



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Compensación reactiva en baja tensión y factor de potencia eléctrica de
una curtiembre del Parque Industrial de Trujillo.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Reyes Zavaleta, Manuel Alejandro (ORCID:0000-0001-6431-3469)
Vejarano Benites, Luis Alberto (ORCID:0000-0002-9760-3697)

ASESOR:

Dr. Lujan Lopez, Jorge Eduardo (ORCID:0000-0003-1208-1242)
Mg. Castro Anticona, Walter Miguel (ORCID:0000-0002-8127-4040)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

El presente estudio está dedicado a todos aquellos que han contribuido en la realización de este estudio para obtener nuestro título profesional.

A nuestros padres, esposas e hijos por el apoyo moral e incondicional y por la confianza que depositaron en nosotros en todo momento durante nuestra formación profesional, ustedes son nuestra fortaleza, nuestra mayor alegría y nuestra vida entera.

En memoria de mi abuelita Genoveva, a mis padres, y familiares.

Agradecimiento

A DIOS por iluminarnos y guiarnos en el esfuerzo de la perseverancia de todos los días en el estudio por brindarnos la salud y las fuerzas para salir adelante; nuestros más sinceros agradecimientos a la Universidad César Vallejo por darnos la oportunidad de continuar con nuestros estudios superiores y a todos aquellos que han contribuido en la realización de este estudio para obtener nuestro título profesional.

Queremos extender nuestro agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en especial al Mg. Castro Anticona Walter Miguel y Dr. Jorge Eduardo Lujan López, quien en todo momento nos ha aportado con sus conocimientos durante el proceso de realización de nuestra tesis.

Índice de contenidos

| | |
|---|-------------|
| Carátula | i |
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice de contenidos | iv |
| Índice de tablas | v |
| Índice de gráficos y figuras | vi |
| Resumen | vii |
| Abstract | viii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 4 |
| III. METODOLOGÍA | 8 |
| III.1. Tipo y diseño de investigación | 8 |
| III.2. Variables y operacionalización | 8 |
| III.3. Población, muestra | 9 |
| III.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 9 |
| III.5. Procedimientos | 10 |
| III.6. Método de análisis de datos | 10 |
| III.7. Aspectos éticos | 10 |
| IV. RESULTADOS | 11 |
| V. DISCUSIÓN | 40 |
| VI. CONCLUSIONES | 42 |
| VII. RECOMENDACIONES | 44 |
| REFERENCIAS | 45 |
| ANEXOS | 1 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Energía activa, reactiva y factor de potencia sin compensación..... | 13 |
| Tabla 2: Exceso de energía reactiva que fue facturado..... | 13 |
| Tabla 3: Registros de medidas Fuente: Mediciones en la curtiembre. | 14 |
| Tabla 4: Resumen | 15 |
| Tabla 5: Determinación del nuevo $\cos \varphi$ para no pagar. | 16 |
| Tabla 6: Intensidad de corriente en función del factor de potencia..... | 19 |
| Tabla 7: Eficiencia del transformador de distribución en función del aumento del factor de potencia por compensación en Curtiembre. | 21 |
| Tabla 8: Resistencia óhmica, caída de tensión y pérdida de potencia en cable de distribución Planta de Curtiembre, con y sin compensación | 23 |
| Tabla 9: Energía activa, reactiva y el factor de potencia sin compensación. | 26 |
| Tabla 10: Exceso de energía reactiva medida..... | 26 |
| Tabla 11: Registros en campo..... | 27 |
| Tabla 12: Datos obtenidos..... | 28 |
| Tabla 13: Resumen | 29 |
| Tabla 14: Energía activa, reactiva y el factor de potencia sin compensación. | 30 |
| Tabla 15: Resultado del exceso a facturación registrada en energía reactiva..... | 30 |
| Tabla 16: Registros en campo..... | 31 |
| Tabla 17: Datos obtenidos..... | 32 |
| Tabla 18: Dimensionamiento de banco de capacitores en compensación grupal. ... | 35 |
| Tabla 19: Cuadro comparativo de compensación reactiva centralizada y grupal | 37 |
| Tabla 20: Relación de materiales para compensación centralizada. | 38 |

Índice de gráficos y figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Diagrama unifilar actual, sin compensación del factor de potencia | 12 |
| Figura 2: Diagrama triangulo de potencia, sin compensación. Fuente Elaboración propia | 15 |
| Figura 3: variación del factor de potencia en función de la potencia del banco de condensadores en Curtiembre. Elaboración propia. | 17 |
| Figura 4: Reducción de la Potencia aparente con el aumento del factor de potencia en curtiembre | 17 |
| Figura 5: Diagrama triangulo de potencia | 18 |
| Figura 6: reducción de S y Q al aumentar el Cos φ en Curtiembre | 18 |
| Figura 7: Reducción de Intensidad de corriente con el aumento del cos φ | 19 |
| Figura 8: Diagrama unifilar del sistema eléctrico de curtiembre con compensación centralizada del factor de potencia. Elaboración propia. | 20 |
| Figura 9: Aumento de eficiencia de transformador por aumento de Factor de Potencia en Curtiembre..... | 22 |
| Figura 10: Reducción de potencia activa absorbida por transformador de distribución, por aumento de eficiencia | 22 |
| Figura 11: reducción de Intensidad de corriente en cable de distribución por aumento del factor de potencia en Planta de Curtiembre | 24 |
| Figura 12: Reducción de caída de tensión en cable de distribución (salida de transformador) por aumento de Cos φ en Planta de Curtiembre..... | 24 |
| Figura 13: Reducción de Pérdida de potencia en cable de distribución (salida de transformador) por aumento de Cos φ en Planta de Curtiembre..... | 25 |
| Figura 14: Diagrama fasorial sin compensación. Fuente Elaboración propia..... | 28 |
| Figura 15: Diagrama triángulo de potencia | 29 |
| Figura 16: Diagrama triángulo de potencia sin compensación. Fuente Elaboración propia. | 32 |
| Figura 17: Diagrama triángulo de potencia. | 33 |
| Figura 18: Diagrama unifilar de compensación grupal del factor de potencia en Planta de Curtiembre | 36 |

Resumen

Se presenta los resultados de la investigación aplicada; que busca establecer una metodología para, en base a un análisis comparativo entre la variante centralizada y grupal de compensación del factor de potencia, dimensionar y seleccionar los componentes de los sistemas de compensación del factor de potencia de las cargas de la Planta de Curtiembre, en Trujillo, y eliminar el pago por consumo de energía reactiva inductiva, > 14,000 soles/ año.

Se determinó la potencia activa promedio y las cargas por tableros de operación, que corresponden al sistema eléctrico de la curtiembre. También se determinó la potencia activa actual, de 92.92 kw, la reactiva, de 69.68 kvar, la aparente actual, de 116.13 kVA; el factor de potencia actual, es de 0.8.

Se pudo definir el tipo de compensación reactiva a ser aplicada, resultando que lo más conveniente es aplicar compensación reactiva centralizada para obtener $\cos\phi = 0.98$, con lo cual no se pagará energía reactiva. Se necesita un controlador de $\cos\phi$, con un controlador electrónico con salidas de relays, empleando 5 capacitores trifásicos de 380 V y $Q_c = 50$ Kvar cada uno.

Para una adecuada operación de los capacitores de compensación, se dimensionó y seleccionó los dispositivos eléctricos de protección, interruptores automática de caja moldeada, conformes a la norma IEC EN 60947-2, con relé de protección termomagnético.

El análisis económico indica que se debe invertir poco más de 16,648.42 soles, siendo el beneficio neto de 1,154 soles/mes, lo que daría un tiempo de retorno de la inversión de 14 meses.

Palabras clave: Factor de potencia, potencia reactiva inductiva, banco de condensadores

Abstract

The results of the applied research are presented; which seeks to establish a methodology for, based on a comparative analysis between the centralized and group variant of power factor compensation, dimensioning and selecting the components of the power factor compensation systems of the loads of the Tannery Plant, in Trujillo, and eliminate the payment for inductive reactive energy consumption, > 14,000 soles/year.

