



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Diseño de sistema de compensación de energía reactiva
para mejorar el factor de potencia del área de equipos eléctricos
440V.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Arqueros Miranda, Carlos Eduardo (orcid.org/0000-0003-1767-010X)

ASESOR:

Dr. Luján Lopez, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

LÍNEA DE ACCIÓN DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2023

Dedicatoria

A mi esposa, Gracias a ella quien me ha impulsado y siempre estar presente con su apoyo moral.

También a mis hijos, quienes son mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y así poder llegar a ser su ejemplo.

A mis Padres, que sin ellos no lo habría logrado. Su bendición a lo largo de mi vida me protege, por eso les doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia y amor incondicional.

A mis hermanos por confiar en mí y ayudar a poder realizarme como profesional.

Agradecimiento

Principal agradecimiento a Dios quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por su comprensión y estímulo constante, además su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios. Y a todas las personas que de una y otra forma me apoyaron en la realización de esta tesis.

A mis profesores y asesores de la universidad por sus conocimientos y apoyo incondicional para lograr el objetivo trazado.

El autor.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis Completa titulada: "Diseño de sistema de compensación de energía reactiva para mejorar el factor de potencia del área de equipos eléctricos 440V .", cuyo autor es ARQUEROS MIRANDA CARLOS EDUARDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 08 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO DNI: 17897692 ORCID: 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 08-12- 2023 07:02:24

Código documento Trilce: TRI - 0688496



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Autorización de Publicación en Repositorio Institucional

Yo, ARQUEROS MIRANDA CARLOS EDUARDO identificado con N° de Documento N° 40838997 (respectivamente), estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, autorizo (X), no autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi Tesis: "Diseño de sistema de compensación de energía reactiva para mejorar el factor de potencia del área de equipos eléctricos 440V."

En el Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo, según está estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33.

Fundamentación en caso de NO autorización:

TRUJILLO, 24 de Enero del 2024

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
ARQUEROS MIRANDA CARLOS EDUARDO DNI: 40838997 ORCID: 0000-0003-1767-010x	Firmado electrónicamente por: AMIRANDAC1 el 24-01- 2024 18:07:41

Código documento Trilce: INV - 1452018

Índice de contenidos

CARÁTULA.....	
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	viii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. MARCO TEÓRICO	7
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	15
3.2. Variables y operacionalización	15
3.3. Población, muestra, muestro y unidad de análisis	16
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.5. Procedimientos.....	17
3.6. Método de análisis de datos	17
3.7. Aspectos éticos	18
IV. RESULTADOS	19
V. DISCUSIÓN.....	41
VI. CONCLUSIONES	44
VII. RECOMENDACIONES.....	46
ANEXOS.....	51

Índice de tablas

Tabla 1 Resultados de mediciones de potencias en grupo 1.....	27
Tabla 2 Resultados de mediciones de potencias en grupo 2.....	28
Tabla 3 Tipos de Sistema de Compensación	29
Tabla 4 Valores de potencia reactiva y de corriente, con y sin compensación del factor de potencia.	35
Tabla 5 Valores de ahorro de potencia reactiva y de corriente, con y sin compensación del factor de potencia.....	35
Tabla 6 Consumos de energía reactiva anual sin compensación y con compensación.	36
Tabla 7 Costos de consumo de energía reactiva anual sin compensación y con compensación.	36
Tabla 8 Tabla comparativa de costos de ahorro.....	37
Tabla 9 Costo de equipamiento de compensación centralizada.....	38
Tabla 10 Costo de equipamiento de compensación grupal	39

Índice de figuras

Figura 1 Triangulo de potencia con factor de potencia corregido	10
Figura 2 Triángulo de potencia.....	11
Figura 3 Indicador de Factor de Potencia.....	12
Figura 4 Diagrama Unifilar Actual del Tablero de Equipos Eléctricos de la Planta Industrial.....	19
Figura 5 Análisis de Potencia Activa Total	20
Figura 6 Análisis de Potencia Reactiva Total	21
Figura 7 Análisis de Factor de Potencia Determinación del factor de potencia y ángulo de desfase	21
Figura 8 Análisis de Potencia Total	22
Figura 9 Angulo de fase.	23
Figura 10 Triangulo de Potencias inicial del Sistema de equipos Eléctricos de la Empresa Industrial.....	24
Figura 11 Triángulo de Consumos de Energía Iniciales del Tablero de equipos eléctricos de la Empresa.	25
Figura 12 Triángulo de potencia con compensación centralizada	30
Figura 13 Triangulo de Potencias Situación de Mejora del G1.....	32
Figura 14 Triangulo de Potencias Situación de Mejora del G2.	33

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo general el diseñar un sistema de compensación de energía reactiva para mejorar el factor de potencia del sistema eléctrico 440V del área de equipos eléctricos de una planta industrial; considerada como una investigación de tipo aplicada y diseño preexperimental, habida cuenta que se proyectó el cambio de la variable independiente (sistema de compensación de energía reactiva) en la afectación de la variable dependiente (factor de potencia); los datos recolectados se procesaron, respecto a consumos de potencias de energía activa, reactiva y factor de potencia. Se inició un estudio energético en el cual se determinaron las potencias reales consumidas: potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente, además el factor de potencia de la instalación considerada en esta investigación. Se estudiaron dos formas de compensación de energía reactiva para determinar la más conveniente operativa y económicamente: compensación centralizada y compensación grupal, dividida en dos grupos. Se concluyó este análisis, con la evaluación de los parámetros y dimensionamiento de componentes para los dos sistemas de compensación estudiados, obteniéndose un ahorro económico similar en ambos casos, debido a esto en la selección del método más adecuado de compensación se consideró el que tuvo un menor costo de implementación.

Palabras clave: Compensación de energía reactiva, factor de potencia, equipos eléctricos.

Abstract

The general objective of this study was to design a reactive energy compensation system to improve the power factor of the 440V electrical system of the electrical equipment area of an industrial plant; considered as an applied research and pre-experimental design, given that the change in the independent variable (reactive energy compensation system) was projected to affect the dependent variable (power factor); The collected data was processed regarding active and reactive energy power consumption and power factor. An energy study was initiated in which the real powers consumed were determined: active power, reactive power and apparent power, as well as the power factor of the installation considered in this research. Two forms of reactive energy compensation were studied to determine the most convenient operationally and economically: centralized compensation and group compensation, divided into two groups. This analysis was concluded, with the evaluation of the parameters and component sizing for the two compensation systems studied, obtaining a similar economic saving in both cases, due to this, in the selection of the most appropriate compensation method, the one that had a lower implementation cost.

Keywords: Reactive energy compensation, power factor, electrical equipment.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, el diseño de sistemas de compensación de energía reactiva es un paso adelante en materia de adecuado consumo energético, donde la eficiencia del consumo energético depende de factores tan importantes como el FP y por lo tanto los parámetros como el voltaje, por ejemplo: Bajo. Tensión (BT), media tensión (MT) y alta tensión (HT), primero se debe determinar la tensión del suministro eléctrico, pues de acuerdo con la cadena de distribución de la empresa en los sectores industrial, comercial e interno, el límite de acceso para todos los sectores anteriores en mantenimiento es $\pm 5 \%$ (GORDILLO, 2018).

Es importante saber que existe una Comisión Reguladora de Energía que expide reglamentos de carácter nacional que contienen estándares para la confiabilidad, eficiencia, seguridad, calidad, continuidad, y sostenibilidad del sistema eléctrico nacional. Sus especificaciones en su manual regulatorio definen los requisitos técnicos para los centros de carga conectados al sistema eléctrico nacional, los centros de carga conectados a niveles de media tensión con una demanda contractual mayor o igual a 1 MW en condiciones normales de operación y los centros de carga conectados a alta tensión. Potencias el coeficiente se mantendrá en un nivel entre 0,95 histéresis y 1,0 en el punto de conexión y se medirá durante cinco minutos, se debe cumplir al menos con el 95% de un periodo mensual de tiempo (AMADO Jimenez, 2022).

Los requisitos para el uso racional de la electricidad en una adecuada gestión energética están definidos en la norma internacional ISO 50001, que establece que es deber de toda empresa utilizar eficientemente la red de consumo eléctrico, minimizando las pérdidas de energía, por ejemplo, reduciendo la energía reactiva (ALVARADO, 2018).

A nivel nacional el uso de sistemas de compensación en el sector industrial del Perú carece de importancia desde una perspectiva de ahorro energético, donde en muchas organizaciones se instalan mecanismos de compensación, pero sin el criterio de la ingeniería, lo cual conlleva a no lograr un ahorro significativo en la facturación de los costos de energía eléctrica. Asimismo, las empresas no regulan el correcto contexto de sus tarifas eléctricas, lo cual también encarece los costos eléctricos (NORIEGA, 2018).

Bajo las circunstancias locales, la parte empresarial no considera ninguna investigación sobre alternativas de mejora, y no implementarla incurrirá en costos económicos y tendrá defectos; el resultado negativo es que no prestar atención a la situación de respuesta significa pérdidas económicas (REYES Zavaleta, y otros, 2022).

En Perú, sólo el 45,6% de las empresas del sector eléctrico apuestan por el consumo eficiente de energía eléctrica (activa y reactiva), implementando sistemas de compensación energética (global, individual e híbridos) en sus instalaciones. Dicho esto, existen dudas generalizadas sobre el uso correcto de los sistemas de energía eléctrica trifásicos. Las empresas, desde pequeñas hasta grandes, no han realizado investigaciones sistemáticas sobre el consumo de energía, lo que ha traído consigo altos costos de energía y problemas ambientales (OCAS, 2018).

Entidades reguladoras de diferentes países tales como: Perú, Ecuador, Argentina, Colombia, México, Brasil, Panamá, y Uruguay han logrado avances muy importantes en el suministro eléctrico, con una cobertura en la región a 2019 que pasó de 88% aumentó a 97% en estadísticas energéticas (YEPEZ-GARCIA, 2019).

De acuerdo con la normativa del Regulador de Inversiones en Energía y Minería (ENERGIA, 2001), Los cargos por energía reactiva están incluidos en la opción de factura eléctrica. MT1, MT2, MT3, MT4, BT2, BT3 y BT4, siempre que más del 30% de ella es energía activa mensual. La importancia del progreso tecnológico para todas las edificaciones industriales, comerciales y residenciales para las personas en todo el mundo, por ello “El sistema energético se encarga de transportar la energía eléctrica desde los distintos circuitos de la red hasta el consumidor” y asegura la calidad y confiabilidad del servicio brindado. (JARAMILLO et al., 2020).

La empresa investigada está ubicada en el distrito de Chao, provincia de La Libertad, y se dedica a la fabricación de cartón corrugado en todo el país. La empresa utiliza equipos eléctricos en su proceso productivo, principalmente motores eléctricos, para lo cual la fábrica cuenta con un transformador especial que alimenta los paneles con equipos de 440 V. Utilizando un analizador de redes, la potencia reactiva promedio registrada desde el área de equipos en la parte superior del panel fue de 164,05 KVAR, el consumo reactivo fue de 638482,6 KVARh/año y

el FP promedio fue de 0,78. Esta situación se da porque la empresa no cuenta con un sistema de compensación de energía reactiva (440V), lo que tiene un mayor impacto en la factura eléctrica mensual. Asimismo, la empresa compra electricidad al SEIN (Servicio Eléctrico Nacional Interconectado) a través de la concesionaria Hidrandina y la planta cumple con las tarifas MT2.

También se indica que el tablero objeto de estudio, contaba con un banco de condensadores o capacitores, pero por deficiencias en su funcionamiento está desconectado, fuera de funcionamiento. Por lo consiguiente se plantea el diseño de un sistema de compensación de energía reactiva, evaluando su aplicación en forma centralizada y en forma grupal, para mejorar el factor de potencia a un valor que permita eliminar el costo de energía eléctrica, que el concesionario factura cuando la potencia reactiva excede el 30% de la potencia activa.

En respuesta al problema descrito anteriormente, se planteó la siguiente formulación del problema general: ¿Cómo mejorar el factor de potencia, del área de equipos en 440V de una planta industrial? problemas específicos: ¿Cuáles son las condiciones actuales del sistema eléctrico en baja tensión del área de equipos de la planta industrial? ¿Cuáles son los parámetros y dimensionamiento de componentes de sistema de compensación de energía reactiva en forma centralizado y en la forma grupal? ¿Cuáles son los costos de implementación y operación del sistema eléctrico para los dos tipos de compensación: centralizado y grupal? ¿Cuál es método más adecuado de compensación de energía reactiva para el área de equipos de la instalación?

La investigación se justifica desde el punto de vista económico, porque el diseño del sistema de compensación de potencia reactiva, gracias a la optimización del factor de potencia, contribuye a la reducción de la factura eléctrica, lo que se refleja en importantes beneficios útiles para los implementadores del sistema. tecnología. Desde una perspectiva social, ayudará a los operadores a gestionar mejor los sistemas eléctricos, limitando así los peligros o riesgos eléctricos. Además, desde una perspectiva institucional, resuelve problemas específicos que son mecánicos y electrotécnicos y proporciona una base científica para otras investigaciones; desde el punto de vista ambiental, está respaldado por investigadores (ARIAS, 2019), quienes indican que reducir la carga de fuentes no

funcionales reduce las emisiones de CO₂ al ambiente y extiende la vida útil de los equipos.

Por lo tanto, para dar respuesta a la pregunta antes mencionada, se planteó el siguiente objetivo general: Diseñar un sistema de compensación de energía reactiva para mejorar el factor de potencia del área de equipos eléctricos en 440V de una planta industrial. Y, como objetivos específicos: Evaluar las condiciones actuales del sistema eléctrico en baja tensión del área de equipos de la planta industrial, evaluar parámetros y dimensionamiento de componentes de sistema de compensación de energía reactiva en forma centralizado y en la forma grupal, evaluar los costos de implementación y operación del sistema eléctrico para los dos tipos de compensación: centralizado y grupal y evaluar el método más adecuado de compensación de energía reactiva para el área de equipos de la instalación.

Para dar respuesta a la formulación del problema, se planteó la siguiente hipótesis: La aplicación de un sistema de compensación de energía reactiva centralizada, permitirá mejorar el factor de potencia del área de equipos en 440V de una planta industrial, reduciendo el consumo de energía reactiva.

II. MARCO TEÓRICO

Entre los trabajos previos se consideraron los siguientes: A nivel internacional en Bolivia (MAMANI Yujra, 2023) en su estudio tuvo como objetivo el diseño de un banco de capacitador para el mejoramiento del factor de potencia de la empresa Laboratorios Vita. Su metodología fue cuantitativa, teniendo como muestra el análisis de tableros, su instrumento aplicado fue el analizador de calidad eléctrica y energía Power Quality analyzer. Entre sus resultados obtuvo que, las cargas que generan bajos factores de potencia a través de diagrama unifilar, mediante dichos datos se dimensionan y se seleccionan el componente para subsanar los bajos factores de potencia con las que se encuentra operando la planta.

(VERA Aranibar, 2019) demuestra que el tamaño de la batería de condensadores de pantalla permite compensar la energía reactiva al mismo tiempo que mejora el factor de potencia del sistema eléctrico. Quién está considerando construir un banco de capacitores con el fin de reducir la potencia reactiva en el sistema de distribución y mantener el factor de potencia dentro de los estándares marcados por la empresa distribuidora, analizando los diferentes métodos de conexión del banco de capacitores y eligiendo el más adecuado, por ejemplo, La compensación centralizada en piezas y componentes técnicos puede aumentar la vida útil de las instalaciones y equipos.

