaba la empresa inicialmente en promedio fue 0.75 (ver tabla N°1) y ahora con la compensación de energía reactiva mediante el banco de condensadores tendrá un factor de potencia de 0.96 siendo más próximo a la unidad el cual garantiza que la energía reactiva no exceda el 30% de la potencia activa con la capacidad total del banco de condensadores de 42 Kvar el cual evita las penalizaciones y con ella la reducción de los costos por consumo por lo tanto el resultado de la facturación por energía reactiva será de S/.00.00 por mes.
- La compensación de energía reactiva afecta positivamente en la reducción de los costos de facturación mensual de energía activa. De acuerdo a la tabla N°8 se visualiza que en julio del 2019 la potencia aparente fue 104.26 KVA resultando ser la más alta de la base de datos y la máxima demanda en potencia activa 78.191 Kw después de realizar la compensación con el banco de condensadores se obtiene una

reducción de la potencia aparente siendo esta 81.45 kVA con ella se logra una reducción en el costo de la facturación y a su vez se obtiene una potencia activa recuperada por la cual se genera un ingreso económico mensual por disminuir el consumo aproximado a S/.8,244.55.

RECOMENDACIONES

- Para mejorar los resultados obtenidos respecto a la reducción de los costos por facturación de la energía reactiva, se recomienda realizar un estudio periódico del sistema eléctrico con el objetivo de adecuar la correcta capacidad del banco de condensadores, la cantidad de los equipos a requerir para evitar las sobrecompensaciones.
- Corroborar constantemente el funcionamiento de los equipos de medición en BT para obtener datos exactos de los balances de energía y realizar un adecuado seguimiento de las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos y así ubicar las zonas que requieren la compensación reactiva.
- Considerar siempre cargas futuras ya que estará relacionado al crecimiento de la capacidad productiva de la empresa.
- Realizar mantenimientos preventivos con el objetivo de contribuir a alargar la vida útil del banco de condensador y así obtener mayores beneficios.
- Realizar un análisis termo gráfico periódico en el banco de condensadores para evitar sobre calentamientos por los falsos contactos

BIBLIOGRAFÍA

1. DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS AGRARIAS. **Producción y Comercio de Tara en el Perú. Boletín.** Lima : MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2019.
2. ESPINOZA TREJOS, Carlos José y PEREZ SUAZO, Mauricio José. **METODOLOGIA PARA EL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO ADECUADO DE BANCO DE CAPACITORES PARA CORRECCION DE FACTOR DE POTENCIA EN LA EMPRESA YAMBERSA.** Managua, Nicaragua : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, 2015.
3. GONZALEZ RODRIGUEZ, Pedro. **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA EN LOS ALIMENTADORES DE 23 KV DE LA ESTACIÓN DE CAAGUAZÚ.** Paraguay : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ, 2016.
4. CLAVIJO FLORES, Fabricio. **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA COMPENSACIÓN DE REACTIVO EN FUNCIÓN DEL MÍNIMO DE PÉRDIDAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN.** Quito : UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, 2015.
5. ORTEGA HERNANDEZ, Alejandro . **CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y ELIMINACIÓN DE CORRIENTES ELIMINACIÓN DE CORRIENTES ARMÓNICAS EN SISTEMAS DE BAJA TENSIÓN.** Mexico : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 2017.
6. VARGAS ESPINOZA, Ivan . **IMPLEMENTACION DE UN BANCO DE CONDENSADORES PARA AUMENTAR EL FACTOR DE POTENCIA EN LA EMPRESA FIBRAFORTE AÑO 2015.** Lima : UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE, 2017.
7. HERRERA REATEGUI, Daniel . **Análisis del proyecto de compensación de energía reactiva en baja tensión, implementado por Electronoroeste SA.** Piura : UNIVERSIDAD DE PIURA, 2019.
8. GOMEZ CABANILLAS, Eligio. **Análisis técnico y económico de corrección del factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V, del hospital IV Víctor Lazarte Echegaray - Trujillo.** Trujillo : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, 2016.
9. MANRIQUE JAEGER, Ricardo Cesar y SANZ MOYA, Carlo Roberto. **Estudio de instalaciones eléctricas en MT/BT para alimentación de fuerza a través de centro de control de motores y compensación de energía reactiva para nueva fábrica de alimento de mascotas – Molitalia.** Arequipa : Universidad Católica de Santa María, 2018.