The average active power and the loads by operation boards, which correspond to the Tannery's electrical system, were determined. The current active power of 92.92 kW, the reactive power of 69.68 kvar, the current apparent power of 116.13 KVA was also determined; the current power factor is 0.8.

It was possible to define the type of reactive compensation to be applied, resulting in the most convenient is to apply centralized reactive compensation to obtain $\cos\varphi = 0.98$, with which no reactive energy will be paid. A $\cos\varphi$ controller is needed, with an electronic controller with relay outputs, using 5 three-phase capacitors of 380 V and $Q_c = 50$ Kvar each.

For an adequate operation of the compensation capacitors, the electrical protection devices, automatic molded case switches, in accordance with the IEC EN 60947-2 standard, with thermomagnetic protection relay, were sized and selected.

The economic analysis indicates that a little more than 16,648.42 soles should be invested, with a net benefit of 1,154 soles/month, which would give a return on investment of 14 months.

Keywords: Power factor, inductive reactive power, power bank capacitors

I. INTRODUCCIÓN

El suministro de energía eléctrica permite la importancia más el desarrollo tecnológico para todas las edificaciones industriales, comerciales y domicilios para los seres humanos en cualquier lugar del planeta, es por ello que, “Los sistemas del proceso de la potencia son responsables de transportar energía eléctrica desde diferentes circuitos de la red a los consumidores o usuarios finales garantizando calidad y confiabilidad en el servicio prestado”. (Jaramillo, y otros, 2020).

Mejorar el consumo de la energía eléctrica para disminuir el desgaste y reducir los gastos es un gran desafío en varias empresas industriales. Esto es basado en los procesos variables e independiente relacionado con la energía Los resultados mostraron ahorros potenciales de electricidad de 122.584 kWh y ahorros de costos de US\$ 24.273 anuales, cuando la instalación se opera con parámetros óptimos de factor de potencia de 0,95, demanda máxima de 250 kVA y 24.000 kWh consumo de la potencia activa (Opokua, y otros, 2022)

En el contexto internacional la compensación del factor de potencia se emplea para aumentar el factor de potencia cuando el factor de potencia disminuye por descenso de un proceso expuesto de nivel. La energía eléctrica se emplea en varias acciones diarias. Se presentan incremento de utilización de cargas inductivas en atención industrias pequeñas, y grandes.

Las cargas inductivas causan decrecimiento del factor de potencia, y es una de los fundamentales motivos de disminuir del factor de potencia en utilización de las industrias. Por tal motivo prioriza el incremento el factor de potencia por reducir su valor. Se provee mejor alternativa al problema. Oportuno al bajo factor de potencia, esta con caída de tensión en las líneas del suministro, y derivación. Al mejorar el factor de potencia del sistema eléctrico, se puede mejorar la eficiencia (Dnyanada, y otros, 2019)

En el contexto nacional, la auditoría energética permite inspeccionar diagnosticar el factor de potencia, las instalaciones eléctricas del sistema eléctrico, los equipos eléctricos, motores eléctricos, y la evaluación de los consumos de la energía eléctrica, para economizar ahorro para la empresa. Cuenta con suministro de media con tensión de 10 kV, con potencia contratada de 800 kW, con tarifa MT3, calificación en fuera de punta, para utilizar en el sistema eléctrico de bombeo de agua, y planta de tratamiento de agua. Evaluación de tarifas para mejorar en los pagos de las facturaciones. Estudio de los valores o parámetros del rango de acuerdo a la normativa. (Lluen Mejia, 2019)

En el contexto nacional, Diseño de un plan de eficiencia energética en una empresa industrial para minimizar costos en la facturación de los recibos de luz. Control en las en los horarios de potencia activa en horas punta y hora fuera de punta teniendo en cuenta que el factor de potencia en parámetro bajo. En las instalaciones eléctricas del transformador con deficiencias, está con un 90% y la diferencia por efecto de Joule. Los motores eléctricos con factor de potencia entre 0.8 a 0.90, que se tiene que contar con su banco de condensadores. Evaluación del estudio económico. (Farías, y otros, 2020)

En el contexto local, parcialmente las empresas no consideran ningún estudio de alternativas para mejorar, la no implementación genera gastos económicos, deficiencias; los resultados negativos es no dar importancia a la situación reactiva significa pérdidas económicas. (Fuente propia)

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente en la problemática nos planteamos la siguiente pregunta, ¿Cuál es la variante de compensación reactiva más adecuada que nos proporcionará la mejor opción, para aplicarse en una curtiembre del Parque industrial de Trujillo?

Se considera 3 elementos importantes: En el aspecto recursos económicos propios, para mejorar a través del estudio de alternativas en optimizar la mejora de la compensación reactiva. En el aspecto de la tecnología permite mejora el estudio de alternativas en la compensación reactiva en los sistemas eléctricos, y en aspecto operatividad inspeccionar los diferentes equipos eléctricos que se muestren la compensación reactiva en operatividad.

Tenemos cómo hipótesis según antecedentes la variante de compensación reactiva más adecuada es la centralizada, la cual posibilitará mejorar la compensación reactiva en el sistema eléctrico de una de una curtiembre del Parque Industrial de Trujillo.

El objetivo general determinar cuál es la variante compensación reactiva más adecuada para incrementar el factor de potencia del sistema eléctrico de una curtiembre del Parque Industrial de Trujillo.

Los objetivos específicos se consideró los siguientes elementos: (1) Elaborar el estudio técnico de compensación reactiva centralizada del sistema eléctrico de una curtiembre del Parque Industrial de Trujillo, (2) Elaborar el estudio técnico de compensación reactiva grupal del sistema eléctrico de una curtiembre del Parque Industrial de Trujillo, (3) Elaborar el estudio económico de la compensación reactiva centralizada y grupal del sistema eléctrico en una curtiembre del Parque Industrial de Trujillo.

II. MARCO TEÓRICO

Se consideró los antecedentes de la compensación en la potencia reactiva en justificar en la confiabilidad y disponibilidad para así adquirir el estudio comparativo centralizado y en forma grupal la compensación a través de banco de condensadores lograr la mejora de minimizar el consumo de la energía reactiva aumentando el factor de potencia de 0.80 a 0.98, y así sería el porcentaje de la potencia reactiva.

Los autores de este artículo, exponen un problema de compensación de potencia reactiva, a través del estudio desde un modelo de gestión de mantenimiento adaptado con una gestión de activos. Los indicadores técnicos de mantenimiento, integridad y gestión económica vinculados con parámetros eléctricos como son; potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, pico de corriente de demanda, pérdidas de energía y caída de tensión, estudiar impactos de confiabilidad, mantenimiento, gastos de consumo de energía y penalizaciones. (CETINA-ABREU, y otros, 2021).

Los autores en su artículo proponen un compensador síncrono estático de distribución incorporado con un transformador de conexión Y-Y para distribución de las corrientes de los devanados y la restricción de la capacidad de compensación se analizan en detalle para establecer la clase de compensación accesible. Para aumentar el rendimiento de la respuesta activa la estrategia de control de compensación anticipada. Evitar la sobrecorriente de los devanados del transformador, también se muestra un método de cálculo de la corriente de relación reactiva. (Zhen , y otros, 2020).

Se consideran también artículo en componentes compensadores de potencia reactiva para la verificación de voltaje en sistemas eléctricos híbridos aislados deben contribuir de manera óptima analizando estos detalles y económicos simultáneamente. (NITIN, 2020).

En otro artículo Revista internacional de investigación y tecnología de ingeniería (IJERT), mencionan las cargas de los motores eléctricos produce carga inductiva. Incrementando el funcionamiento las maquinas eléctricas. Potencia reactiva inductiva, el factor de potencia disminuye su valor. La concesionaria de electricidad sólo permite hasta el rango limitado en energía reactiva, pasado ese porcentaje le factura los excesos reactancias inductivas, y se controla con banco de condensadores, de forma centralizada, grupal e individual, el mejoramiento del factor de potencia, y así disminuir las corrientes, y se mejore la caída de tensión, permitiendo mejor calidad del producto. (GHAZIABAD, y otros, 2020).