En Ecuador, (CHASI Alcoser, 2020). en su estudio tuvo como objetivo el análisis de las estrategias de control de bancos de capacitores para mejorar los factores de potencia. Su metodología fue cuasiexperimental, cuantitativa. Teniendo como resultado que, mediante la simulación de control de un banco de capacitador usando controles discretos generales y controles directos inteligentes. En el primer caso se ha logrado el mejoramiento de los factores de potencia a 0.96 a través de los controles discretos general. Por otro lado, usando los controles discretos inteligentes se alcanzado a un mejor factor de potencia a 0.97. Concluyendo que, se diseñó un sistema orientado en un equipo comercial para mejorar el factor de potencia, logrando determinarse que el sistema eléctrico requiere de compensaciones máximos de 15 kVAr.

A nivel nacional, (NARVAEZ Espinoza , y otros, 2022). en su estudio tuvieron como objetivo el mejoramiento del factor de potencia para oficinas y almacén de

productos del hogar en el distrito de Ate para una potencia de 107 kW utilizando un control automático. Su metodología fue aplicada, de nivel descriptivo. Entre sus resultados determinaron que, se ha logrado el mejoramiento del f.d.p. de 0,8 a 0.96, considerando un sistema con potencias imaginarias capacitivas totales de 45 kVAr el cual fue dividido en 3 pasos de 15 kVAr para el mejoramiento, con un control automático mediante contactos de 29 A y controladores de f.d.p. de 6 pasos, para máximas demandas de 107 kW. Concluyendo que, se ha logrado ahorros económicos en las facturas eléctricas por conceptos de potencias imaginarias mensuales, disminuyendo el consumo de 57780.00 kVArh a 22471.20 kVArh, se disminuyó los porcentajes de potencias imaginarias consumidas respecto a las potencias reales de 75% a 29%, previniendo de esta manera el cobro de potencia imaginaria, lo que origina ahorros mensuales de S/. 1,519.85.

(ROBLES Meza, 2019). en su estudio tuvo como objetivo el diseño e instalación de un banco automático de condensadores que disminuya la energía reactiva y logre reducir la pérdida técnica y comercial en el sistema eléctrico. Su metodología fue aplicada, donde se analizó e instaló un banco automático de condensador de 45 kVA y se ha logrado realizar los análisis comparativos con la información obtenida antes de la aplicación de la propuesta. Entre sus resultados se determinó que, los factores de potencia óptimos son de 0.97 para disminuir la pérdida económica por facturación de energía reactiva. Concluyendo que, la, propuesta de diseño es rentable económicamente, teniendo una inversión de S/. 8,357.30 con recuperación de 3.5 años del capital que se invierte, con proyecciones de 10 años y una vida útil de 14 años.

(GOMEZ Chuquillanqui, 2021) en su estudio tuvo como objetivo el mejoramiento del factor de potencia mediante un banco de condensador en la empresa Pan American Silver. Su metodología fue cuantitativa, tuvo como resultado que, los diagnósticos previos a la implementación del banco de capacitores revelaron que se generó potencia reactiva debido al bajo factor de potencia, lo que resultó en una sobrecarga. Durante el diseño e implementación del banco de capacitores, notaron que es un proyecto completamente factible y rentable. Concluyendo que, en la implementación del mejoramiento del banco de

condensadores incremento los factores de potencia de 0.92 a 0.98 y por ello, el consumo eléctrico se disminuyó en un 30%.

(REYES Zavaleta, y otros, 2022) en su estudio tuvieron como objetivo determinar la variante de compensación reactiva más adecuada para aumentar los factores de potencia del sistema eléctrico de una curtiembre del parque industrial de Trujillo. Su metodología fue aplicada, de diseño descriptivo, comparativo, no experimental, con una muestra de un tablero general y dos subtableros eléctricos con un circuito independiente. Su resultado obtenido fue que, la plata de curtiembre opera a 46.45% siendo las potencias nominales del transformador de distribución igual a 250 kVA. Concluyendo que, para una apropiada operación y precisión es indispensable contar con 5 bancos trifásicos de 10 kVAR cada uno, controlado con controladores electrónicos.

(MAMANI Toque, y otros, 2022) en su estudio tuvieron como objetivo el mejoramiento de la calidad de energía, realizando evaluaciones del parámetro eléctrico de la planta procesadora de minerales – Puno. Su metodología fue aplicada, de diseño preexperimental, siendo su muestra el banco automatizado de capacitores de plantas procesadores. Su resultado fue, después del análisis y evaluación efectuada a la red eléctrica de la planta se evidenció factores de potencias de 0.858 debiéndose al mayor consumo de potencias reactivas por las altas presencias de cargas inductivas.

En este mismo campo de investigación, este estudio presenta las siguientes teorías relacionadas con este tema, las cuales se obtienen de textos de ingeniería eléctrica, artículos científicos, tesis de pregrado y manuales técnicos sobre sistemas eléctricos.

Bancos de capacitores: Los bancos de capacitores resultan apropiados para su implementación en subestaciones de baja y media tensión, especialmente en situaciones donde es necesario contrarrestar la energía reactiva consumida por dispositivos como motores, transformadores y otras cargas (Yero y otros, 2018). La compensación de la energía reactiva a través de estos bancos no solo evita el pago por este tipo de energía a los proveedores de electricidad, sino que también contribuye a la disminución de caídas de tensión, la reducción de pérdidas energéticas y el incremento de la capacidad de transmisión activa de los cables

(Borges, 2017). En diferentes contextos, la utilización de bancos de capacitores puede ser estática o automática, dependiendo de factores como el diagrama de carga de potencia reactiva, la potencia compensable, el nivel de tensión de la red y el tipo de carga (Promelsa, 2020).

Factor de potencia: S Se refiere al coseno de la diferencia de fase entre voltaje y corriente. También es igual al coseno del ángulo de resistencia de la carga y puede entenderse como el factor por el cual se debe multiplicar la potencia aparente para obtener la potencia real o promedio (Tipan y Rumipamba, 2019). El factor de potencia tiene un rango de valores entre cero y uno. En una carga completamente resistiva, el voltaje y la corriente están alineados en fase (ALEXANDER, y otros, 2006). que se puede expresar como:

$$FP = \frac{kW}{kVA} \quad (1)$$

Es un indicador de eficiencia energética, pues si el resultado es menor a 1 significa que hay un desperdicio de energía eléctrica. El factor de potencia es un indicador del uso de recursos eléctricos, que determina la capacidad de entregar energía (Pérez y otros, 2022). La potencia en un banco de condensadores se calcula (STEVENSON, 2017).

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_o * (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (2)$$

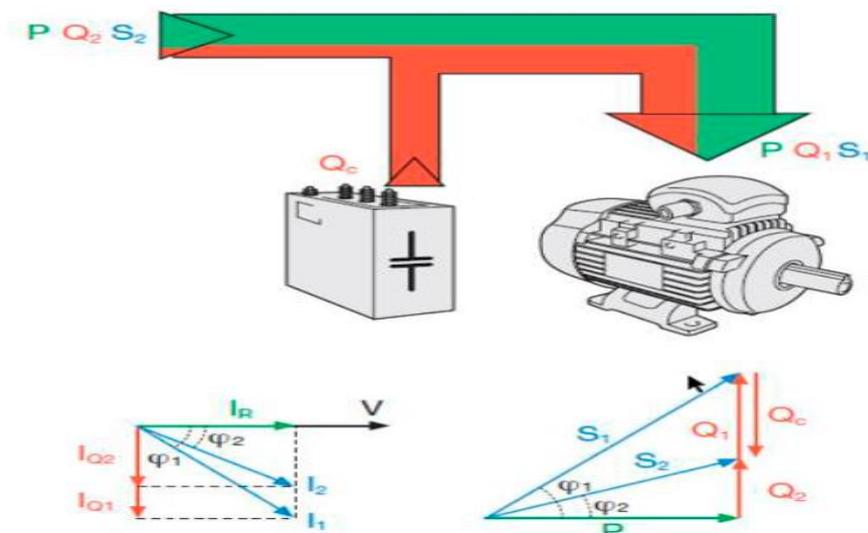


Figura 1 Triángulo de potencia con factor de potencia corregido

Fuente: (AMADO Jimenez, 2022)

Dónde:

- P_o : Potencia activa (KW)
- Pr_1 : Potencia reactiva sin banco de condensadores (KVAR)
- Pr_2 : Potencia reactiva con banco de condensadores (KVAR)
- Q_c : Ahorro de potencia reactiva (KVAR)
- ϕ_1 : Ángulo de desfase sin banco de condensadores ($^\circ$)
- ϕ_2 : Ángulo de desfase con banco de condensadores ($^\circ$)

Dónde la capacidad de fase se evalúa (STEVENSON, 2017):

$$C = \frac{Q_c}{2\pi * f * V^2} \quad (3)$$

- C: Capacidades total del banco de condensadores (μF)
- f: Frecuencias eléctricas (Hz)
- V: Voltajes del sistema eléctrico (v)

En la figura 2, se muestra el triángulo de potencia, dónde se observan: la potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente, siendo esta ultima la de mayor valor en un sistema eléctrico.

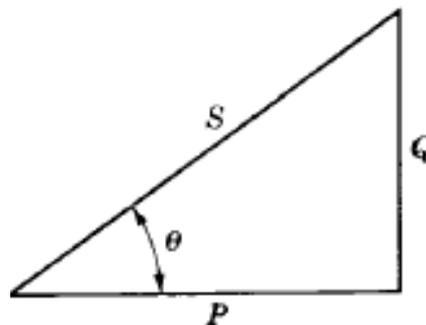


Figura 2 Triángulo de potencia

Fuente: (Stevenson Jr, y otros, 2002)

La relación de estas tres potencias, se formula mediante la siguiente expresión (Harper, 2014):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4)$$

Donde, la potencia activa (P) se mide en (KW), la potencia aparente (S) en (KVA), la potencia reactiva (Q) en (KVAR).

Asimismo, el factor de potencia se determina mediante la expresión:

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \quad (5)$$

Donde, el factor de potencia ($\cos\phi$) es adimensional.

El $\cos\phi$ es un indicador de la utilización eficiente de la energía eléctrica, y un factor de potencia ($\cos\phi$) cercano a la unidad sugiere que la proporción de energía reactiva con respecto a la energía activa es baja (Triana y otros, 2023). Por otro lado, un $\cos\phi$ bajo indica lo contrario, es decir, una mayor presencia de energía reactiva en relación con la energía activa (Schneider Electric. 2010).



Figura 3 Indicador de Factor de Potencia

Fuente: Electricidad Industrial GT

Energía Reactiva (Q): Se refiere a la potencia empleada en la creación de campos eléctricos y magnéticos, pero no en la realización de trabajo eléctrico (VAr). Esto da como resultado un desperdicio de energía, que la convierte en energía "inútil". Esto puede sobrecargar cables, transformadores y generadores y provocar sobrecargas (FLORES López, y otros, 2015).

Potencia activa (P): La potencia activa se cuantifica en kilovatios-hora (kWh), y todos los usuarios, independientemente de su tamaño, están familiarizados con esta medida en sus facturas. Representa la transformación de la energía eléctrica en trabajo mecánico y/o calor, y se denomina "energía útil".

Energía aparente (S): Es la potencia que especifica el rendimiento en corriente y se calcula al tener en cuenta la tensión aplicada al consumo por la corriente que requiere. Esta potencia se expresa en voltios-amperios (VA), con el propósito de diferenciarla de la potencia real o medida promedio en vatios. El factor de potencia es adimensional, ya que representa la relación entre la potencia promedio y la potencia aparente (RENZETTI, 2008).

Corrección del factor de potencia: La forma más eficiente de suministrar corriente a una carga es buscando un factor de potencia (FP) cercano a la unidad. Un FP bajo suele ser consecuencia de cargas inductivas significativas, como los motores de inducción, que generan corrientes retrasadas. Para corregir este FP reducido, es necesario alinear la corriente con el voltaje, minimizando el ángulo de fase. Normalmente, se logra este ajuste al introducir una carga capacitiva en paralelo con la carga inductiva, generando así una corriente adelantada (M.S, 2015).

Facturación de Energía Reactiva: La tarificación por energía reactiva se aplicará a las opciones tarifarias MT2, MT3, MT4, BT2, BT3 y BT4 de la siguiente manera: a) No se realizará ninguna carga por el consumo de energía reactiva inductiva hasta el 30% de la energía activa total. mensuales. b) En el caso de un consumo de energía reactiva inductiva que supere el 30% de la energía activa total mensual, se facturará el exceso de energía reactiva inductiva. La importación de la factura será igual al producto de dicho exceso multiplicado por el costo unitario, expresado en S/. por kilovatio-hora reactiva (kVAR.h), según se detalla en las siguientes relaciones: $\text{Factura} = \text{kVAR.h en exceso} \times \text{CER} = \text{Carga por energía reactiva}$, expresada en S/. por kVAR.h (OSINERMING, 2018)

La compensación de la energía reactiva de forma grupal: Este método de compensación es aconsejable cuando las cargas, ya sean similares o diversas, están conectadas de manera simultánea y requieren una cantidad constante de potencia reactiva. Las ventajas de estos dispositivos incluyen la posibilidad de instalarse en el cuarto de control de motores y su utilidad únicamente cuando los equipos están en operación. Es recomendable por ser un sistema de operación automático (ORTEGA Hernandez, 2017).

Compensación global o centralizada: esta forma de compensación también tiene sus ventajas tales como: no hay cargo por exceso de potencia reactiva, aproximación real a la potencia activa en kW, cercana a la potencia aparente en (kVA), algunas de las observaciones a considerar: son las corrientes reactivas desde el tablero principal al receptor, es decir todo el sistema eléctrico interno de la industria, y pérdidas en los cables (Schneider Electric, 2021, pág. 02/2).

Beneficios de mejorar el bajo factor de potencia: El manejo del factor de potencia a través de la implementación de capacitores elimina las cargas de fuentes reactivas, lo que significa que reduce el consumo de energía al aumentar el factor de potencia, es decir, disminuye la cantidad de corriente reactiva que inicialmente fluye a través de del equipo (González y otros, 2021).

Ventajas del dispositivo: Minimizar la pérdida de energía, disminuir la disminución de voltaje, aumentar la disponibilidad de energía de transformadores, líneas y generadores, y prolongar la vida útil de los equipos.

Beneficios financieros: reducir los costos de electricidad, eliminar el costo del bajo factor de potencia (SEMINARIO, 2021).

En el análisis económico, el indicador más importante es el período de recuperación, que depende de la inversión inicial en los activos fijos involucrados en el proyecto y de la reducción de costos, que se ha convertido en ganancias (SOWELL, 2018).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue de **tipo aplicada**, en este tipo de investigaciones se estudió una problemática particular la cual puede contribuir a un beneficio social, ambiental o económico, pero que se resolvió mediante una base científica probada que le permite hacer proyecciones en el tiempo del comportamiento de dicho fenómeno y sirven como criterios sustentables para investigaciones futuras (MARLOY, 2018), según el contexto la presente investigación fue de tipo aplicada porque se centró en dar una solución definida a una problemática, como el sistema de compensación de energía reactiva, para ver su impacto directo en la reducción de factor de potencia.