10. CAIRO HUARINGA, Kevin. *Influencia de la compensación reactiva en las sub estaciones Bolivar y San Jerónimo en la disminución de las pérdidas de transmisión de energía en la empresa minera Catalina Huanca, Ayacucho-2019*. Huancayo : UNIVERSIDAD CONTINENTAL, 2019.
11. TORRES GUTIERREZ, David. *Localización óptima de capacitores en redes de distribución para mejorar la eficiencia energética del sistema eléctrico Chungar – Volcan*. Huancayo : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ , 2017.
12. UGARTE MARTINEZ, Juan. *Ubicación optima de bancos de condensadores para mejorar la eficiencia de energía en sistema de bombeo de la Mina Animon*. Huancayo : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU, 2018.
13. MIRANDA, Jose. *Determinación de la Influencia de un banco de condensadores para reducir el consumo de la potencia reactiva en el sistema eléctrico EPASA, San Martín de Pangoa, 2018*. Huancayo : UNIVERSIDAD CONTINENTAL, 2018.
14. ASEA, Brown. *Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas*. 2012.
15. SCHNEIDER ELECTRIC. *Guia de diseño de instalaciones electricas*. 4ta Edicion. España : s.n., 2010.
16. COLVAQUI, JAIRO. *DISEÑO DE COMPENSACIÓN AUTOMATIZADA DE ENERGÍA REACTIVA PARA DISMINUIR EL CONSUMO ELÉCTRICO EN LA PLANTA LADRILLERA HATUN SOL CHICLAYO 2017*. TRUJILLO : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, 2017.
17. MOLINA, Angeles y VEGA, Franco. *Analisis de circuito II. Correccion del factor potencia*. [En línea] Universidad Popular Autónoma Del Estado de Puebla. [Citado el: 26 de Junio de 2020.] <https://sites.google.com/site/analisisdecircuitosupaep/analisis-de-potencia-en-ca/3-7-correccion-del-factor-de-potencia>.
18. CCORICASA, Victor. **BANCO DE COMPENSACION DE POTENCIA REACTIVA CAPACITIVA Y LA CALIDAD DE TENSION EN LA SUB ESTACION N° 0010010 DE LA CALLE ALMAGRO DE LA CIUDAD DEL CUSCO 2018**. Cusco : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, 2019.
19. JARAMILLO, Gabriel y ALVARADO, Alfonso. *Electricidad y Magnetismo*. Mexico : Editorial Trillas, 2001.
20. MILEAF, Harry. *Curso Practico de Electricidad*. s.l. : Grupo Noriega Editores, 1992.

21. CHARLES, Alexander y MATTHEW, Sadiku. *Fundamentos de circuito eléctricos*. México : McGraw-Hill, 2004.
22. MARTINEZ, José, y otros. *Tecnología*. España : Editorial Mad SL, 2003. pág. 584. Vol. IV.
23. GRAÑA, Má. *Significado y medida de los fenómenos de desfase en los sistemas trifásicos desequilibrados, lineales. Aplicación a la medida en sistemas con conductor neutro*. España : Universidad Politecnica de Valencia, 2010.
24. EDMINISTER, Joseph. *Circuitos Electricos*. Tercera Edición. España : Editorial McGraw-Hill, 1997. pág. 271.
25. CHAPMAN, Stephen. *Máquinas Eléctricas*. 4ta edicion. Mexico : Mc Graw Hill, 2004.
26. Minas, Ministerio Energía y. *Guía de Orientación para la selección de la tarifaria eléctrica para usuarios de en media tensión*. s.l. : Ministerio Energía y Minas, 2011.
27. OSINERGMIN. s.l. : Ministerio de energía y minas 2011, 2011.
28. ROJAS MONTERO, Mardux. *Eficiencia energética del Sistema Eléctrico 22,9/4,16/0,46 kV de la Mina Animón*. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú,, 2014.
29. OPTIMAGRID. *Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa*. España : Universidad San Jorge, 2013.
30. ROBLES, Wilmer. **ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LA GRANJA ALESSANDRA PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y SEGURIDAD OPERACIONAL EN BASE A AUDITORIA ELÉCTRICA Y NORMAS**. Trujillo : Universidad Cesar Vallejo, 2019.
31. FLOYD, Thomas. *Principios de circuitos eléctrico*. 8va edicion. Mexico : Pearson educación, 2007. pág. 968.
32. CABALLERO, Alejandro. *Metodologia integral innovadora para planes y tesis*. Mexico : Cengage Learning Editores, 2014.
33. ÑAUPAS, Humberto, y otros. *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Bogota : Ediciones de la U, 2014.
34. Hernández, R, Fernández, C y Baptista, P. *Metodología de la Investigacion*. Mexico D.F. : Interameticana Editores, 2014.

ANEXOS

ANEXO 1.Matriz de consistencias.

PROBLEMAS	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema Principal ¿Cuál es efecto de la compensación de energía reactiva en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>a. ¿Cuál es el efecto de la compensación de la energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía reactiva?</p> <p>b. ¿Cuál es el efecto de la compensación de energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía activa?</p>	<p>Objetivo General Analizar el efecto de la compensación de energía reactiva en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>A. Determinar el efecto de la compensación de la energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía reactiva.</p> <p>B. Determinar el efecto de la compensación de energía reactiva en los costos de facturación mensual de energía activa.</p>	<p>Hipótesis General La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos por consumo de energía de la empresa Productos del País S.A en la provincia de Huanta-Ayacucho, 2019.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía reactiva • La compensación de energía reactiva incide significativamente en los costos de facturación mensual de energía activa. 	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE(X) X: Compensación de Energía reactiva.</p> <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Banco de condensadores <p>VARIABLE DEPENDIENTE (Y) Y:costos por consumo energía</p> <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costo por energía activa • Costo por energía reactiva 	<p>1. TIPO DE INVESTIGACIÓN - Aplicada</p> <p>2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN - Descriptiva- explicativa</p> <p>3. DISEÑO DE INVESTIGACION - Pre-Experimental</p> <p>4. POBLACIÓN La población está determinada por las 12 facturas de consumo eléctrico mensual de la empresa Productos del País SA de Junio 2019 a Mayo 2020..</p> <p>.5. MUESTRA La muestra será el total de 10 facturaciones de consumos eléctrico, meses donde se da el mayor procesamiento de la materia prima, siendo esta los periodos de junio del 2019 a marzo del 2020.</p> <p>6. TÉCNICAS - Observación -Análisis documental</p> <p>7. INSTRUMENTO - Ficha de recolección de datos - Guía de análisis documental</p>