En el sistema nacional, se obtuvo la energía reactiva con porcentaje elevado, y sobre dimensionado del parámetro fijado que no cumple con la norma en redes de media tensión, de manera para su mejora el factor de potencia debe de incrementar, para bajar la energía reactiva, minimizando las corrientes, y mejoren los parámetros de las tensiones, y así evitando las caídas de tensión y el efecto de joule. (GIL, 2021).

En la siguiente investigación, plantean el objetivo de auditoria energética, rediseño de una subestación eléctrica trifásica, para mejorar el factor de potencia, y la eficiencia en su sistema de potencia para tender con mejor calidad de producto, con un factor de potencia programable que permita minimizar la energía reactiva, para que económicamente sea rentable para la empresa. (GONZALES , 2020).

Dentro de las teorías también se consideró conceptos y fórmulas que involucran con el desarrollo de la investigación que comprenden de la siguiente manera:

Factor de potencia: Es la relación de la potencia activa y la potencia aparente

$$F_p = \frac{P(\text{kW})}{S(\text{kVA})} \quad \text{o} \quad \text{Cos } \varphi = \frac{P}{S} \quad (1)$$

(SCHNEIDER ELECTRIC, 2021 pág. 2/13)

Reducción de los recargos: Las concesionarias aplican recargos cuando excede dentro del límite establecido, con fines de mejorar el correctivo del factor de potencia. Reducción de la caídas de tensión: Realizar compensaciones con los condensadores permite minimizar la energía reactiva, derivados con circuitos eléctricos las caídas de tensión. Reducción de la sección de los conductores: Los instalar los condensadores para las compensaciones, también permite disminuir la sección o calibres de los conductores eléctricos, en porcentajes variados. Disminución de las pérdidas: También con los condensadores, permite minimizar las perdidas por el efecto de Joule, ente los conductores eléctricos y el transformador

$$\frac{P_{cu\text{final}}}{P_{cu\text{inicial}}} = \frac{\text{Cos } \varphi^2 \text{ inicial}}{\text{Cos } \varphi^2 \text{ final}} \quad (2)$$

(SCHNEIDER ELECTRIC, 2021 págs. 2/17,18)

Operación en la reactiva de un banco de filtros: Se realiza a través de tabla, y se considera la potencia activa en kW, se considera los parámetros cos φ inicial, y el cos φ deseado. Calculo valor de reactiva necesario: $Q = \frac{E_A}{T} (\text{Tg } \varphi_a \text{ actual} - \text{Tg deseado})$

(3)

T: Aumento de Tiempo de trabajo en etapas de medidas. (SCHNEIDER ELECTRIC, 2021 pág. 2/24).

La compensación de la energía reactiva, de forma centralizada: Permite a todos los equipos electricos no lineales que afectan en el sistema eléctrico, el análisis y la corrección del factor de potencia da como resultado para mejorar el funcionamiento del sistema eléctrico. Asimismo, implica inversión económica que permite al tema industrial. (CAMUI, 2020).

Naturaleza de la energía reactiva:

Los motores asíncronos son energizados con corriente alterna, requieren para su

movimiento a) Energía activa en su trabajo de funcionamiento origina el efecto de Joule, y b) Energía reactiva: Se da a través de la energía activa que fluyen a través de los campos magnéticos al interior de los motores. (SCHNEIDER ELECTRIC, 2021 pág. 2/16).

Tipos de compensación de la energía reactiva:

Los condensadores pueden estar en tres posiciones distintas:

Compensación global o centralizada: Ventajas a) Permite no pagar el exceso de la energía reactiva, b) Acercamiento real a la potencia activa kW, cercano a la potencia aparente kVA, c) Potencia utilizable en kW. Observaciones: Las corrientes reactivas, están desde el tablero general hasta los receptores es decir en todo el sistema eléctrico interior del local, y las pérdidas de joule en los cables eléctricos. (SCHNEIDER ELECTRIC, 2021 pág. 2/26).

Compensación parcial, ventajas: a) Ventajas: a) Permite no pagar el exceso de la energía reactiva, b) Mejorar en forma parcial la corriente reactiva, no se derivan entre un grupo y el circuito principal, c) Potencia utilizable en kW, observaciones: Las corrientes reactivas, están desde el tablero general hasta los receptores grupo 1, b) Los cables eléctricos las pérdidas y el efecto joule disminuyen (kWh). (SCHNEIDER ELECTRIC, 2021 pág. 2/26).

Compensación individual, ventajas: a) Permite no pagar el exceso de la energía reactiva, b) Mejorar en forma individual la corriente reactiva, se incrementa en el mismo lugar de consumo, c) Potencia accesible en (KWh). Observaciones a) La corriente reactiva, aislado de los cables eléctricos, b) Las perdidas por efecto Joule en los cables eléctricos se aíslan en su totalidad (kWh). (SCHNEIDER ELECTRIC, 2021 pág. 2/27).

Determinaremos el $\text{Cos } \varphi$, a través de los recibos de la facturación eléctrica mediante la siguiente fórmula: $\text{Cos } \varphi = \frac{\text{kWh}}{\sqrt{\text{kWh}^2 + \text{kVArh}^2}}$, (SHNEIDER, 2019 pág.

14).

(4)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Investigación tipo aplicada, porque utiliza teoría factor de potencia, compensaciones reactivas para poder buscar la mejor alternativa de la compensación reactiva.

Diseño de investigación

Es descriptivo comparativo no experimental que permite comparar entre los métodos, la forma de compensación del factor de potencia centralizada o global, con la forma de compensación del factor de potencia de forma grupal

3.2. Variables y operacionalización

Variable 1: independiente compensación reactiva

Variable 2: dependiente factor de potencia

Tabla 1: Matriz de operacionalización de variables: Independiente compensación reactiva

| Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores | Escala de medición |
|---|---|--------------------|---|--------------------|
| Es un proceso por el cual se busca reducir el consumo de energía eléctrica, mediante la instalación de banco condensadores. De esta manera los beneficios que se obtienen son tanto técnicos como económicos. (CAMUI, 2020) | Operación en la reactiva de un banco de filtros: Se realiza a través de tabla, y se considera la potencia activa en kW, se considera los parámetros $\cos \varphi$ inicial, y el $\cos \varphi$ deseado. Calculo valor de reactiva necesario. | Forma centralizada | Potencia activa Energía activa Energía reactiva | De Razón |
| | | Forma grupal | Potencia activa Energía activa Energía reactiva | De Razón |

Fuente: Variable X

Tabla 2: Matriz de operacionalización de variables: Dependiente factor de potencia

| Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores | Escala de medición |
|--|--|---|--|---------------------------|
| La conexión de cargas inductivas en una instalación provoca el desfase entre la onda de intensidad y la tensión. (SHNEIDER, 2019 pág. 06/01). | El ángulo ϕ mide este desfase e indica la relación entre la intensidad reactiva (inductiva) de una instalación y la intensidad activa de la misma. Esta misma relación se establece entre las potencias o energías activa y reactiva. | Registros de medidas Analizador de redes Banco de condensadores | Potencia activa Potencia aparente Energía activa Energía reactiva | De Razón De Razón |

Fuente: Variable Y

3.3. Población, muestra

Población:

Corresponde a la población; un tablero general, y dos sub tableros eléctrico con circuitos independientes que permitió la toma de datos y mediciones eléctricas con métodos independiente.

Muestra:

Corresponde a un tablero general, y dos sub tableros eléctrico independientes que permitió la toma de datos y mediciones eléctricas con métodos independiente

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Anexo, análisis documental, recibos de consumo de energía eléctrica

Instrumentos de recolección de datos

Fichas, registros en campo

3.5. Procedimientos

Paso1: Planteamiento del problema en relación cómo realizar las comparaciones de estudio para las compensaciones reactivas para la Curtiembre. Se realizará una inspección técnica, se verificará la radiografía del momento, y los funcionamientos de las máquinas eléctricas en los procesos del cuero. Paso 2: Evaluación económica, y técnica que también corresponde al mantenimiento de los motores eléctricos e instalaciones eléctricas, que permite el estudio de alternativas para poder compensar la reactiva. Paso 3: Diagnóstico del sistema eléctrico, y maquinas eléctricas en recopilación de datos que permitan mejor el análisis para el estudio para compensar la reactiva, con la mejor alternativa, se obtendrán mejor eficiencia del factor de potencia. Paso 4: Con las remodelaciones en el sistema eléctrico, y planificación de la maquinas eléctricas, para mejorar las mediciones de las reactivas en grupo general, en grupo parcial, y se evite pérdidas de energía, efecto de joule, perdidas en las facturaciones, y pérdidas técnicas. Paso 5; Proceso de ejecución, y elección de la mejor alternativa para compensar la reactiva que se realizará las comparaciones del estudio, y así se obtendrá mejor resultado.