El diseño de investigación fue descriptivo porque su finalidad se centró en describir mediante evaluaciones un método que mejore el factor potencia del área de equipos eléctricos, asimismo, fue de enfoque cuantitativo porque sus objetivos fueron medidos numéricamente a través de estadística y finalmente, fue de diseño no experimental, debido que, en este estudio no se pretendió manipular las variables solo se observaron situaciones preexistentes en el lugar de intervención directa.

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente: Energía Reactiva

Definición conceptual: Se refiere al coseno de la disparidad en fase entre el voltaje y la corriente. También se iguala al coseno del ángulo de la impedancia de la carga, y puede entenderse como el factor por el cual se debe multiplicar la potencia aparente para obtener la potencia real o promedio. El factor de potencia tiene un rango de valores entre cero y uno. En una carga completamente resistiva, el voltaje y la corriente están alineados en fase (ALEXANDER, y otros, 206).

Definición operacional: Esta forma de compensación es aconsejable cuando las cargas, independientemente de su similitud o diversidad, están conectadas al mismo tiempo y requieren una cantidad constante de potencia reactiva. Esta

energía se mide a través de los indicadores potencia activa y potencia aparente, (Ortega Hernández, 2017). basada en la Norma IEEE estándar 519, 1992.

Variable dependiente: Factor de potencia

Definición conceptual: La relación entre la potencia aparente y la potencia activa, con el objetivo de que la potencia activa se aproxime lo más posible a la potencia aparente (RENZETTI, 2008).

Definición operacional: El factor de potencia es un señalador del perfecto aprovechamiento de la energía eléctrica y se mide determinado el coseno del ángulo que forma la potencia activa y la potencia aparente (Schneider Electric. 2010).

3.3. Población, muestra, muestro y unidad de análisis

3.3.1. Población: Estuvo conformado por doce tableros eléctricos en baja tensión para alimentar equipos eléctricos 440v en plantas industriales del Departamento de La Libertad.

Criterios de inclusión: Tableros eléctricos en baja tensión para alimentar equipos eléctricos 440v en plantas industriales del Departamento de La Libertad que son de reserva.

Criterios de exclusión: No se consideran criterios de exclusión.

3.3.2. Muestra: Fue conformado por un tablero eléctrico de baja tensión.

3.3.3. Muestreo: La investigación por su caracterización fue de muestro no probabilístico, porque fue a conveniencia del propio investigador.

3.3.4. Unidad de análisis: Un tablero eléctrico del área de equipos eléctricos 440 V de una planta industrial.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

El método empleado fue el análisis documental, que consistió en examinar todos los registros de los parámetros eléctricos de la planta a lo largo de su período de operación.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

En la investigación se utilizó como instrumento de recolección de datos fichas de registro, y guía de análisis documental que permitió efectuar un reporte de mediciones de analizador de redes, con el objetivo de recolectar datos de todos los parámetros eléctricos actuales de todas las cargas. Utilizando el diagrama unifilar del tablero del área de equipos se identificaron circuitos de equipos 440v y Recibos de facturación eléctrica anteriores y actuales.

3.5. Procedimientos

La investigación tuvo la siguiente estructura en su procedimiento de desarrollo de ingeniería.

Se realizó un estudio energético al sistema eléctrico en baja tensión 440 V del área de equipos de la planta industrial, con una recolección de datos sobre el uso de los circuitos del área de equipos eléctricos.

Se determinó mediante el uso de equipo de análisis de redes los valores promedios actuales del factor de potencia tales como: potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente.

Se realizó un estudio comparativo de dos métodos de corrección de factor de potencia: centralizado y grupal.

Se evaluó los costos de operación y beneficios económicos del sistema eléctrico con factor de potencia compensado de los dos métodos antes mencionados.

Se seleccionó el método de compensación más adecuado, para nuestro caso, y se estableció el costo beneficio de su implementación.

3.6. Método de análisis de datos

Se utilizó la teoría y fórmulas aplicables al FP y al método de compensación de energía reactiva, procesando en hoja de cálculo de Excel el consumo de energía eléctrica reactiva y FP. Se contrastó los resultados, con los datos obtenidos con los analizadores de redes, para los dos métodos de compensación evaluados.

3.7. Aspectos éticos

El estudio consideró principios apropiados y comportamiento aceptable, Investigación utilizando los estándares de citas de ISO, autor y año de investigación, realidades problemáticas, antecedentes, aplicando las disposiciones de las directrices actuales y respetando normatividades vigentes de la Universidad César Vallejo, finalmente con los datos obtenidos de la información brindada por la empresa fueron tratados con absoluta confidencialidad. El autor se comprometió a respetar los criterios éticos basados fundamentalmente en la propiedad intelectual y la confidencialidad de los datos de la investigación, el primero respecto de incurrir en el plagio intelectual y el segundo respecto a la protección de la información brindada por la empresa.

IV. RESULTADOS

Objetivo específico 1: Evaluar las condiciones actuales del sistema eléctrico en baja tensión del área de equipos de la planta industrial.

Se realizó con la siguiente finalidad de obtener el FP actual del sistema eléctrico del área de equipos de la planta industrial, para determinar su requerimiento de mejora. La figura 4 muestra el diagrama unifilar que permitió determinar la forma en que se agruparían las cargas para la evaluación de compensación del método grupal.

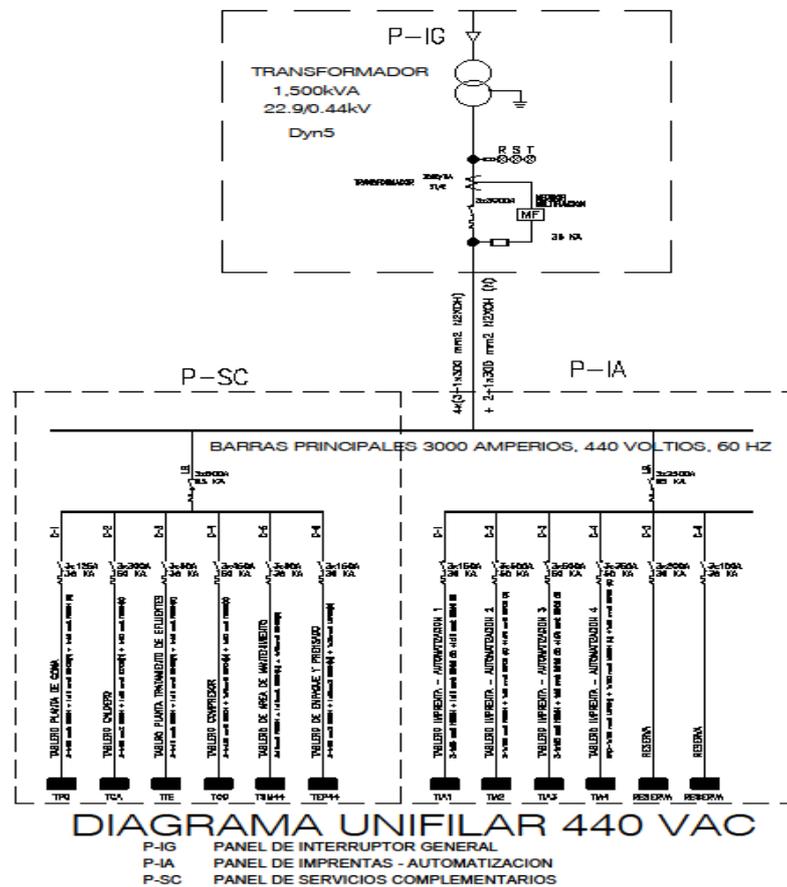


Figura 4 Diagrama Unifilar Actual del Tablero de Equipos Eléctricos de la Planta Industrial.

Fuente: Información proporcionada por la empresa, 2022

Determinación de la potencia activa real total

Para determinar la potencia real activa total, fue necesario el uso de un analizador de redes, realizar una medición de la calidad de energía en el tablero en baja tensión de la subestación eléctrica de la empresa, obteniendo las características reales de operación del SE como: potencia aparente real (KVA) y potencia reactiva real (KVAR).

Analizador de redes FLUKE

- Modelo: 1743 Serie. DY 11112 CA
- Certificado de calibración: 05873 – 19-10-2022

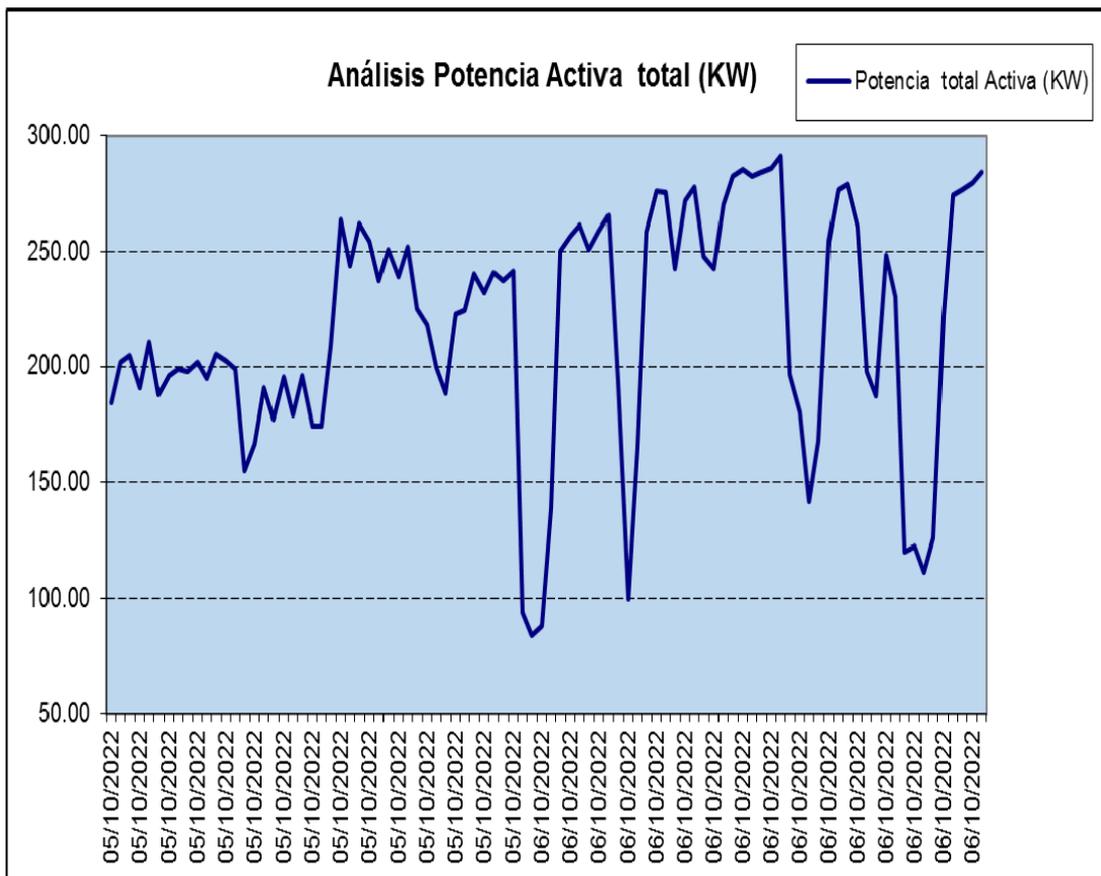


Figura 5 Análisis de Potencia Activa Total

Fuente: Elaboración propia

Potencia activa promedio: 219.31 KW.

Potencia activa mínima: 83.97 KW.

Potencia activa máxima: 291.22 KW.

Factor de Potencia promedio: 0.78.

Factor de Potencia mínima: 0.67.

Factor de Potencia máxima: 0.84.

Determinación de la potencia aparente real

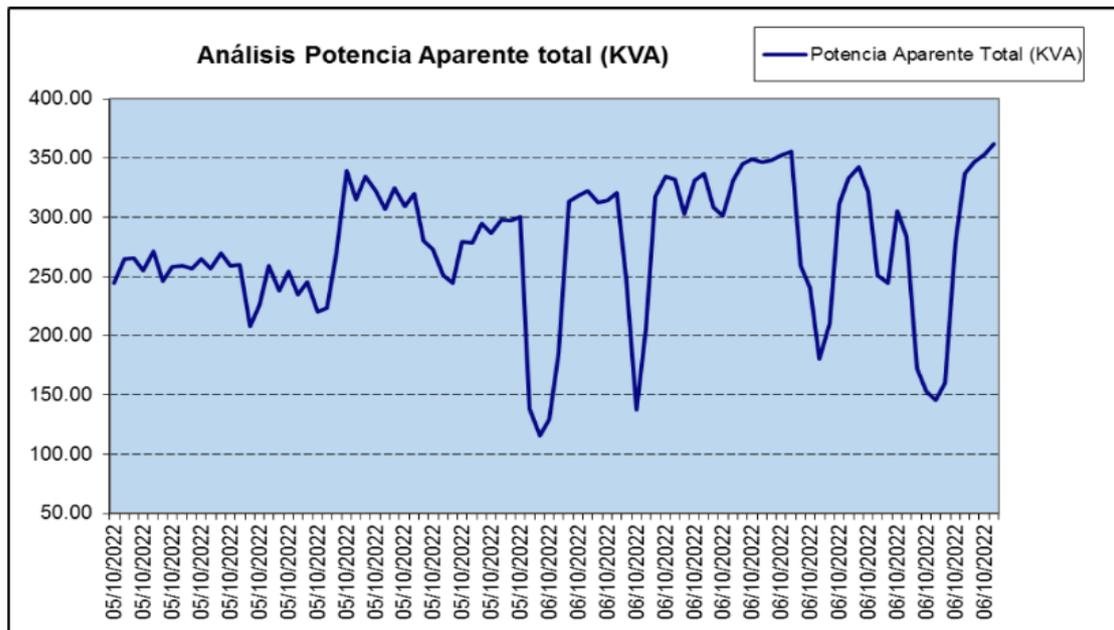


Figura 8 Análisis de Potencia Total

Fuente: Elaboración propia

Potencia aparente promedio: 277.89 KVA.

Potencia aparente mínima: 115.55 KVA.

Potencia aparente máxima: 362.28 KVA.

Con una potencia activa promedio de 219.31 KW y potencia aparente promedio de 277.89 KVA, el factor de potencia promedio del SE de la empresa sería:

$$\cos\phi_1 = \frac{P_{ar1}}{S_{ar1}}$$

$$\cos\phi_1 = \frac{219.31 \text{ KW}}{277.89 \text{ KVA}}$$

$$\cos\phi_1 = 0.789$$

Ángulo de desfase:

$$\varphi_1 = \cos^{-1}(0.789)$$

$$\varphi_1 = 37.91$$

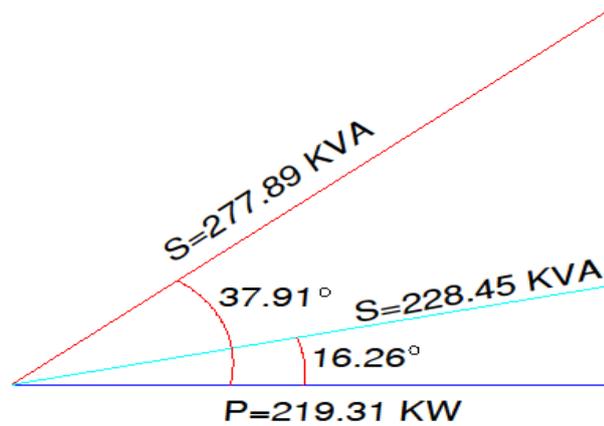


Figura 9 Ángulo de fase.
Fuente: Elaboración propia

El FP actual de 0.78 con ángulo de fase de 37.91° representa un valor crítico para la empresa, debido a que el FP óptimo para un sistema eléctrico debe estar en el rango de 0.98 a 0.99. El FP encontrado indica que existe un exceso en el consumo de energía reactiva y se requiere de una corrección. Para nuestro caso, el factor de potencia estará en el orden de 0.96% pues hasta este valor la concesionaria no cobrará energía reactiva consumida al no exceder el 30% de la potencia activa.