3.6. Método de análisis de datos

Sé aplicó fórmulas, las ecuaciones del factor de potencia, potencia activa, energía reactiva, y procesadas en hoja de cálculo de Excel

3.7. Aspectos éticos

Este estudio consideró los aspectos éticos, como buenas personas, la disciplina, la moral, la sinceridad de la información adquirida durante el periodo de la investigación del estudio de alternativas para compensar la reactiva. Los principios éticos permiten a la persona desarrollarse, y cumplir el desarrollo de los procesos de la investigación que permite cumplir los objetivos trazados, para obtener los resultados positivos durante el estudio

IV. RESULTADOS

Habiéndose aplicado los instrumentos, estos aceptaron el efecto fundamental de los valores en la implementación de procesos de los datos a través de la hoja de cálculo de Excel.

La planta eléctrica de la curtiembre es alimentada con tensión trifásica de un transformador de distribución, aéreo, que suministra energía con los siguientes parámetros:

- Tensión $U_{2n} = 380 \text{ V}$
- Frecuencia $F = 60 \text{ Hz}$
- Factor de potencia: 0.86
- Potencia nominal: 250 KVA
- Potencia máxima activa: 215 kw
- Potencia máxima reactiva absorbida de la red: 161.25 Kvar
- Eficiencia del transformador: 0.97...0.985

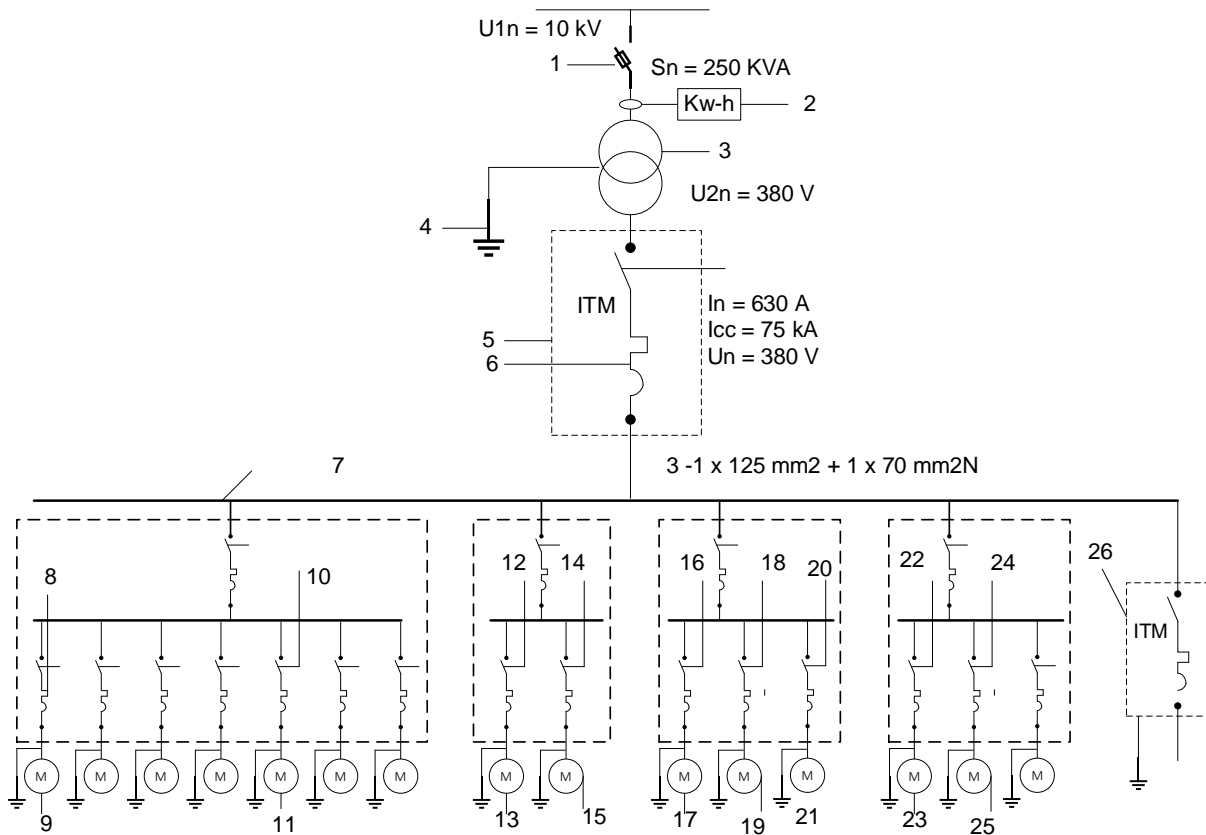
La planta cuenta con cargas trifásicas de motores, y de cargas monofásicas para iluminación y servicios de oficina administrativa y técnica.

Del tablero principal de distribución se alimenta a cuatro tableros trifásicos que alimentan a los motores y a un tablero monofásico, de potencia pequeña: 2.5 kw

Para una mejor ubicación y descripción, se preparó el diagrama unifilar actual, luego el proyectado con compensación centralizada y el proyectado con compensación grupal

Se encontraron los siguientes resultados:

Objetivo específico 1: Estudio técnico de compensación reactiva centralizada.



| It | Denominación | Cantidad | UM |
|---|--|---|--------|
| 1 | Interruptor en MT In = 25 A, Un = 10 kV, Icc = 15 kA | 1 | Pieza |
| 2 | Medidor de energía monofásico | 1 | Pieza |
| 3 | Transformador trifásico 10/0.38 kV 250 KVA | 1 | Pieza |
| 4 | Conexión a tierra devanado secundario Transf | 1 | Pieza |
| 5 | Tablero de distribución principal en BT, 380 V, 250 KVA | 1 | Pieza |
| 6 | Interruptor automático de caja moldeada In = 400 A, Icc = 50 kA | 1 | Pieza |
| 7 | Barra de Cu distribución en BT 380 V 4 x 40 mm x 5 mm x 300 mm | 4 | Pieza |
| 8 | Interruptor termomagnético Un = 380 V, In = 25 A, Icc = 5 kA | 4 | Pieza |
| 9 | Motor trifásico Pn = 15 HP, Un = 380 V, Cos φ = 0.86 - Botales | 4 | Pieza |
| 10 | Interruptor termomagnético Un = 380 V, In = 30 A, Icc = 10 kA | 3 | Pieza |
| 11 | Motor trifásico Pn = 20 HP, Un = 380 V, Cos φ = 0.86 - Botales | 3 | Pieza |
| 12 | Interruptor termomagnético Un = 380 V, In = 25 A, Icc = 5 kA | 1 | Pieza |
| 13 | Motor trifásico Pn = 12 HP, Un = 380 V, Cos φ = 0.86 - Descarnadora 1 | 1 | Pieza |
| 14 | Interruptor termomagnético Un = 380 V, In = 25 A, Icc = 5 kA | 1 | Pieza |
| 15 | Motor trifásico Pn = 12 HP, Un = 380 V, Cos φ = 0.86 - Descarnadora 2 | 1 | Pieza |
| 16 | Interruptor termomagnético Un = 380 V, In = 30 A, Icc = 10 kA | 1 | Pieza |
| 17 | Motor trifásico Pn = 20 HP, Un = 380 V, Cos φ = 0.86 - Divididora grande | 1 | Pieza |
| 18 | Interruptor termomagnético Un = 380 V, In = 25 A, Icc = 5 kA | 1 | Pieza |
| 19 | Motor trifásico Pn = 12 HP, Un = 380 V, Cos φ = 0.86 - Divididora chica | 1 | Pieza |
| 20 | Interruptor termomagnético Un = 380 V, In = 10 A, Icc = 2.5 kA | 1 | Pieza |
| 21 | Motor trifásico Pn = 3 HP, Un = 380 V, Cos φ = 0.86 - Escurreidora | 1 | Pieza |
| 22 | Interruptor termomagnético Un = 380 V, In = 150 A, Icc = 50 kA | 1 | Pieza |
| 23 | Motor trifásico Pn = 57 HP, Un = 380 V, Cos φ = 0.86 - Rebajadora | 1 | Pieza |
| 24 | Interruptor termomagnético Un = 380 V, In = 20 A, Icc = 10 kA | 1 | Pieza |
| 25 | Motor trifásico Pn = 10 HP, Un = 380 V, Cos φ = 0.86 - Secado al vacío | 2 | Pieza |
| 26 | Tablero de cargas monofásicas Pn = 2.5 kw | 2 | Piezas |
| DIAGRAMA UNIFILAR ACTUAL SISTEMA ELÉCTRICO CURTIEMBRE DE TRUJILLO | | DIBUJADO POR: Vejarano Benites Luis Alberto Reyes Zavaleta Manuel Alejandro | |

Figura 1: Diagrama unifilar actual, sin compensación del factor de potencia

Tabla 3: Energía activa, reactiva y factor de potencia sin compensación

| Mes | Año | kWh-/mes | kVArh-/mes | Cos ϕ |
|-----------|------|-----------|--------------|------------|
| Mayo | 2021 | 98 411,63 | 113 044,2632 | 0,87 |
| Junio | 2021 | 95 086,30 | 110 162,0282 | 0,86 |
| Julio | 2021 | 97 063,50 | 113 697,6701 | 0,85 |
| Agosto | 2021 | 94 500,00 | 111 730,1055 | 0,90 |
| Setiembre | 2021 | 94 500,00 | 105 429,3900 | 0,89 |
| Octubre | 2021 | 97 704,30 | 109 259,9941 | 0,90 |
| Noviembre | 2021 | 98 090,00 | 109 515,9330 | 0,88 |
| Diciembre | 2021 | 97 840,80 | 111 517,5125 | 0,83 |
| Enero | 2022 | 95 931,80 | 116 165,7891 | 0,85 |
| Febrero | 2022 | 95 731,80 | 113 145,4720 | 0,84 |
| Marzo | 2022 | 95 331,80 | 113 889,3727 | 0,84 |
| Abril | 2022 | 94 431,80 | 114 873,1912 | 0,82 |

Fuente: Recibos de consumos de energía.

Justificación: De la tabla 1, se mostró a través los recibos de facturación eléctrica de 12 meses, y también el factor de potencia con valores bajo.

Tabla 4: Exceso de energía reactiva que fue facturado

| Mes | Año | Energía Activa (kW/h) | Energía reactiva (kVarh) | Energía reactiva (Exceso) |
|-----------|------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| Mayo | 2021 | 10,038.9718 | 7,125.1429 | 4,113.4514 |
| Junio | 2021 | 11,814.5336 | 7,037.7202 | 3,493.3601 |
| Julio | 2021 | 12,346.3513 | 7,479.5380 | 3,775.6326 |
| Agosto | 2021 | 14,061.8041 | 9,129.5363 | 4,910.9951 |
| Setiembre | 2021 | 13,596.8046 | 6,790.9023 | 2,711.8609 |
| Octubre | 2021 | 15,850.8946 | 7,955.4466 | 3,200.1782 |
| Noviembre | 2021 | 15,355.8937 | 7,967.7193 | 3,360.9511 |
| Diciembre | 2021 | 12,490.8966 | 6,906.8113 | 3,159.5423 |
| Enero | 2022 | 10,382.7169 | 7,337.7199 | 4,222.9048 |
| Febrero | 2022 | 10,999.0799 | 7,081.3566 | 3781.6326 |
| Marzo | 2022 | 11,229.5342 | 7,551.8106 | 4,182.9503 |
| Abril | 2022 | 11428,6249 | 7896,8103 | 4468,2228 |

Fuente: Recibos de consumos de energía.

Justificación: En la tabla 2 se mostró los valores de la energía reactiva y de la energía activa y también el exceso de la energía reactiva pasándose de los límites del 30%, que permitió a la concesionaria facturar la diferencia del exceso en potencia reactiva.

Tabla 5: Registros de medidas Fuente: Mediciones en la curtiembre.

| Valores del analizador de redes | | | |
|---------------------------------|-------|----------------------|---------------|
| Fecha | Hora | Potencia activa (KW) | Cos φ |
| 20/04/2022 | 09:00 | 88.78 | 0.82 |
| 20/04/2022 | 09:30 | 88.84 | 0.83 |
| 20/04/2022 | 10:00 | 87.65 | 0.85 |
| 20/04/2022 | 10:30 | 88.95 | 0.84 |
| 20/04/2022 | 11:00 | 90.49 | 0.86 |
| 20/04/2022 | 11:30 | 90.98 | 0.85 |
| 20/04/2022 | 12:00 | 92.90 | 0.84 |
| 21/04/2022 | 09:00 | 89.41 | 0.83 |
| 21/04/2022 | 09:30 | 88.87 | 0.84 |
| 21/04/2022 | 10:00 | 89.86 | 0.83 |
| 21/04/2022 | 10:30 | 91.40. | 0.83 |
| 21/04/2022 | 11:00 | 88.50 | 0.84 |
| 21/04/2022 | 11:30 | 89.62 | 0.82 |
| 21/04/2022 | 12:00 | 90.90 | 0.83 |
| 22/04/2022 | 09:00 | 85.43 | 0.84 |
| 22/04/2022 | 09:30 | 87.45 | 0.82 |
| 22/04/2022 | 10:00 | 87.62 | 0.83 |
| 22/04/2022 | 10:30 | 88.96 | 0.84 |
| 22/04/2022 | 11:00 | 88.87 | 0.82 |
| 22/04/2022 | 11:30 | 88.78 | 0.83 |
| 22/04/2022 | 12:00 | 89.88 | 0.82 |
| 25/04/2022 | 09:00 | 82.40 | 0.82 |
| 25/04/2022 | 09:30 | 84.69 | 0.84 |
| 25/04/2022 | 10:00 | 85.42 | 0.85 |
| 25/04/2022 | 10:30 | 86.21 | 0.83 |
| 25/04/2022 | 11:00 | 87.56 | 0.82 |
| 25/04/2022 | 11:30 | 86.01 | 0.81 |
| 25/04/2022 | 12:00 | 89.45 | 0.82 |
| 26/04/2022 | 09:00 | 84.36 | 0.83 |
| 26/04/2022 | 09:30 | 84.90 | 0.82 |
| 26/04/2022 | 10:00 | 85.32 | 0.83 |
| 26/04/2022 | 10:30 | 88.62 | 0.82 |
| 26/04/2022 | 11:00 | 88.96 | 0.81 |
| 26/04/2022 | 11:30 | 90.93 | 0.83 |
| 26/04/2022 | 12:00 | 90.01 | 0.84 |
| 27/04/2022 | 09:00 | 80.73 | 0.82 |
| 27/04/2022 | 09:30 | 82.56 | 0.81 |
| 27/04/2022 | 10:00 | 84.91 | 0.80 |
| 27/04/2022 | 10:30 | 86.52 | 0.81 |
| 27/04/2022 | 11:00 | 85.61 | 0.82 |
| 27/04/2022 | 11:30 | 85.94 | 0.81 |
| 27/04/2022 | 12:00 | 88.98 | 0.83 |
| 28/04/2022 | 09:00 | 79.58 | 0.84 |
| 28/04/2022 | 09:30 | 82.45 | 0.82 |
| 28/04/2022 | 10:00 | 83.69 | 0.84 |
| 28/04/2022 | 10:30 | 84.57 | 0.83 |
| 28/04/2022 | 11:00 | 86.14 | 0.84 |
| 28/04/2022 | 11:30 | 88.89 | 0.83 |
| 28/04/2022 | 12:00 | 90.28 | 0.82 |

Tabla 6: Resumen

| Registro de datos de tabla 5 | |
|---|------------|
| Potencia Activa máxima | 92,90 kW |
| Factor de Potencia, valor mínimo | 0,80 |
| Potencia Reactiva | 69,68 kVAr |
| Potencia Aparente | 116,13 kVA |

Fuente: Empresa Curtiembre

Interpretación: En la tabla 6, el horario de atención entre 07:00 horas a 17:00 horas se realizó las mediciones eléctricas, en horas de la mañana entre las 09:00 horas y 12:00 horas, y en la tarde es menor la carga de trabajo. Funciona un solo turno.