Evaluación del triángulo de potencias del tablero de máquinas eléctricas de la Empresa.

El sistema eléctrico de la empresa en estudio tiene una potencia activa promedio real de 219.30 KW, potencia aparente promedio real de 277.89 KVA, lo que origina una potencia reactiva de 164.05 KVAR con un ángulo de desfase de 37.91° perteneciente a un factor de potencia de 0.789. Tal como se resumen en la figura 10.

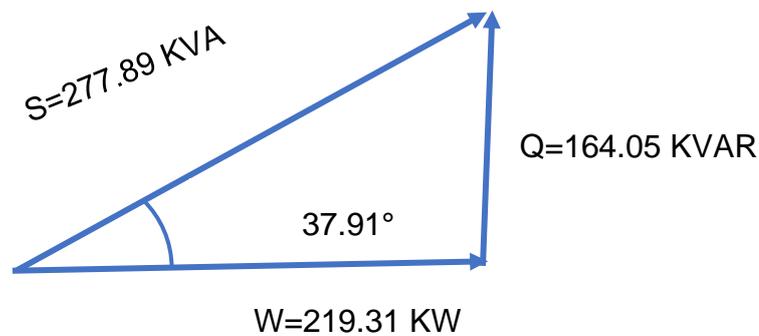


Figura 10 Triangulo de Potencias inicial del Sistema de equipos Eléctricos de la Empresa Industrial.

Fuente: Elaboración propia.

El triángulo de potencias inicial del sistema eléctrico en baja tensión, indica claramente que la potencia aparente es significativamente mayor a la potencia útil o activa, lo cual repercute en tener un mayor ángulo de fase, que conlleva a una elevada potencia reactiva.

Análisis del consumo de energías:

El sistema eléctrico del tablero de equipos trabaja en promedio 3892 horas/año. Por lo consiguiente el consumo de energía aparente, activa y reactiva (Energía, 2001).

El consumo de energía aparente anual sería:

$$\begin{aligned} \text{CES}_{\text{ar1}} &= S_{\text{ar1}} * t_p \\ \text{CES}_{\text{ar1}} &= 277.89 \text{ KVA} * 3892 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \\ \text{CES}_{\text{ar1}} &= 1081548 \frac{\text{KVAh}}{\text{año}} = 1081.547 \frac{\text{MVAh}}{\text{año}} \end{aligned}$$

El consumo de energía activa anual sería:

$$\begin{aligned}CEP_{ar1} &= P_{ar1} * tp \\CEP_{ar1} &= 219.31 \text{ KW} * 3892 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \\CEP_{ar1} &= 853555 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} = 853.555 \frac{\text{MWh}}{\text{año}}\end{aligned}$$

El consumo de energía reactiva anual sería:

$$\begin{aligned}CEQ_{rr1} &= Q_{ar1} * tp \\CEQ_{rr1} &= 164.5 \text{ KVAR} * 3892 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \\CEQ_{rr1} &= 640234 \frac{\text{KVARh}}{\text{año}} = 640.234 \text{ y} \frac{\text{MVARh}}{\text{año}}\end{aligned}$$

Objetivo específico 2: Evaluar parámetros y dimensionamiento de componentes de sistema de compensación de energía reactiva en forma centralizado y en la forma grupal.

Evaluación del triángulo de consumo actual de energía del tablero de máquinas.

La instalación eléctrica del tablero de máquinas tiene un consumo de energía activa real de 853 555 KWh/año, consumo de energía aparente real de 1 081 548 KVAh/año, lo que origina un consumo de energía reactiva de 640 234 KVARh/año con un ángulo de desfase de 37.91° perteneciente a un factor de potencia de 0.78, tal como se resumen en la figura 10.

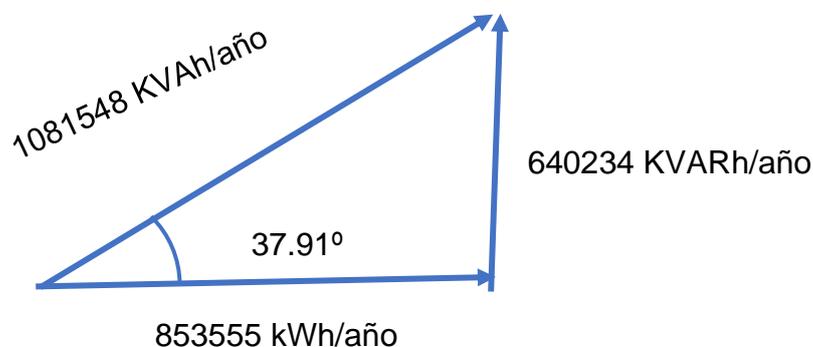


Figura 11 Triángulo de Consumos de Energía Iniciales del Tablero de equipos eléctricos de la Empresa.

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la figura 11, el triángulo de consumo de energía inicial indica que se está consumiendo demasiada energía reactiva debido al aumento significativo de la energía aparente, donde el consumo de energía aparente está muy distanciado del consumo de energía útil. Cabe precisar que en una instalación eficiente el consumo de energía aparente debe apenas ser superior a la energía activa, para de esta manera reducir el consumo de energía reactiva y el ángulo de fase.

Determinación del consumo de intensidad eléctrica en condiciones actuales

Debido al elevado consumo de energía reactiva es primordial, determinar el consumo de la intensidad eléctrica, para ver oportunidades de mejora.

$$I_1 = \frac{P_{ar1}}{\sqrt{3} * U * \cos\phi_1}$$

Donde:

P_{ar1} : Potencia activa real, 219.31 KW

U: Voltaje utilizado, 440 V (0.44KV)

$\cos\phi_1 = F.P$: Factor de potencia inicial: 0.789.

Reemplazando:

$$I_1 = \frac{219.31 \text{ KW}}{\sqrt{3} * 0.44 \text{KV} * 0.789}$$

$$I_1 = 364.74 \text{ A}$$

Análisis de potencias del sistema eléctrico dividido en dos grupos

Para un estudio del método de compensación más adecuado para el caso, se dividió los circuitos del tablero eléctrico, en dos grupos denominados Grupo 1 y Grupo 2.

El Grupo 1 está constituido por equipos eléctricos pertenecientes al área de Servicios Complementarios

El Grupo 2 está constituido por equipos eléctricos pertenecientes al área de Imprenta - Automatización

El analizador de redes aplicado a ambos grupos por separado nos proporcionó los siguientes resultados:

Tabla 1 Resultados de mediciones de potencias en grupo 1

GRUPO 1 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS				
Cos°	HORA	POTENCIA ACTIVA (KW)	POTENCIA REACTIVA (KVAR)	POTENCIA APARENTE (KVA)
0.79	8	122.21	95.16	154.89
0.78	9	162.19	130.13	207.94
0.69	10	130.55	136.94	189.20
0.76	11	170.06	145.44	223.76
0.80	12	50.73	38.05	63.41
0.76	13	60.91	52.09	80.14
0.74	14	86.03	78.20	116.26
0.66	15	90.61	103.14	137.29
0.80	16	105.64	79.23	132.05
0.67	17	60.44	66.97	90.21
0.78	PROMEDIO	113.05	90.26	144.94

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 1 se muestra la variación de la potencia activa en diferentes horas.

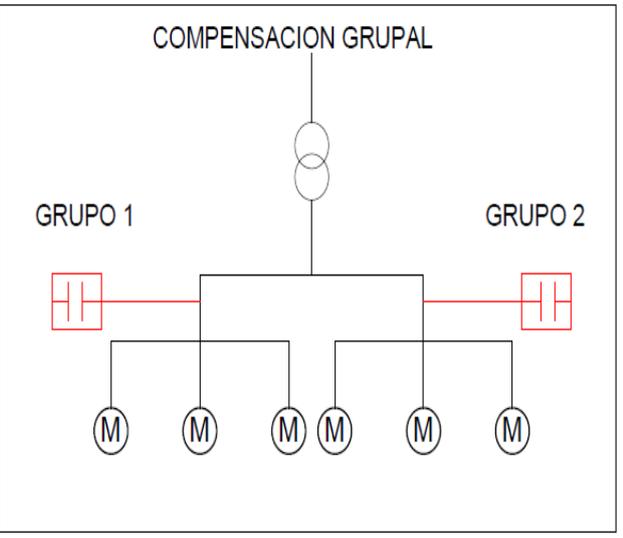
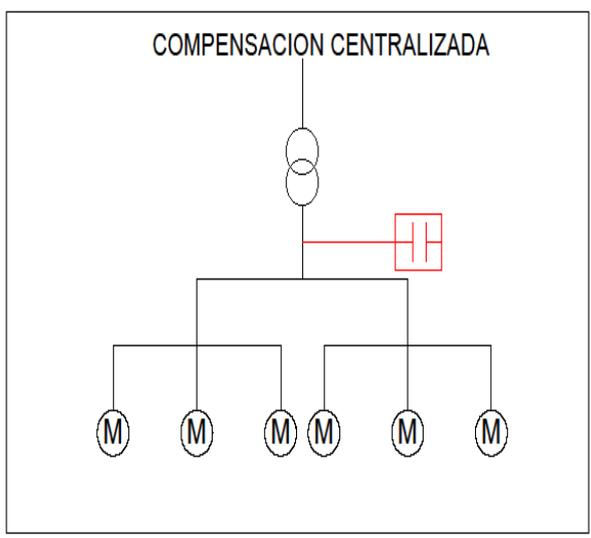
Tabla 2*Resultados de mediciones de potencias en grupo 2*

GRUPO 2 IMPRENTA -AUTOMATIZACION				
Cos°	HORA	POTENCIA ACTIVA (KW)	POTENCIA REACTIVA (KVAR)	POTENCIA APARENTE (KVA)
0.81	8	80.46	58.24	99.33
0.74	9	105.41	95.81	142.45
0.70	10	110.10	115.50	159.57
0.69	11	111.38	74.84	134.19
0.83	12	25.33	28.83	38.38
0.66	13	35.42	31.24	47.23
0.75	14	70.19	77.77	104.76
0.67	15	61.45	41.30	74.04
0.83	16	80.68	77.77	112.06
0.72	17	30.55	22.91	38.19
0.80	PROMEDIO	99.02	76.77	125.34

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 1,2 se muestra la variación de la potencia activa en diferentes horas Sistemas de compensación de energía reactiva evaluados para el tablero de equipos

Tabla 3 Tipos de Sistema de Compensación

COMPENSACIÓN GRUPAL	COMPENSACIÓN CENTRALIZADA
 <p>COMPENSACION GRUPAL</p> <p>GRUPO 1 GRUPO 2</p>	 <p>COMPENSACION CENTRALIZADA</p>
<p>Los circuitos del tablero de equipos y motores se dividieron en dos sectores para evaluar los resultados de la compensación de energía reactiva utilizando este método.</p>	<p>La compensación conectada a la entrada general del tablero de equipos y motores será evaluada para ser comparada con la compensación grupal.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Dimensionamiento del sistema de compensación para mejorar el factor de potencia.

Para reducir la producción de energía reactiva es necesario la evaluación de cada grupo de análisis para una compensación grupal y el análisis para una compensación centralizada.

Dimensionamiento del sistema de compensación centralizada.

Se utilizaron valores promedios de potencias, porque los valores mínimos y/o máximos no son representativos en estos casos, pues depende del tiempo que cada valor se posiciona en el gráfico de las potencias.

Potencia activa promedio: 219.31 KW.

Potencia Reactiva promedio: 164.5 KVAR.

Determinamos la potencia reactiva con sistema de compensación centralizada, tomando en cuenta que el Concesionario de energía eléctrica cobra la energía reactiva que excede el 30 % de la energía activa.

$$Q_c = 219.31 \times 0.3 \text{ KVAR}$$

$$Q_c = 65.79 \text{ KVAR}$$

Corriente con sistema de compensación centralizada:

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\phi_2}$$

$$I_c = \frac{219.31 * 10^3 \text{ W}}{\sqrt{3} * 440\text{V} * 0.96} = I_c = 299.77 \text{ A}$$

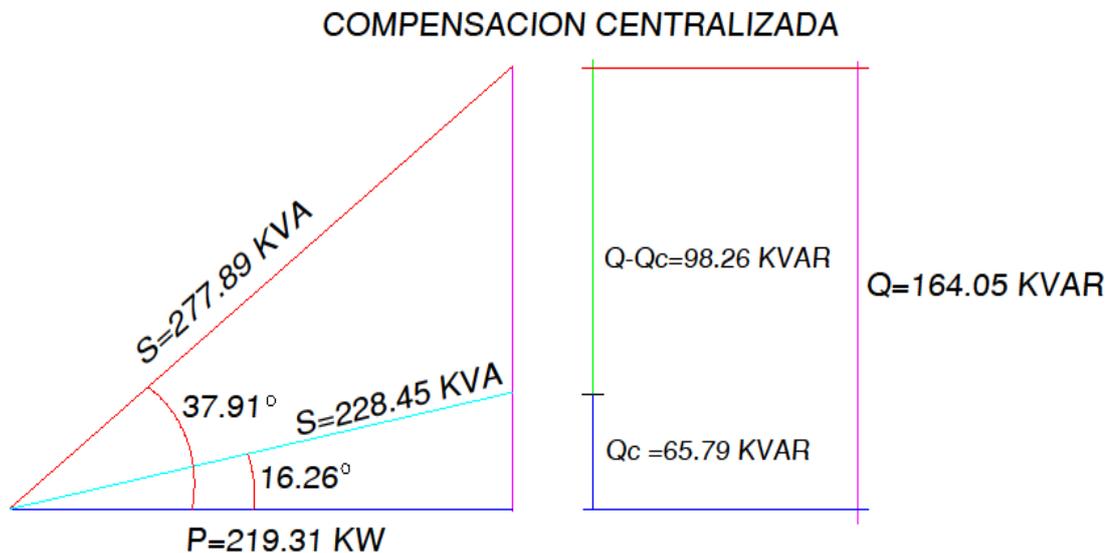


Figura 12 Triángulo de potencia con compensación centralizada

Fuente: Elaboración propia

Potencia del banco de condensadores:

$$Q_{BC} = Q_1 - Q_2$$

$$Q_{BC} = 164.05 \text{ KVAR} - 65.79 \text{ KVAR}$$

$$Q_{BC} = 98.26 \text{ KVAR}$$

Se seleccionó 3 condensadores modulares de 40 KVAR cada una, con los siguientes parámetros de funcionamiento: $U_n = 440 \text{ V}$, $F = 60 \text{ Hz}$.

$$Q_{\text{Cond. nominal}} = \frac{Q_{\text{BC}}}{\text{N}^\circ \text{ Condensadores en paralelo}}$$

$$Q_{\text{Cond. nominal}} = \frac{98.26 \text{ KVAR}}{3} = 32.75 \text{ KVAR} \approx 35 \text{ KVAR}$$

Capacidad de cada condensador:

$$C_{\text{Cond.}} = \frac{Q_{\text{Cond. nominal}}}{2\pi * F * U_n^2}$$

$$C_{\text{Cond.}} = \frac{35000 \text{ VAR}}{2\pi * 60 * 440^2} = 479.5 \mu\text{F}$$

Dimensionamiento del sistema de compensación grupal: Grupo 1 Servicios Complementarios

Potencia activa promedio: 113.05 KW.

Potencia reactiva promedio: 90.26 KVAR.

Determinamos la potencia reactiva con sistema de compensación para el Grupo 1, tomando en cuenta que el Concesionario de energía eléctrica cobra la energía reactiva que excede el 30 % de la energía activa.

$$Q_{c1} = 113.05 \times 0.3 \text{ KVAR}$$

$$Q_{c1} = 33.92 \text{ KVAR}$$

Corriente con sistema de compensación grupal:

$$I_1 = \frac{P_{G1}}{\sqrt{3} * U * \cos\phi_2}$$

$$I_1 = \frac{113.05 * 10^3 \text{ W}}{\sqrt{3} * 440\text{V} * 0.96} = I_1 = \mathbf{154.53 \text{ A}}$$

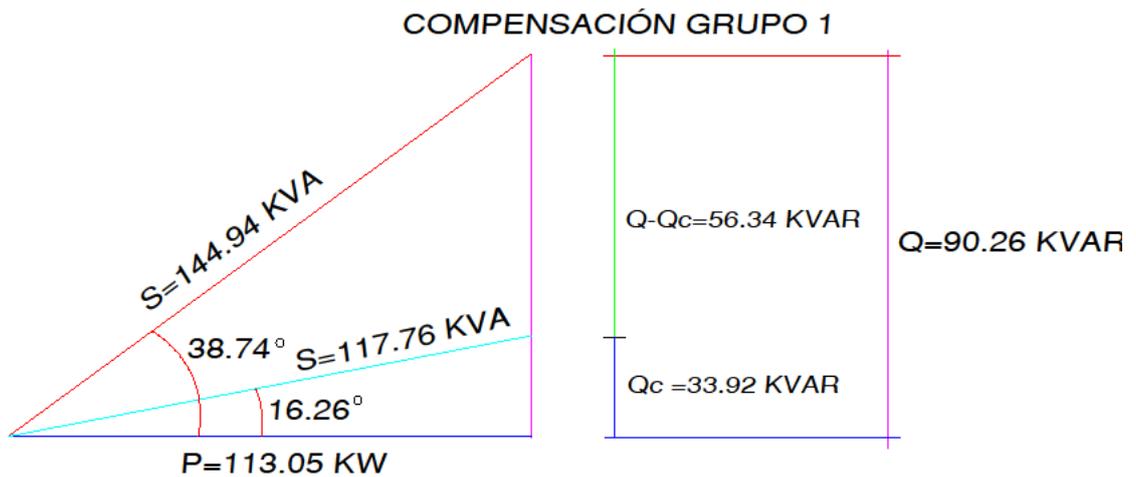


Figura 13 Triángulo de Potencias Situación de Mejora del G1.

Fuente: Elaboración propia

Potencia del banco de condensadores:

$$Q_{BC} = Q_1 - Q_C$$

$$Q_{BC} = 90.26 \text{ KVAR} - 33.92 \text{ KVAR}$$

$$Q_{BC} = 56.34 \text{ KVAR}$$

Se seleccionó 3 condensadores de 20 KVAR cada condensador, con los siguientes parámetros de funcionamiento: $U_n = 440 \text{ V}$, $F = 60 \text{ Hz}$.

$$Q_{\text{Cond. nominal}} = \frac{Q_{BC}}{\text{N}^\circ \text{ Condensadores en paralelo}}$$

$$Q_{\text{Cond. nominal}} = \frac{56.34 \text{ KVAR}}{3} = 18.78 \text{ KVAR} \approx 20 \text{ KVAR}$$

Capacidad de cada condensador:

$$C_{\text{Cond.}} = \frac{Q_{\text{Cond. nominal}}}{2\pi * F * U_n^2}$$

$$C_{\text{Cond.}} = \frac{20000 \text{ VAR}}{2\pi * 60 * 440^2} = 274 \mu\text{F}$$

Dimensionamiento del sistema de compensación grupal: Grupo 2 Imprenta -Automatización

Potencia activa promedio: 99.02 KW.

Potencia reactiva promedio: 76.77 KVAR.

Determinamos la potencia reactiva con sistema de compensación para el Grupo 2, tomando en cuenta que el Concesionario de energía eléctrica cobra la energía reactiva que excede el 30 % de la energía activa.

$$Q_{c2} = 99.02 \times 0.3 \text{ KVAR}$$

$$Q_{c2} = 29.71 \text{ KVAR}$$

Corriente con sistema de compensación grupo 2:

$$I_2 = \frac{P_{G2}}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi_2}$$

$$I_2 = \frac{99.02 * 10^3 \text{ W}}{\sqrt{3} * 440\text{V} * 0.96} = I_2 = 135.35 \text{ A}$$

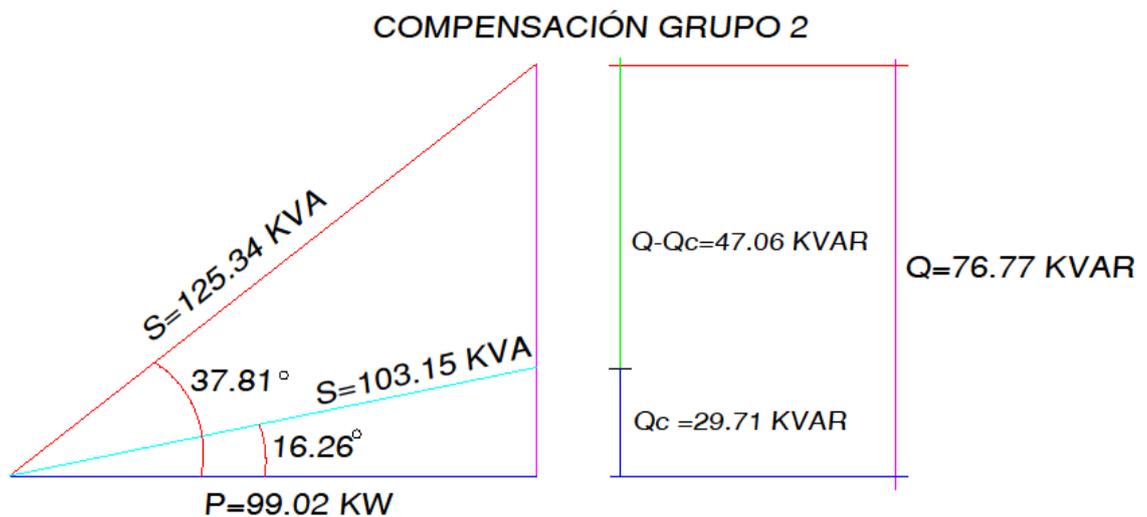


Figura 14 Triángulo de Potencias Situación de Mejora del G2.

Fuente: Elaboración propia

Potencia del banco de condensadores:

$$Q_{BC} = Q_2 - Q_C$$

$$Q_{BC} = 76.77 \text{ KVAR} - 29.71 \text{ KVAR}$$

$$Q_{BC} = 47.06 \text{ KVAR}$$

Se seleccionó 3 condensadores, conectados en estrella de 20 KVAR cada condensador, con los siguientes parámetros de funcionamiento: $U_n = 440 \text{ V}$, $F = 60 \text{ Hz}$.

$$Q_{\text{Cond. nominal}} = \frac{Q_{BC}}{\text{N}^\circ \text{ Condensadores en paralelo}}$$

$$Q_{\text{Cond. nominal}} = \frac{47.06 \text{ KVAR}}{3} = 15.69 \text{ KVAR} \approx 20 \text{ KVAR}$$

Capacidad de cada condensador:

$$C_{\text{Cond.}} = \frac{Q_{\text{Cond. nominal}}}{2\pi * F * U_n^2}$$

$$C_{\text{Cond.}} = \frac{20000 \text{ VAR}}{2\pi * 60 * 440^2} = 274 \mu\text{F}$$

Tabla 4 Valores de potencia reactiva y de corriente, con y sin compensación del factor de potencia.

ITEM	SIN COMPENSACIÓN		CON COMPENSACIÓN	
	Q (KVAR)	I (A)	Q (KVAR)	I (A)
Centralizado	164.05	366.55	65.79	299.77
Grupo 1	90.26	189.82	33.92	154.53
Grupo 2	76.77	164.41	29.71	135.35
Total, Grupal	167.03	354.23	63.63	289.88

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4, se muestra el consumo de energía reactiva por cada grupo, sin compensación y con compensación.

Tabla 5 Valores de ahorro de potencia reactiva y de corriente, con y sin compensación del factor de potencia.

Grupo	Ahorro de potencia reactiva (KVAR) ΔQ	Ahorro en intensidad eléctrica (A) ΔI
Centralizado	98.26	66.78
Grupo 1	56.34	35.29
Grupo 2	47.06	29.06
Total, Grupal	103.4	64.35

Fuente: Elaboración propia.

Objetivo específico 3: Evaluar los costos de implementación y operación del sistema eléctrico para los dos tipos de compensación: centralizado y grupal

Se considera que la planta industrial trabaja en promedio 3892 horas/año de operación.

Tabla 6 Consumos de energía reactiva anual sin compensación y con compensación.

ITEM	SIN COMPENSACIÓN		CON COMPENSACIÓN	
	Q (KVAR)	CQ (KVAR (año))	Q (KVAR)	CQ (KVAR (año))
Centralizado	164.05	638,482.6	65.79	256,054.68
Grupo 1	90.26	351,291.92	33.92	132,016.64
Grupo 2	76.77	298,788.84	29.71	115,631.32
Total, Grupal	167.03	650,080.76	63.63	24,7647.96

Fuente: Elaborado por el autor

*Para obtener el consumo de energía reactiva del centralizado, se multiplico la potencia reactiva por el tiempo de operación: $164.05 \text{ KVAR} * 3892 \text{ horas/año} = 638\,482.6 \text{ KVARh/año}$. Procediendo de la misma manera para todos los grupos.

Tabla 7 Costos de consumo de energía reactiva anual sin compensación y con compensación.

ITEM	SIN COMPENSACIÓN		CON COMPENSACIÓN	
	CQ (KVAR (año))	Costo (Soles/año)	CQ (KVAR (año))	Costo (Soles/año)
Centralizado	638482.6	37670.44	256054.68	15107.23
Grupo 1	351291.92	20726.22	132016.64	7788.98
Grupo 2	298788.84	17628.54	115631.32	6822.25
Total, Grupal	650080.76	38354.76	247647.96	14611.23

Fuente: Elaborado por el autor

Se obtuvo el costo del consumo de energía reactiva anual considerando un costo unitario de 0.059 soles/KVARh. Incluido el I.G.V.

*Para obtener el costo de energía reactiva anual, se multiplico el consumo de energía reactiva por el costo unitario: $638482.6 \text{ KVARh/año} * 0.059 \text{ soles/KVARh} = 37670.44 \text{ soles/año}$. Procediendo de la misma manera para todos los grupos

Tabla 8 Tabla comparativa de costos de ahorro.

Fuente: Elaborado por el autor

ITEM			
	Q (KVAR (año))	CQ (KVAR (año))	Ahorro (Soles/año)
Centralizado	37,670.44	15,107.23	22,563.21
Total, Grupal	38,354.76	14,611.23	23,743.53

Se obtendría un beneficio económico $37,670.44 - 15,107.23 = 22,563.21$ soles/año

En el grupal el ahorro en costo de energía reactiva anual es similar para ambos casos pues se tratan de las mismas cargas.

Obteniendo una mínima diferencia de 1 180.32 entre sistemas de compensación.

Objetivo específico 4: Evaluar el método más adecuado de compensación de energía reactiva para el área de equipos de la instalación.

A continuación, realizó un listado de materiales y accesorios que se utilizarán en el sistema centralizado, también se consideró la mano de obra y movilización de los equipos.

Tabla 9 Costo de equipamiento de compensación centralizada

tems	Descripción	Cantidad	Costo (Soles)
	Interruptor termomagnético Automático Caja Moldeada. 3P Regulable de 252-630A 42Ka 440Vac Microlog 2.3 Nsx630N	1	6,945.54
	Interruptor termomagnético Automático Caja Moldeada. 3P Regulable de 112-160A 35Ka 440Vac Nsx160F	3	2,520.30
	Contactador para Condensador 3P 40Kvar 230/415/440/690V Bobina. 220V	3	3,010.80
	Condensador trifásico VARPLUS CAN de 40kVAR-440V BLRCH208A250B48	3	3,456.00
	Computer Smart III-F12 Alimentación 100...520V.	1	1,500.00
	Ventiladores con filtro Caudal de aire: 320 m³/h Dimensiones: 255 x 255 mm	1	523.35
	Termostato electrónico, doble contacto calefacción y enfriamiento, 24 a 230V, riel din 35mm, -20-60°C, IP20	1	44.01
	Tablero autosoportado 2100x800x800mm (Altura x Ancho x Fondo)	1	3,500.00
	Gastos generales: Transporte, Alimentación Seguros	1	550
	Mano de obra directa	1	3,500.00
	Valor total de inversión incluye IGV		25,550.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación, realizó un listado de materiales y accesorios que se utilizarán en el sistema grupal, también se consideró la mano de obra y movilización de los equipos.

Tabla 10 Costo de equipamiento de compensación grupal

tems	Descripción	Cantidad	Costo (Soles)
	Interruptor termomagnético Automático Caja Moldeada 3P Regulable. 160-400A 42Ka 440Vac Microlog 2.3 Nsx400N	1	6,442.27
	Interruptor termomagnético Caja Moldeada 3P Regulable de 87.5-125A 35Ka 440Vac Nsx160F	3	2,442.30
	Contactador para Condensador 3P 22Kvar 230/415/440/690V Bob. 220V	3	2,148.07
	Condensador trifásico VARPLUS CAN de 21kVAR-440V BLRCH208A250B48	3	3,450.00
	Computer Smart III-F12 Alimentación 100...520V.	1	1,500.00
	Ventiladores con filtro Caudal de aire: 320 m ³ /h Dimensiones: 255 x 255 mm	1	523.35
	Termostato electrónico, doble contacto calefacción y enfriamiento, 24 a 230V, riel din 35mm, -20-60°C, IP20	1	44.01
	Tablero autosoportado 2100x800x800mm (Altura x Ancho x Fondo)	1	3,500.00
	Gastos generales: Transporte, Alimentación Seguros	1	550
	Mano de obra directa	1	3,500.00
	Valor total de inversión incluye IGV		24,100.00

Fuente: Elaboración propia

Para efectos de diseño, y debido a los valores obtenidos en los cálculos se consideró que los bancos del grupo 1 y grupo 2 son iguales.

Actualmente, existen empresas en el mercado eléctrico que se especializan en la producción de equipos de compensación. Esto se realiza anualmente durante la operación del sistema de compensación, tomando en cuenta los costos de adquisiciones, costos de materiales y costos de mantenimiento de los equipos y accesorios necesarios para su implementación. En el caso de compensación grupal, el costo de implementación será el mismo para ambos grupos porque son el mismo sistema en función de la carga de servicio.