Triangulo de potencia sin compensación reactiva

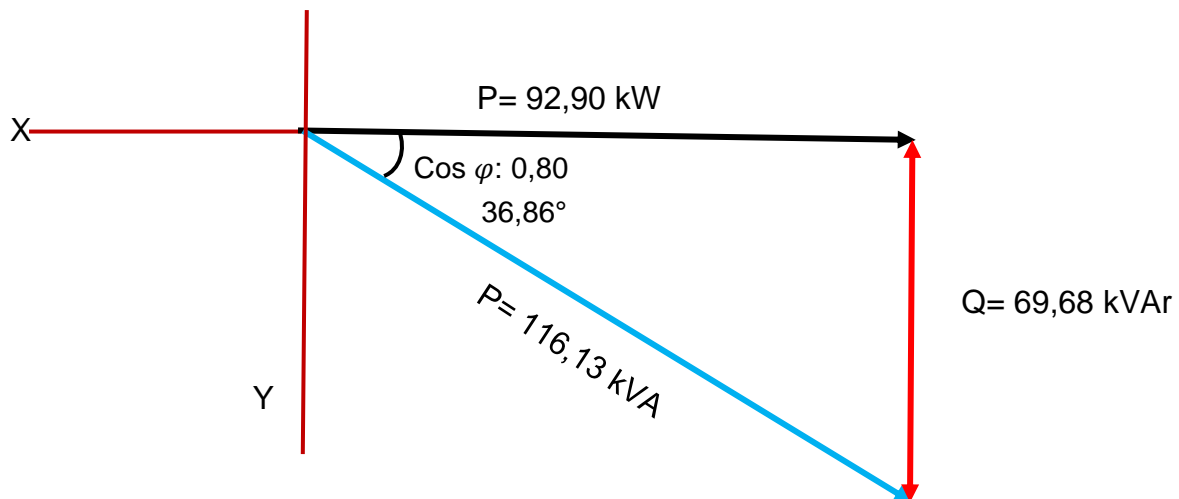


Figura 2:. Diagrama triangulo de potencia, sin compensación. Fuente Elaboración propia

Interpretación: Se elaboró el diagrama triangulo de potencia, y se ubicó los valores.

Con la ayuda de una hoja de cálculo se determina el valor del nuevo factor de potencia para no pagar.
 La potencia reactiva luego de la compensación debe ser igual o menor al 30% de la potencia activa.

Tabla 7: Determinación del nuevo $\cos \varphi$ para no pagar.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Potencia activa | P | kw | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 |
| Potencia reactiva inicial | Q1 | kvar | 69.68 | 69.68 | 69.68 | 69.68 | 69.68 | 69.68 | 69.68 | 69.68 | 69.68 | 69.68 | 69.68 | 69.68 |
| Potencia aparente | S | KVA | 116.13 | 113.48 | 110.96 | 108.57 | 106.31 | 104.19 | 102.23 | 100.44 | 98.82 | 97.37 | 96.12 | 95.07 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Factor de potencia | $\cos \varphi$ | - | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | 0.87 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.97 | 0.98 |
| Potencia del banco de condensadores | Qc | Kvar | 0 | 4.5 | 9 | 13.5 | 18 | 22.5 | 27 | 31.5 | 36 | 40.5 | 45 | 49.5 |
| Potencia reactiva luego de compensar | Q2 | Kvar | 69.68 | 65.18 | 60.68 | 56.18 | 51.68 | 47.18 | 42.68 | 38.18 | 33.68 | 29.18 | 24.68 | 20.18 |
| Potencia reactiva máxima a absorber de la red sin pagar | Q2 máx | - | 27.87 | 27.87 | 27.87 | 27.87 | 27.87 | 27.87 | 27.87 | 27.87 | 27.87 | 27.87 | 27.87 | 27.87 |

- Se observa que a partir de un $\cos \varphi > 0.95$ ya no se pagaría energía reactiva, por seguridad se elige un $\cos \varphi = 0.98$, con el cual se harán los cálculos.
- La potencia del banco de condensadores para tener $\cos \varphi = 0.98$ debe ser de 49.5 kvar, trifásico, 60 Hz y $U_n = 380$ V.

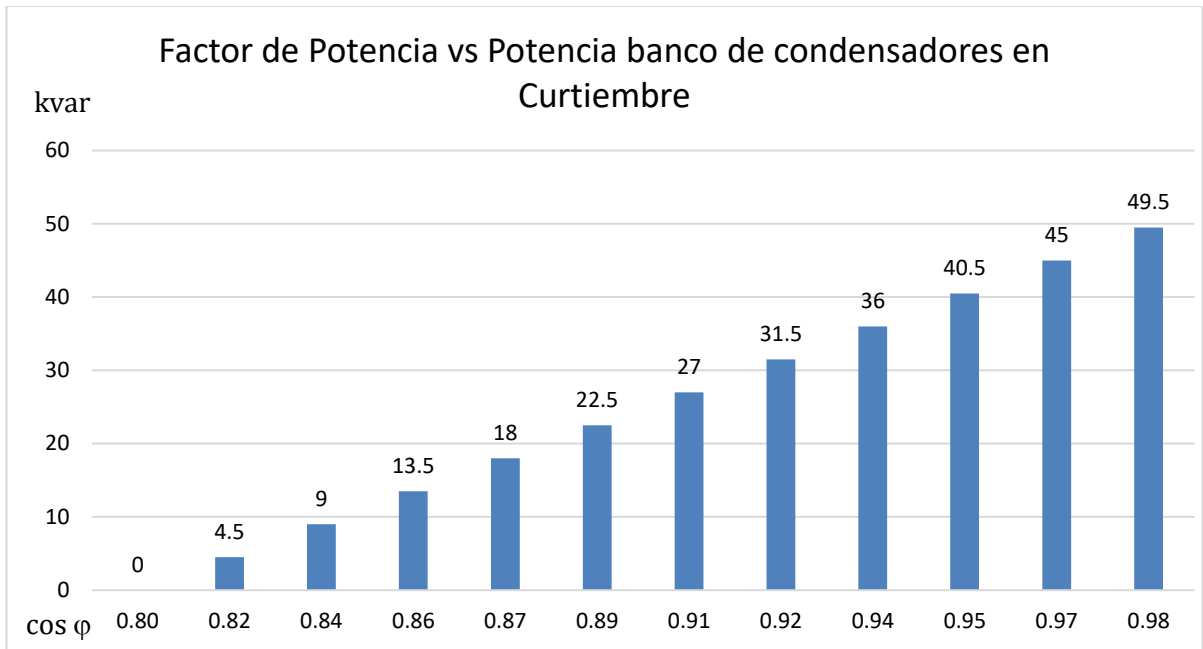


Figura 3: variación del factor de potencia en función de la potencia del banco de condensadores en Curtiembre. Elaboración propia.