Tomando en cuenta los costos de implementación de los bancos de condensadores evaluados se seleccionó el sistema de compensación de energía reactiva de forma centralizada por ser económicamente más conveniente según se muestra en la tabla 9 y tabla 10.

V. DISCUSIÓN

Este capítulo contiene un análisis de cada objetivo propuesto en el estudio. En resumen, para mejorar el factor de potencia del sistema eléctrico de 440V en una empresa industrial, se propone un proyecto de sistema de compensación de potencia reactiva. Para hacer esto, primero use un analizador de red para estimar la capacidad actual, el consumo de energía y el factor de potencia.

Los resultados obtenidos, determinaron valores promedios de: potencia activa 219.31 Kw, potencia reactiva 164.05 KVAR y factor de potencia 0.78 que es ligeramente aproximado a las potencias que presenta en el estudio realizado por el autor (ASLLA Mamani, 2019), que fueron 202.47 kW, 120.14 kVAR y factor de potencia 0.86. Asimismo, tiene en parte concordancia con el estudio de (CHASI, 2020) quien mediante la simulación de control de un banco de capacitador usando controles discretos generales y controles directos inteligentes. En el primer caso se ha logrado el mejoramiento de los factores de potencia a 0.96 a través de los controles discretos general. Por otro lado, usando los controles discretos inteligentes se alcanzado a un mejor factor de potencia a 0.97. Concluyendo que, se diseñó un sistema orientado en un equipo comercial para mejorar el factor de potencia, logrando determinarse que el sistema eléctrico requiere de compensaciones máximos de 15 kVAR.

Se demostró que, la compensación del factor de potencia en forma centralizada, el consumo de energía reactiva sin compensación de 164.05 KVAR, se reduce a 65.79 KVAR logrando una disminución en el consumo de 60 %, gracias a que el factor de potencia tuvo una mejora de 0.78 a 0.96, pues la concesionaria cobra la energía reactiva cuando no excede el 30% de la potencia activa. Este resultado difiere ligeramente al estudio realizado por (REYES Zavaleta, y otros, 2022), quienes lograron una mejora de 71% con valores de potencia inicial que fueron 92.90 KW y 69.68 KVAR, y una mejora de factor de potencia de 0.80 a 0.98. En la compensación grupal los resultados de consumo de energía obtenidos para el grupo 1 fue de 90.26 KVAR sin compensación y 33.92 KVAR con compensación significa un ahorro de energía de 64.96% mientras que para el grupo 2 fue de 76.77 KVAR sin compensación y de 29.71 KVAR con compensación con un ahorro de energía de 61.30%, resultados ligeramente menores a los obtenidos por el autor

(REYES Zavaleta, y otros, 2022) Contrastando con los antecedente que en su estudio realizado para la compensación en dos grupos muestra ahorro un energético de 72.57% y 73.60% para cada grupo. También en el estudio de (Robles, 2019) determinó que, los factores de potencia óptimos que son de 0.97 para disminuir la pérdida económica por facturación de energía reactiva. Concluyendo que, la, propuesta de diseño es rentable económicamente, teniendo una inversión de S/. 8,357.30 con recuperación de 3.5 años del capital que se invierte, con proyecciones de 10 años y una vida útil de 14 años.

Se evaluó que, los costos de implementación para el sistema centralizado son de 25,550.00 soles mientras que con la compensación grupal la inversión es de 24,900.00 soles por grupo lo cual hace un costo total de 49,800.00 soles de inversión. Esto es consecuencia de que el número de los componentes más costosos de cada banco de condensadores están duplicados por tratarse de dos tableros de banco de condensadores esto implica, también, un mayor costo en mantenimiento de operación. La correccion del factor de potencia y compensacion con banco de condensadores de forma centralizada tiene un costo de implementacion mucho menor que si se realizara de forma grupal, según se muestra en la tabla 11 y tabla 12. Además, los costos de mantenimiento serian mayores debido a que se tendria dos modulos de banco de condensadores y sus respectivos dispositivos por separado. La meta que se propone es implementar bancos de compensacion de forma centralizada la cual nos ayudará a aumentar el factor de potencia y reducir el costo de energia reactiva. Por su parte, tambien en el estudio de (GOMEZ, 2021) los diagnósticos previos a la implementación del banco de capacitores revelaron que se generó potencia reactiva debido al bajo factor de potencia, lo que resultó en una sobrecarga. Durante el diseño e implementación del banco de capacitores, notaron que es un proyecto completamente factible y rentable. Concluyendo que, en la implementación del mejoramiento del banco de condensadores incremento los factores de potencia de 0.92 a 0.98 y por ello, el consumo eléctrico se disminuyó en un 30%.

Se determinó el método más adecuado, de compensación de energía reactiva, para ello se estableció los parámetros necesarios para una compensación centralizada y una compensación grupal conformada por los denominados Grupo 1 y Grupo 2 en los cuales se ha dividido el tablero en estudio. Sin embargo, no tuvo similitud con el estudio de (MAMANI y QUISPE, 2023) quienes después del análisis y evaluación efectuada a la red eléctrica de la planta se evidenció factores de potencias de 0.858 debiéndose al mayor consumo de potencias reactivas por las altas presencias de cargas inductivas.

VI. CONCLUSIONES

1. Se realizó un estudio energético de las condiciones actuales del sistema eléctrico en baja tensión del área de equipos de la planta industrial en estudio, mediante un analizador de redes. Se confirmó que la existencia de un factor de potencia bajo (0.78), originaba un alto consumo de energía reactiva, dando lugar a una facturación excesiva en este rubro. Logrando una mejora de 0.96 como se muestra en la figura 3 se considera excelente. Al realizar la medición del consumo de energía reactiva dividido en dos grupos en el área de equipos, se apreció que la suma del consumo de los dos grupos era similar al consumo total medido centralizadamente. Esto se debe a que las cargas para ambos casos son las mismas. Ver tablas 1 y tabla 2.
2. Se determinó, mediante cálculos, que la capacidad requerida del banco de condensadores para una compensación centralizada fue de 65.79 KVAR lo cual constituye el exceso de consumo de energía reactiva por encima del 30% de la potencia activa. Se seleccionó 3 condensadores modulares de 40 KVAR cada una, con los siguientes parámetros de funcionamiento: $U_n = 440$ V, $F = 60$ Hz. Para el caso de compensación en dos grupos por separado, para el Grupo 1 la capacidad requerida del banco de condensadores fue de 33.92 KVAR, mientras que en el Grupo 2 fue de 29.71 KVAR. En ambos casos constituye el exceso de consumo de energía reactiva por encima del 30% de la potencia activa. Para ambos grupos la selección del banco de condensadores teniendo en cuenta sus requerimientos de compensación de potencia reactiva se seleccionó 3 condensadores, conectados en estrella de 20 KVAR cada condensador, con los siguientes parámetros de funcionamiento: $U_n = 440$ V, $F = 60$ Hz.

3. El estudio del costo de implementación para los dos sistemas de compensación centralizado y grupal obtuvo los siguientes resultados: compensación centralizada 25,550.00 y compensación grupal de 24,100.00 por cada grupo, haciendo un total de 48,200.00. Esta gran diferencia se debe a que en la compensación grupal los componentes y accesorios requeridos son el doble en cantidad que, en el caso centralizado, mientras que los precios de estos componentes y accesorios varían muy poco cuando sus valores nominales disminuyen.
4. Se ha presentado dos posibles formas de compensación de energía reactiva para el sistema eléctrico del área de equipos de la empresa, tanto centralizado como grupal, en dos grupos, para determinar más conveniente económicamente para ser aplicada. El ahorro económico está estimado en a 22,563.21 soles/año. Se puede concluir que la compensación centralizada es el método más económico de los estudiados en esta investigación y, además, ofrece el mismo beneficio operativo y de ahorro en el consumo que la compensación grupal ver tabla 9 y tabla 10.

VII. RECOMENDACIONES

El personal profesional y técnico de la empresa, deberá ser el idóneo para evaluar las condiciones actuales para la implementación del diseño propuesto y/o tener la suficiente preparación para el conocimiento de las mejoras que se han planificado realizar, sobre todo en el dimensionamiento de nuevos sistemas de aplacamiento de energía reactiva, llámense bancos de condensadores, sistemas nuevos de conductores, reducción de pérdidas y mejoramiento del factor de potencia. Asimismo, realizar un análisis más profundo donde se abarquen todos los equipos e instalaciones eléctricas de los 2 grupos seleccionados.

Se recomienda elaborar un sistema de gestión de mantenimiento, tareas de detección de posibles fallas o rediseño para optimizar los resultados del parámetro y dimensionamiento y su consecuente implementación. Además, contar con todos los equipos reglamentarios de seguridad industrial tipificados para sistemas de energía eléctrica, tanto personales como de instalaciones del tipo señalado en el diseño de la empresa. Y, para una mejor y segura operación de compensación se recomienda automatizar el sistema para que se adapte a la potencia capacitiva requerida para cada nivel de carga.

Es necesario garantizar una adecuada ventilación forzada monitoreada por un termostato para una mejor operación y mayor vida útil de los componentes y accesorios.

Se recomienda la implementación de limitadores de sobretensión para no poner en riesgo el sistema de compensación en operación. Esto también influirá en la mejora en la expectativa de vida útil del sistema.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ALANÍS NAVARRO, JOSÉ ANDRÉS . 2015. *Análisis del factor de potencia*. Mexico: Theorema, 2015.
- ALEXANDER, CHARLES K Y SADIKU, MATTHEW N.O. 206. *Fundamentos de circuitos*.
- AMADO JIMENEZ, Alejandro. 2022. Compensación de energía reactiva, costo-beneficio y ventajas técnicas en la industria. México, Puebla: s.n., 2022. *Análisis del factor de potencia eléctrico*.
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/1b3202e2-8934-4440-b8f7-f1b5fc591b6d>
- ALANIS NAVARRO, JOSÉ ANDRÉS. 2015. México: Universidad Politécnica del Estado de Guerrero, 2015.
- ASLLA MAMANI, Gerson Rafael. 2019. Análisis para corregir el factor de potencia en la empresa Frigorífica Alfrimac Peru S.A.C.". Villa el Salvador, Peru: s.n., 2019.
[file:///C:/Users/Admin/Downloads/T088A_46031852_T%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/T088A_46031852_T%20(1).pdf)
- Borges Vasconcellos, Davel Eduardo, Céspedes Yoel Concepción. Compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución primaria de energía, aplicando algoritmos genéticos. *Ingeniería Energética* [en línea]. 2017, XXXVIII(1), 25-34[fecha de Consulta 1 de Diciembre de 2023]. ISSN: . Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329149594004>
- CHASI ALCOSER, Diego Stalyn. 2020. Análisis de estrategias de control de bancos de capacitores para mejoramiento del factor de potencia. Ibarra, Ecuador: s.n., 2020.
- EMADI, A. (2004). Factor de potencia. Manual de sistemas de alimentación de CA.
- EELECOND, Grupo. 2018. *El factor de potencia y su corrección*. 2018.
- Energía, Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. 2001. *Opciones Tarifas y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final*. PERU: s.n., 2001.

FLORENCIA, C. Y XAVIER, AM (2020). Implementación de tres bancos de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia en la fábrica Plásticos Ecuatorianos SA.

FLORES LÓPEZ, ÉDER ALBERTO, BAHENA LANDA, MARÍA YURIDIA Y

FLORES LÓPEZ, Éder Alberto, BAHENA LANDA, María Yuridia y ALANIS NAVARRO, José Andrés. 2015. *Análisis del factor de potencia eléctrico*. Mexico : Universidad Politécnica del Estado de Guerrero, 2015. 77.

GÓMEZ CHUQUILLANQUI, Dany Milton . 2021. Plan de mejora del factor de potencia mediante banco de condensadores 850 KVAR/440VAC en la subestación planta concentradora de la empresa Pan American Silver Unidad Minera Huarón Cerro de Pasco-2021. Huancayo, Peru : s.n., 2021.

GONZALEZ VARGAS, L., CUELLAR-ALCALÁ, R., y Huerta-Valenzuela, F. The design of the HMI touch interface allows the visualization of the variables and control in the connection and disconnection of the capacitors automatically, or manually by means of occupation hours and real time clock. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*. Año: 2021 Volumen: 1 Número 7. <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2021/CID016.pdf>

GORDILLO SOLANO, Ariel. 2018. Corrección de factor de potencia en baja tensión . La paz, Bolivia : s.n., 2018.

HARPER. 2014. *Potencias activa, aparente y reactiva*. 2014.

M.S, Milton GUSSOW. 2015. *Fundamentos de electricidad*. Mexico : Mc graw hill, 2015. 282.

MAMANI TOQUE, Hubert Saul y QUISPE HUANCA, Wladimir Cosme . 2022. Dimensionamiento de un banco automatizado de capacitores para mejorar la calidad de energía eléctrica en planta procesadora de minerales, Ananea – Puno 2022. pun : s.n., 2022.

MAMANI YUJRA, Luis Pascual. 2023. Mejoramiento del Factor de Potencia para la Empresa Laboratorios Farmaceuticos VITA. La Paz, Bolivia : s.n., 2023.

MARLOY. 2018. *La investigación aplicada*. 2018.

NORIEGA. 2018.

ORTEGA HERNANDEZ, Alejandro. 2017. *Corrección del factor de potencia y eliminación de corrientes armónicas en sistema de baja tensión*. México, México : s.n., 2017.

OSINERG. 2001. *Opciones de Tarifas y condiciones de aplicación de las tarifas a usuario final*. 2001. pág. 20.

OSINERMING. 2018. *Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final*. PERU : OSINERMIG-GRT, 2018.

PÉREZ MARTÍNEZ, Maykop, RAMOS GUARDARRAMA, Josnier, SILVÉRIO FREIRE, Raimundo Carlos, BARRIOS GONZALES Daniel. Development of applications in Scilab software for the analysis of harmonics in industrial systems. *Ingeniería Energética* [en línea]. 2022, XLIII(1), 24-34 [fecha de Consulta 1 de Diciembre de 2023]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329170676003>

PENA, William Yero; RODRIGUEZ, Leuber Rosa; RAMIREZ-BIENT, Julio y GARCIA-LEON, Pedro. Monitoring, control and diagnostics in automatic capacitor banks at low voltage. *Ingeniare. Rev. chil. ing.* [online]. 2018, vol.26, n.1 [citado 2023-12-01], pp.28-42. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052018000100028&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-3305. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000100028>.

PROMELSA. 2020.

RENZETTI, Mario A. 2008. *Notas sobre electricidad*. 2008.

REYES ZAVALA, Manuel Alejandro y VEJARANO BENITES, Luis Alberto. 2022. *Compensación reactiva en baja tensión y factor de potencia eléctrica de*. Trujillo, Perú : s.n., 2022.

ROBLES MEZA, Edgar Cesar. 2019. *Propuesta de diseño e instalación de un banco automático de condensadores para reducir la potencia reactiva en la subestación del Senati-Huancayo*. Huancayo, Perú : s.n., 2019.

SOWELL. 2018. *Periodo de retorno de la inversión*. 2018.

STEVENSON Jr, William D y Grainger, John J. . 2002. *Analisi de sistemas de Potencia*. Mexico : McGRAW-HILL, 2002.

STEVENSO. 2017. *Potencia en bancos de condensadores*. 2017.

SUBRAMANIAN, K. Y TANDON, S. (2018). Corrección del factor de potencia mediante condensadores y filtros.

SINGH, MS Y GUPTA, J. (2011). Mejora del factor de potencia en una planta textil: un análisis.

TIPÁN, Luis, y José Rumipamba. Determinación Del Factor De Potencia Mediante El Uso De SBC En Clientes. Revista Técnica "energía" 15, no. 2 (enero 31, 2019): PP. 66–75. Accedido diciembre 1, 2023. <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/379>.

TRIANA-PUJOL, Ariel; SANTANA-PERDOMO, Camilo; GARCIA-MORALES, Osvaldo Fidel y MEDINA-LEON, Alberto. Study of the behavior of energy performance indicators of a hotel in Varadero. Ing. Ind. [online]. 2023, vol.44, n.1 [citado 2023-12-01], pp.197-211. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362023000100197&lng=es&nrm=iso>. Epub 04-Abr-2023. ISSN 1815-5936.

VERA ARANIBAR , Gabriel Rene. 2019. COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA Y MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA. La Paz, Bolivia : s.n., 2019.

WAHAB, KASSEM , RAHAL, Mohamad y ACHKAR, Roger . 2021. *Economic Improvement of Power Factor*. Beirut, Lebanon : Department of Computer andDepartment of Computer and Communications Engineering, Faculty of Engineering, American University of Science and Technology, 2021.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de operacionalización de variable

Variables de estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala Nominal
Independiente: Energía Reactiva	Es el coseno de la diferencia de fase entre la tensión (voltaje) y la corriente. También es igual al coseno del ángulo de la impedancia de la carga, a puede interpretarse como el factor por el cual debe multiplicarse la potencia aparente para obtener la potencia real o promedio. El valor del FP va de cero a la unidad. En el caso de una carga puramente resistiva, la tensión y la corriente están en fase (ALEXANDER, y otros, 206)	Este tipo de compensación es recomendado cuando las cargas, ya sean iguales o diferentes, están conectadas simultáneamente y demandan una cantidad de potencia reactiva constante. Esta energía se mide a través de los indicadores potencia activa y potencia aparente, (ORTEGA Hernández, 2017)	Sistema de compensación grupal	Activa (KW) Potencia Aparente (KVA)	Razón
Dependiente: Factor de Potencia	Relación existente entre la potencia Aparente y la potencia activa, tratando siempre de que la potencia activa se acerque lo más posible a la potencia aparente. (RENZETTI, 2008)	El factor de potencia es un señalador del perfecto aprovechamiento de la energía eléctrica y se mide determinado el coseno del ángulo que forma la potencia activa y la potencia aparente (Schneider Electric. 2010).	Sistema de compensación grupal	Potencia activa Potencia aparente	Razón

Anexo 2. Instrumento de recolección de datos

Guía de observación

Objetivo 1: Condiciones actuales del sistema eléctrico en baja tensión del área de equipos de la planta industrial			
Forma que se agruparían las cargas para la evaluación de compensación del método grupal.	Analizador de redes	Potencia activa	consumo de energías
Objetivo específico 2: Parámetros y dimensionamiento de componentes de sistema de compensación de energía reactiva en forma centralizado y en la forma grupal.			
Instalación eléctrica del tablero de máquinas	Intensidad eléctrica en condiciones actuales	Potencias del sistema eléctrico	Tipos de Sistema de Compensación

Objetivo específico 3: Evaluar los costos de implementación y operación del sistema eléctrico para los dos tipos de compensación: centralizado y grupal			
Consumos de energía reactiva anual sin compensación y con compensación	Costos de consumo de energía reactiva anual sin compensación y con compensación		
Objetivo específico 4: Método más adecuado de compensación de energía reactiva para el área de equipos de la instalación			
Costo de equipamiento de compensación centralizada	Costo de equipamiento de compensación grupal		

Anexo 3. Resultados de similitud de Turnitin

Diseño de sistema de compensación de energía reactiva para mejorar el factor de potencia del área de equipos eléctricos 440V.

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	15 %	1 %	8 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
3	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	2 %
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	2 %
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1 %
6	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	1 %
7	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1 %
8	aprenderly.com Fuente de Internet	<1 %

9	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
13	www.portaltransparencia.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
14	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
17	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	www.sidalc.net Fuente de Internet	<1 %
20	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %

21	Submitted to Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
22	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
23	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
24	FCA CONSULTORES AMBIENTALES S.A.C.. "PAMA del Fundo Blueberries Perú-IGA0013774", R.D.G. N° 349-2018-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021 Publicación	<1 %
25	Submitted to ITAM: Instituto Tecnológico Autónomo de México Trabajo del estudiante	<1 %
26	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
27	selene.uab.es Fuente de Internet	<1 %
28	bioline.org.br Fuente de Internet	<1 %
29	efikosnews.com Fuente de Internet	<1 %
30	www.scielo.cl Fuente de Internet	<1 %

31	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	<1 %
32	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
33	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
34	pesquisa.bvsalud.org Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	www.mgeups.es Fuente de Internet	<1 %
37	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
38	apps.who.int Fuente de Internet	<1 %
39	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
40	mecanica.uniandes.edu.co Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

43 www.cacic2016.unsl.edu.ar <1 %
Fuente de Internet

44 www.ing.unlp.edu.ar <1 %
Fuente de Internet

45 www.tauniversity.org <1 %
Fuente de Internet

46 www.efenergia.com <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas Apagado
Excluir bibliografía Apagado

Excluir coincidencias Apagado

Anexo 4. Instrumento para recolección de datos

Certificado de calibración de equipos de medición



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio autorizado por
OSINERGMIN con oficio
N° 78-2018-OS-DSE

Certificado de Calibración N° 08653

Expediente N°: 129-2022
Página 1 de 4

Solicitante	RYSICAL E.I.R.L.	Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
Dirección	CAL. LA HERRADURA MZ. J LOTE. 24 URB. SAN VICENTE (COSTADO DE URB STA MARIA 5° ETAPA) LA LIBERTAD - TRUJILLO - TRUJILLO	
Instrumento de medición	REGISTRADOR DE TENSION TRIFASICO	Este certificado de calibración y los resultados que incluye no representa un certificado de conformidad con normas de producto.
Marca	FLUKE	
Identificación	-	Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. La reproducción parcial requiere la autorización escrita de INSPER S.A.C.
Modelo	1743	
Número de serie	YD 11112 CA	Los resultados de este certificado de calibración son válidos solo para el instrumento calibrado en el momento y condiciones en que las mediciones se realizaron.
Alcance	480 V, 3000 A	
Lugar de calibración	Laboratorio de calibración de INSPER S.A.C.	INSPER S.A.C. no se responsabiliza por las consecuencias del uso inadecuado del instrumento calibrado o por la incorrecta interpretación de los resultados de este certificado de calibración.
Fecha de calibración	2022-10-19	
Método de calibración	Comparación directa según procedimiento LC-PR-7.2-01 Ver. 04 propiedad de INSPER S.A.C. de acuerdo con la NTP ISO/IEC 17025:2017	El solicitante debe definir el intervalo de recalibración del instrumento a fin de adecuar el uso del mismo a las condiciones, requisitos o normas que le apliquen.
Condiciones de calibración		
Temperatura:	Inicial: 23,1 °C Final: 22,1 °C	Este certificado de calibración sin firmas carece de validez.
Humedad relativa:	Inicial: 66,4 % HR Final: 65,8 % HR	

Trazabilidad

Código	Equipo utilizado	Certificado de Calibración
EP-LC-01	Calibrador Transmille 3010A	Transmille Ltd. N° AC-27284

Fecha de emisión

Técnico Calibrador

Responsable Técnico de Calibración

2022-10-19

CARLOS LÓPEZ VILLANUEVA

MIGUEL CORNEJO LARREA
CIP: 044651

INSPER S.A.C.

Av. Tomás Valle Mz. D Lt. 08 AH 5 de Agosto (Alt. de San Germán) – Los Olivos – Lima
Correo: administracion@inspersac.com Teléfono: (01) 747-1752 Celular: 985 847 587

Llave general de tablero 440 V



Anexos 5 Placa de trasformador de distribución de 1500

EPLI S.A.C.

TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE POTENCIA

SERIE	TR2019-06034-01	FRECUENCIA	60 Hz	REGULACIÓN AT	
TIPO	TP3S	T.C.C. (120 °C)	6.17 %	BORNES PUNTES VOLTIOS	
FASES	3	ENFRIAMIENTO	AF	1	2 24045
kVA	1500	CL. TÉRMICA	F	2	3 23473
VOLT. AT	22900 V	CL. CLIMÁTICA	C2	3	4 22900
VOLT. BT	460 V	CL. AMBIENTAL	E2	4	5 22326
AMP. AT	37.82 A	CL. COMP. FUEGO	F1	5	6 21755
AMP. BT	1882.66 A	Δ T. MEDIA (AL)	100 °C	PESO P. ACTIVA 4065 kg	
ALTITUD	1000 m.s.n.m.	T. MAX. AMBIENTE	40 °C	PESO TOTAL 5020 kg	
G. CONEX.	Dyn5	AISLAMIENTO AT	24 / 50 / 125 kV	FABRICACIÓN 06/05/19	
NORMA	JEC.60076-11	AISLAMIENTO BT	1,1 / 3 kV		
		MATERIAL BQS (AT / BT)	AL / AL		

MANUAL DE USUARIO : SGE - M - TR - 003

IN. PRODUCTO TRANSFORMADORES S.A.S. - PUNTO BARRIO TELER. 011585 - 202282 - 43387-19 PUNTO BARRIO TELER
 OF. LIMA GUAYANERA 0958-CERROJO LIMA S.A.S. - CORONA DE VINO - PUNTO BARRIO TELER. 011585 - 202282 - 43387-19 PUNTO BARRIO TELER

25/10/2022 9:06 a. m.

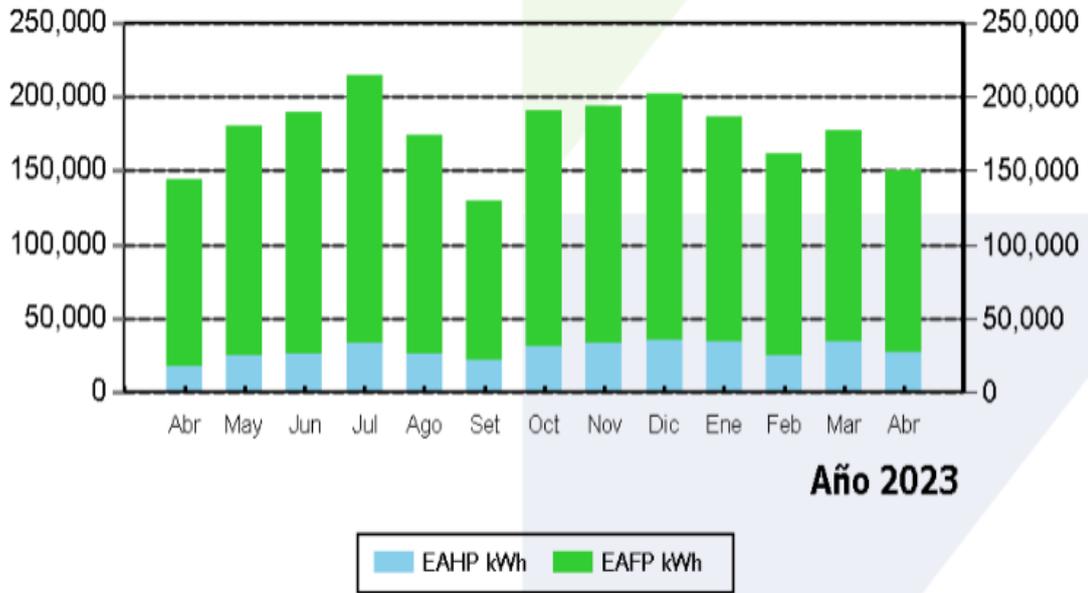
Anexos 6 Lectura de Potencias promedias



Anexos 7 Colocación de equipo de medición marca Fluke



Anexos 8 Grafico de consumo 2022 - 2023



Anexos 9 Cotización de sistema de compensación grupal y centralizado



INGENIERIA Y MONTAJE DE TABLEROS ELECTRICOS SAC

RUC: 20601135079

Dirección: Mza. D Lote. 10 Prog. Viv. Horizonte del Naranjal - SMP

Teléfonos: 01 6788839 / 989838738

Email: eleizer@intablec.com | Web: www.intablec.com

COTIZACION N° 2023 - 002473

Señores: ARQUEROS MIRANDA CARLOS EDUARDO

sábado, 20 de Mayo de 2023

Ruc: 10408389971

Dirección:

Atención:

Proyecto: TABLEROS

Nos es grato saludarlo y hacerle llegar nuestra propuesta económica según su solicitud de cotización.

Item	Cant.	U. Medida	Descripción	P. Unit.	P. Total
1	1	Und	<p>TABLERO DE CONDENSADORES "P-CR" - AUTOSOPORTADO - 440V 3Ø+T 60Hz</p> <p>Incluye, envoltorio fabricado con plancha IAF de 1.5 mm, puerta fabricado con plancha IAF de 1.5 mm, cerradura de acero hermetica, acabado con pintura electrostática en polvo RAL 7035 con termosecado y acabado texturado, punto de conexión a tierra del tablero en puerta y mandil abisagrado.</p> <p>BARRA DE TIERRA, PLACA DE MONTAJE RAL 2004, SEÑALIZACION DE RIESGO ELECTRICO, PORTAPLANO O PORTADIRECTORIO, ROTULADO DE ALUMINIO ANODIZADO DE INTERRUPTORES EN MANDIL Y NOMBRE DEL TABLERO EN PUERTA.</p> <p>01 Und. Interruptor termomagnético de 3x320-800 Amp. Regulable NS80XN 50 KA / 440VAC Schneider Electric</p> <p>03 Und. Interruptor termomagnético de 3x56-80 Amp. Regulable NSXS30N 50 KA / 440VAC Schneider Electric</p> <p>03 Und. Contactor trifásico para condensador LC1D7KM7 43kVAR - 440V Schneider Electric</p> <p>06 Und. Condensador trifásico VARPLUS CAN de 21kVAR-440V BLRCH208A250B48 de 242mm alto Schneider Electric 01 und.</p> <p>sistema de ventilación + rejilla incluye ventilador +2 rejillas +termostato</p>	S/.	21,500.00 S/.
2	1	Und	<p>TABLERO DE CONDENSADORES "P-CR-GRUPO 1" - AUTOSOPORTADO - 440V 3Ø+T 60Hz</p> <p>Incluye, envoltorio fabricado con plancha IAF de 1.5 mm, puerta fabricado con plancha IAF de 1.5 mm, cerradura de acero hermetica, acabado con pintura electrostática en polvo RAL 7035 con termosecado y acabado texturado, punto de conexión a tierra del tablero en puerta y mandil abisagrado.</p> <p>BARRA DE TIERRA, PLACA DE MONTAJE RAL 2004, SEÑALIZACION DE RIESGO ELECTRICO, PORTAPLANO O PORTADIRECTORIO, ROTULADO DE ALUMINIO ANODIZADO DE INTERRUPTORES EN MANDIL Y NOMBRE DEL TABLERO EN PUERTA.</p> <p>01 Und. Interruptor termomagnético de 3x320-800 Amp. Regulable NS80XN 50 KA / 440VAC Schneider Electric</p> <p>03 Und. Interruptor termomagnético de 3x56-80 Amp. Regulable NSXS30N 50 KA / 440VAC Schneider Electric</p> <p>03 Und. Contactor trifásico para condensador LC1D7KM7 43kVAR - 440V Schneider Electric</p> <p>03 Und. Condensador trifásico VARPLUS CAN de 21kVAR-440V BLRCH208A250B48 de 242mm alto Schneider Electric 01 und.</p> <p>sistema de ventilación + rejilla incluye ventilador +2 rejillas +termostato</p>	S/.	20,850.00 S/.