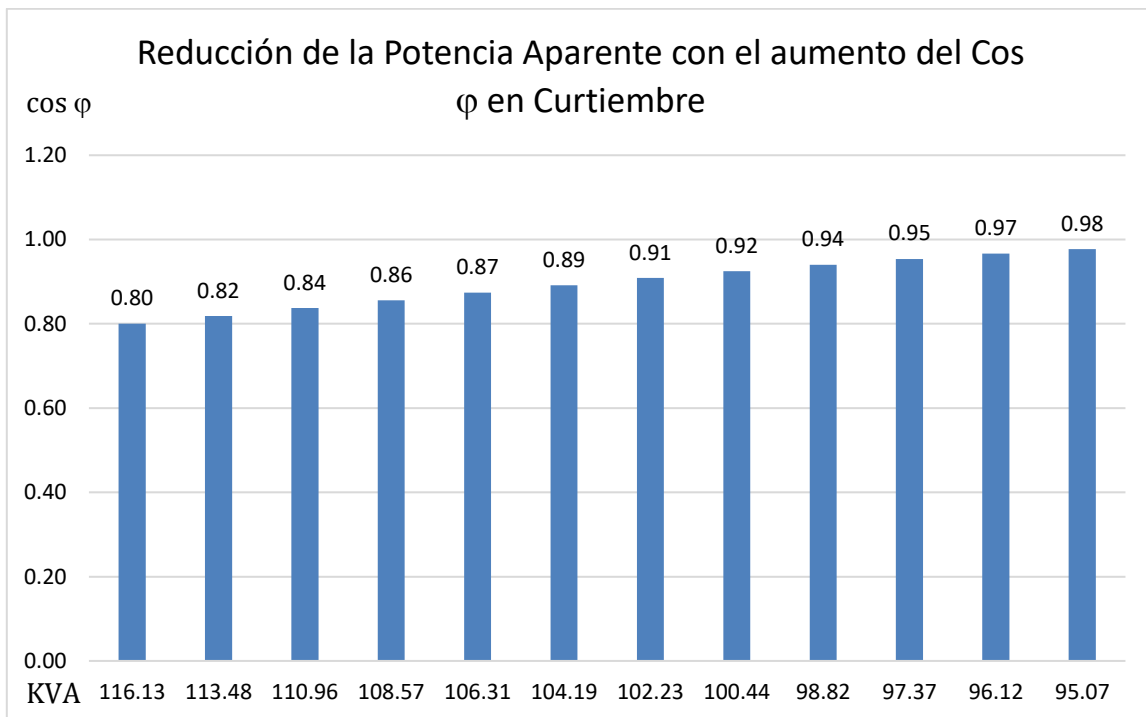


Figura 4: Reducción de la Potencia aparente con el aumento del factor de potencia en curtiembre

Diagrama triangulo de potencia para la compensación centralizada

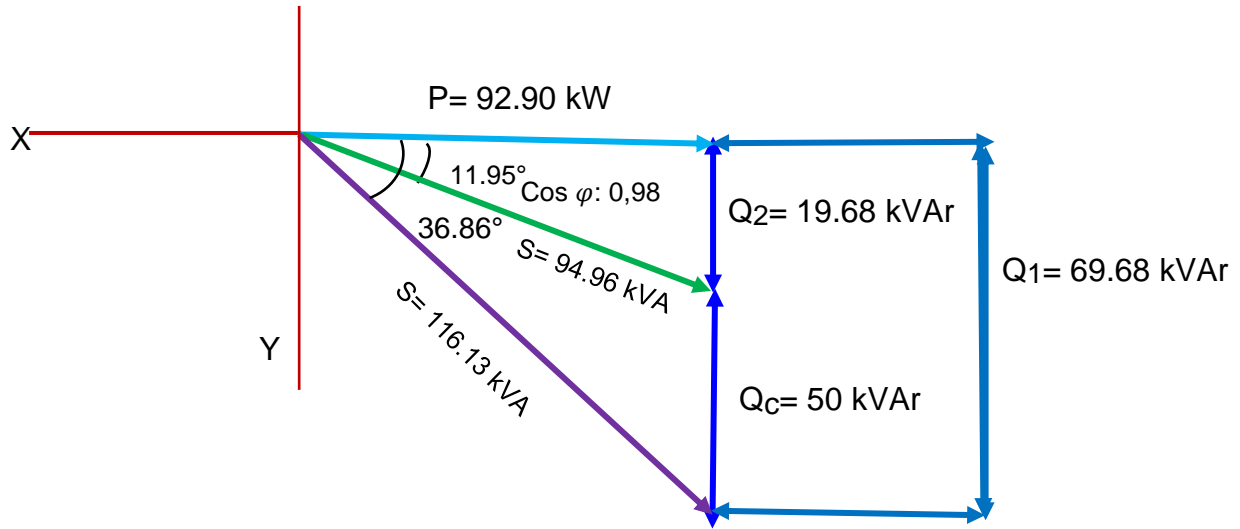


Figura 5: Diagrama triangulo de potencia

Interpretación: Se consideró proyectada 20% de potencia reactiva capacitiva para la compensación centralizada. También se consideró su valor capacitivo para banco de condensadores en microfaradios de 9 184,42 μf .

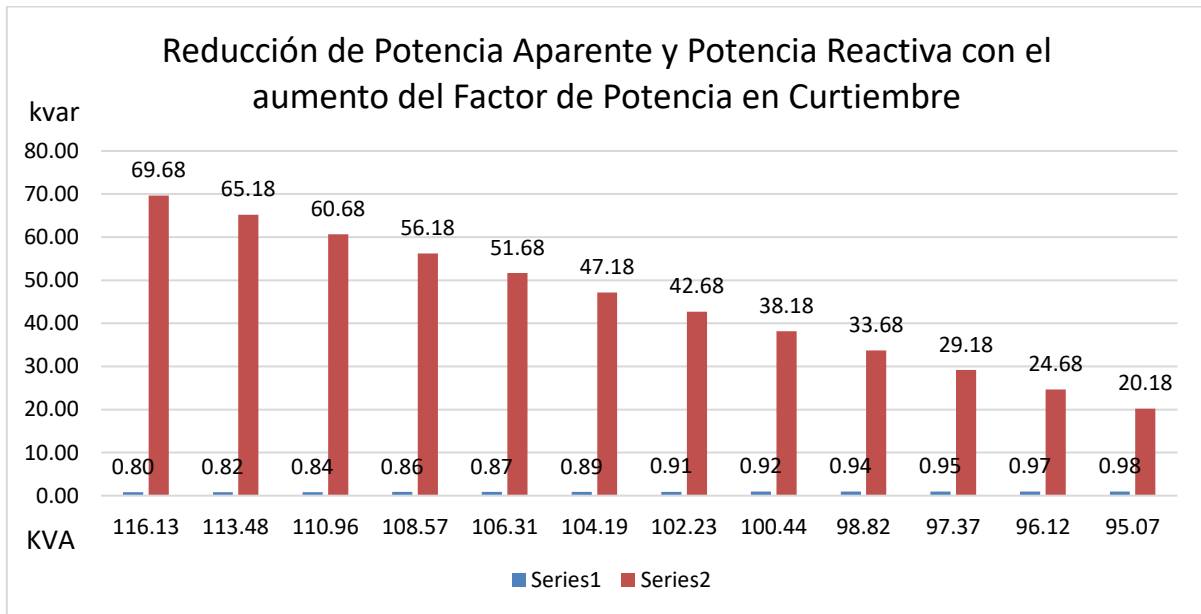


Figura 6: reducción de S y Q al aumentar el $\cos \varphi$ en Curtiembre

Cálculo de la intensidad de corriente sin compensación y con compensación del factor de corriente. Para el presente caso, se utiliza la ecuación de la potencia trifásica:

$$I = \frac{P(w)}{\sqrt{3} * U_L * \text{Cos}\varphi} . \text{ Siendo:}$$

P = Potencia activa del sistema = 92900 w

UL: Tensión de línea = 380 V

Cosφ: Factor de potencia inicial y final, incluyen valores intermedios (-)

Tabla 8: Intensidad de corriente en función del factor de potencia

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Potencia activa | P | kw | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 |
| Tensión | UL | V | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| Factor de potencia | Cos φ | - | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | 0.87 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.97 | 0.98 |
| Intensidad de Corriente | I | A | 176.44 | 172.43 | 168.59 | 164.95 | 161.52 | 158.31 | 155.33 | 152.61 | 150.14 | 147.95 | 146.05 | 144.44 |

De la tabla se observa una importante reducción de la intensidad de corriente en el sistema, que es la que entrega el transformador de distribución, ΔI:

$$\Delta I = I_{\text{inicial}} - I_{\text{final}} = 176.44 - 144.44 = 32 \text{ A} = 18.14 \%$$