Anexos 10 Fichas técnicas de llave general de sistema de compensación

Hoja de datos del producto Características

LV432893
Int Aut.Nsx630N 3X630A 50Ka Micr. 2.3 3P



Principal

Distancia	Compacto
Nombre del producto	Compact NSX
Rango de producto	NSX400...630
Modelo de dispositivo	Compact NSX630N
Tipo de producto o componente	Disyuntor
Aplicación del dispositivo	Distribución
Número de polos	3P
Descripción polos protegidos	3t
Corriente nominal	630 A a 40 °C
Tensión asignada de empleo	690 V CA 50/60 Hz
Tipo de red	CA
Frecuencia asignada de empleo	50/60 Hz
Idoneidad para el seccionamiento	Sí conforme a EN 60947-2 Sí conforme a IEC 60947-2
Categoría de empleo	A
[Icu] rated ultimate short-circuit breaking capacity	86 kA a 240 V CA 50/60 Hz conforme a UL 508 22 kA Icu a 625 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 86 kA Icu a 220/240 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 10 kA Icu a 660/690 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 30 kA Icu a 600 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 20 kA a 600 V CA 50/60 Hz conforme a UL 508 60 kA a 480 V CA 50/60 Hz conforme a UL 508 60 kA Icu a 380/415 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 42 kA Icu a 440 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2
Performance level	N 60 kA 415 V CA
Unidad de control	Micrologic 2.3
Tipo de unidad de control	Electrónico
Funciones de protección de unidad de disparo	LSol
Tipo de control	Palanca de conmutación
Circuit breaker mounting mode	Fijo

Todas las condiciones operativas, características técnicas de los productos y sus parámetros, así como los datos de seguridad, deben leerse en el manual de instrucciones de cada producto. Para obtener más información, consulte el sitio web de Schneider Electric o contacte con el departamento de atención al cliente.

Anexos 11 Fichas técnicas de llave secundaria de sistema de compensación

Ficha técnica del producto Características

LV429772
Interruptor Automático ComPact NSX100F
MicroLogic 2.2 40A 3P3D



Principal

Gama	Compact
Nombre del producto	Compact NSX
Gama de producto	ComPact NSX100...250
Nombre corto del dispositivo	NSX100F
Tipo de producto o componente	Interruptor automático
Aplicación del dispositivo	Distribución
Number of poles	3P
Descripción de polos protegidos	3t
Corriente nominal (In)	40 A at 40 °C
[Ue] tensión asignada de empleo	690 V AC 50/60 Hz
Tipo de red	CA
Frecuencia de red	50/60 Hz
Apto para seccionamiento	Yes conforming to EN/IEC 60947-2
Categoría de empleo	Categoría A
[Icu] rated ultimate short-circuit breaking capacity	10 kA en 600 V CA 50/60 Hz acorde a UL 508 25 kA en 480 V CA 50/60 Hz acorde a UL 508 85 kA en 240 V CA 50/60 Hz acorde a UL 508 22 kA Icu en 625 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60947-2 25 kA Icu at 600 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 35 kA Icu at 440 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 35 kA Icu at 380/415 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 8 kA Icu at 660/690 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 85 kA Icu at 220/240 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2
Performance level	F 36 kA 415 V CA
Unidad de control	Micrologic 2.2
Tecnología de unidad de disparo	Electrónico
Funciones de protección de unidad de control	LSol
Tipo de control	Maneta

Anexos 12 Fichas técnicas de Contactor de sistema de compensación

Product data sheet Characteristics

LC1DPK12B7
TeSys D - Contactor LC1-DP 3P - 400...440V
33,3 kVAR - bobina 24 V CA



Estado comercial

Aviso de fin de oferta : NOV 01. 2020

⚠ Aviso de fin de oferta

Principal

Gama	TeSys
Nombre del producto	TeSys LE
Tipo de producto o componente	TeSys DP
Nombre abreviado del equipo	Contactor para condensador
Aplicación del contactor	LC1DPK
Número de polos	Corrección factor potencia
Composición de los polos de contacto	3P
[Un] Tensión nominal de empleo	Circuito de alimentación, estado 1 $U_n = 690 V AC 50/60 Hz$
Potencia reactiva	20 Kvar en 220...240 V AC 50/60 Hz en $-55^{\circ}C$ 33,3 Kvar en 400...440 V AC 50/60 Hz en $-55^{\circ}C$ 48 Kvar en 550...690 V AC 50/60 Hz en $-55^{\circ}C$ CA en 50/60 Hz
Tipo de circuito de control	CA en 50/60 Hz
[Uc] tensión de circuito de control	24 V AC 50/60 Hz
Composición de los contactos auxiliares	1 a + 2 NC
Soporte de montaje	Placa Carri
Normas	IEC 60831 NF C 54-100 IEC 60070 VDE 0660
Certificaciones de producto	CSA UL
Conexiones - terminales	Circuito de alimentación, estado 1 conector 1 2,5 mm ² - rigidez del cable flexible-con terminal Circuito de alimentación, estado 1 conector 1 4 mm ² - rigidez del cable sólido-con terminal Circuito de alimentación, estado 1 conector 2 1,5 mm ² - rigidez del cable flexible-con terminal Circuito de alimentación, estado 1 conector 2 4 mm ² - rigidez del cable sólido-con terminal
Par de apriete	Circuito de alimentación, estado 1 5 N.m - en conector

Complementario

Tipo de contactos auxiliares	Tipo unido mecánicamente 1 NA + 1 NC acorde a IEC 60947-5-1 tipo contacto espejo 1 NC acorde a IEC 60947-4-1
------------------------------	---

Entorno

Grado de protección IP	410 acorde a IEC 60629 410 acorde a VDE 0106
Tratamiento de protección	TH acorde a IEC 60068-2-30
Temperatura ambiente de funcionamiento	-5...60 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-50...90 °C
Altitud máxima de funcionamiento	0...3000 m
Altura	180 mm
Ancho	76 mm
Profundidad	160 mm
Peso del producto	1,3 Kg

The information provided in this document contains general descriptions and technical characteristics of the products of the Schneider Electric Group. It is intended to provide a general overview of the products and is not intended to be used for specific applications. The information is not intended to be used for specific applications.

Anexos 13 Ficha técnica de condensador de 20 KVAR

Ficha técnica del producto

Especificaciones



**VarPlus Can HDuty Capacitor -
17/20.4 kvar - 480 V - 50/60Hz**

BLRCH170A204B48

Principal

Gama de producto	VarPlus Can
Tipo de producto o componente	Sensor de gas pesado
Frecuencia de red	60/60 Hz
Nombre de serie	HDu5f
Contenido de armónicos de la red	$\leq 20\%$
Electrical parameters	17 kvar 480 V 60 Hz 20.4 kvar 480 V 50 Hz
Tensión máxima admisible	1,1 x Un - tipo de cable: 8 horas en 24 horas)
Continuous overcurrent capacity	1,6 x In
Tensión nominal	480 V CA 50/60 Hz

Complementario

Pérdidas dieléctricas	$\leq 0,2 W/kvar$
Pérdidas de potencia	$\leq 0,6 W/kVAr$
Tolerancia sobre o valor de la capacidad	- 5 % a 10 %
Test de tensión	2,15 Un CA entre terminales para 10 s $\leq 560 V - 3 kV CA$ entre o terminal f o contenedor para 10 s $\geq 560 V - 6 kV CA$ entre o terminal f o contenedor para 10 s
Corriente de inserción	260 x In
Maximum switching operation per year	7000
Vida útil en horas	130000 H
Material dieléctrico	Film polipropileno metalizado con una aleación de Zn/Al, resistencia f perfil especial, borde especial (wave cut)
Material impregnado	Sin PCB resina seca PUR Biodegradable
Tipo de instalación	Instalación interior
Conexiones - terminales	Terminal tipo Clampite
Tipo de montaje	Vertical / horizontal
Diámetro	90 mm
Altura	242 mm

Anexos 14 Ficha técnica de condensador de 40 KVAR

Ficha técnica del producto

Especificaciones



VarPlus Can HDuty Capacitor -
33.3/40 kvar - 400 V - 50/60Hz

BLRCH333A400B40

Principal

Gama de producto	VarPlus Can
Tipo de producto o componente	Sensor de gas pesado
Frecuencia de red	50/60 Hz
Nombre de serie	HDuty
Contenido de armónicos de la red	-- 20 %
Electrical parameters	30.1 kvar 380 V 50 Hz 36.1 kvar 380 V 60 Hz 33.3 kvar 400 V 50 Hz 40 kvar 400 V 60 Hz 36.8 kvar 415 V 50 Hz 43.1 kvar 415 V 60 Hz
Tensión máxima admisible	1.1 x Un - tipo de cable: 8 horas en 24 horas)
Continuous overcurrent capacity	1.8 x In
Tensión nominal	380...415 V CA 50/60 Hz
Complementario	
Pérdidas dieléctricas	- 0.2 W/kvar
Pérdidas de potencia	- 0.6 W/kVAr
Tolerancia sobre o valor de la capacidad	- 5 % a 10 %
Test de tensión	2.16 Un CA entre terminales para 10 s -- 660 V - 3 kV CA entre o terminal f o contenedor para 10 s -- 660 V - 6 kV CA entre o terminal f o contenedor para 10 s
Corriente de inserción	250 x In
Maximum switching operation per year	7000
Vida útil en horas	130000 H
Material dieléctrico	Film polipropileno metalizado con una aleación de Zn/Al, resistencia f perfil especial, borde especial (wave cut)
Material impregnado	Sin PCB resina seca PUR Biodegradable
Tipo de instalación	Instalación interior
Conexiones - terminales	Terminal tipo Clampite
Tipo de montaje	Vertical / horizontal

Anexos 15 Ficha técnica de regulador de energía Smart Computer



Reguladores automáticos de energía reactiva para maniobra estática

Página 1 de 5



computer SMART III F12-12Vdc

computer SMART III F12-12Vdc, Reguladores automáticos de energía reactiva para maniobra estática

Código: R13964.

- > Relé de alarma: SI
- > Comunicaciones: RS-485
- > Rango medida (V): 100...520
- > I_{bn} (A): si
- > Alimentación Vca: 100...520 Vca
- > N° Pasos: 12
- > Corriente de entrada: .../5A | .../1A
- > Unidad maniobra: EMB-2PH

Descripción

La medida con tres transformadores de corriente asegura una lectura análoga a la del contador de compañía. El regulador de energía reactiva computer SMART III Fast es el único del mercado que añade a la tradicional medida con un solo transformador de corriente, la posibilidad de medir con 3, incorporando, además, las funciones de un completo analizador de redes, y el control de corrientes residuales de fuga. El computer SMART III Fast es un regulador que asegura un excelente mantenimiento preventivo, mediante la programación de sus alarmas y las opciones de test de estado de los condensadores, ofreciendo máxima supervisión y seguridad en su equipo de compensación.

Aplicación

La conexión con 1 ó 3 transformadores que permite el computer SMART III Fast lo convierten en el regulador ideal en cualquier instalación, siendo posible:

- ◊ Cambiar de 1 a 3 transformadores en caso de:
 - ◊ Cambios en la penalización de reactiva
 - ◊ Cambios en los hábitos de consumo
 - ◊ Importantes desequilibrios en el sistema
- ◊ Intercambiar el regulador en cualquier batería
- ◊ Ideal en instalaciones con hasta 4 cos φ objetivos, para adaptarse a cualquier necesidad de compensación (diferentes franjas horarias).
- ◊ Permite su uso en equipos de compensación de Media Tensión.

Anexos 16 Ficha técnica de Tablero autoportado

TIBOX

ACSA

FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO Características



Tablero autoportado TIBOX

Características:	Gabinete y puerta, pintado con pintura epoxica con acabado texturizado.	
Color:	RAL-7035	
Grado de protección:	IP-65	
Resistencia al impacto:	IK10	
El tablero incluye:	- Placa de montaje. - Puerta lisa con cerradura, el panel negro liso.	
Alto x Ancho x Prof / Código :	1400 x 600 x 400	/ 25763
	1800 x 600 x 600	/ 25764
	1800 x 600 x 600	/ 19174
	1800 x 800 x 400	/ 19177
	2000 x 600 x 600	/ 19175
	2000 x 800 x 600	/ 19176
	2200 x 800 x 600	/ 26010



CÓDIGO	DIMENSIONES		
	ALTO	ANCHO	PROF.
25763	1400	600	400
25764	1800	600	600
19174	1800	600	600
19177	1800	800	400
19175	2000	600	600
19176	2000	800	600
26010	2200	800	600

CERTIFICACIONES:



www.acsa.com.pe
[Comunicate Acsa](#)
[Acsa Corp](#)
info@acsa.com.pe

Anexos 17 Ficha técnica de ventilador

finder

SWITCH TO THE FUTURE

Ventiladores con filtro (24...630)m³/h y filtros de salida

- Secaderos
- Máquinas textiles
- Máquinas de papel
- Máquinas de cerámica
- Máquinas de procesar madera
- Cuadros de mando, distribución
- Cuadros de control
- Ventilación forzada



SERIE
7F

Anexos 18 Autorización de información de empresa industrial

CARGO

AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo Víctor Alvarado Anaya, identificado con DNI 10272612 en mi calidad de Gerente de Operaciones de La Empresa Ecopacking Cartones S.A. con R.U.C N° 20603749465 ubicada en Km. 497 de la Panamericana Norte, Distrito de Chao, Provincia de Virú, Dpto. de La Libertad.

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor: Carlos Eduardo Arqueros Miranda, Identificado(s) con DNI N° 40838997, de la Carrera profesional de ingeniería mecánica eléctrica, para que utilice la siguiente información de la empresa:

Recolección de datos sobre el uso de los circuitos del área de equipos eléctricos.

Uso de equipo de análisis de redes los valores promedios actuales del factor de potencia tales como: potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente.

Estudio energético al sistema eléctrico en baja tensión 440 V del área de equipos de la planta industrial.

Diagramas unifilares

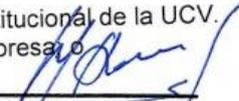
Reportes fotográficos

con la finalidad de que pueda desarrollar su Informe estadístico, Trabajo de Investigación, Tesis para optar el Título Profesional.

Publique los resultados de la investigación en el repositorio institucional de la UCV.

Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa.

Mencionar el nombre de la empresa.


Ing. Víctor Alvarado Anaya

GERENTE DE OPERACIONES

ECOPACKING CARTONES S.A.

Firma y sello del Representante Legal

DNI:

El Estudiante declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Estudiante será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.


Firma del Estudiante

Carlos Eduardo Arqueros Miranda

DNI: 40838997