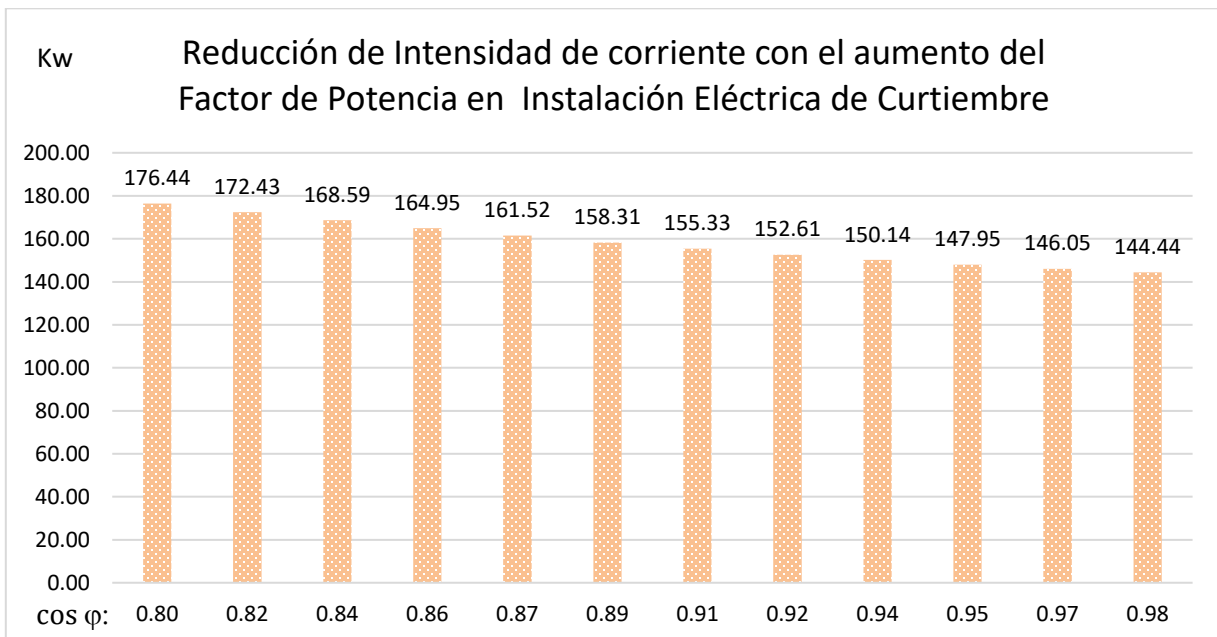


Figura 7: Reducción de Intensidad de corriente con el aumento del cos φ.

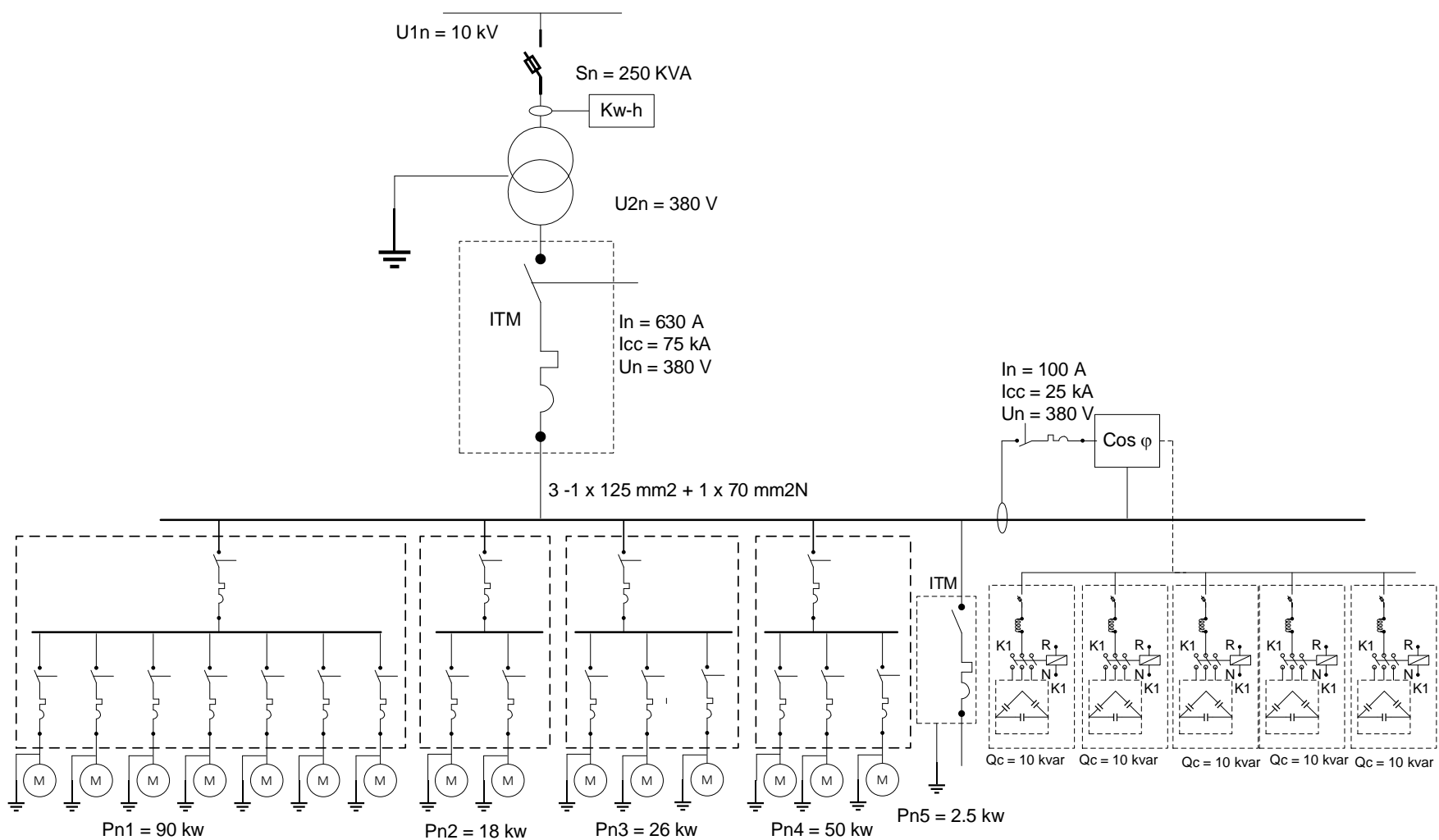


Figura 8: Diagrama unifilar del sistema eléctrico de cortinero con compensación centralizada del factor de potencia. Elaboración propia.

Cálculo de la eficiencia del transformador de distribución

Con la eficiencia nueva, al ser compensado el factor de potencia, se determina la nueva potencia activa a ser absorbida, menor a la actual, sin compensación del factor de potencia.

Se utilizará la ecuación de eficiencia del transformador:

$$\eta_{Tr} (\%) = \frac{S_n * \cos\varphi * \alpha_c}{S_n * \cos\varphi * \alpha_c + P_{Fe} + \alpha^2 * P_{Cu}} * 100$$

Siendo:

S_n = Potencia aparente nominal del transformador = 250 KVA

$\cos\varphi$: factor de potencia de la instalación: 0.86...0.98

α_c = índice de carga del transformador = I_{oper}/I_{2n}

P_{Fe} = Pérdidas en el Hierro del transformador: 1.55 kw

P_{Cu} = Pérdida en el Cobre del transformador: 2.75 kw

Tabla 9: Eficiencia del transformador de distribución en función del aumento del factor de potencia por compensación en Curtiembre.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Potencia aparente nominal | S_n | KVA | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Tensión en Secundario | U_2 | A | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| Intensidad nominal en Secundario | I_{2n} | A | 379.85 | 379.85 | 379.85 | 379.85 | 379.85 | 379.85 | 379.85 | 379.85 | 379.85 | 379.85 | 379.85 | 379.85 |
| Factor de potencia | $\cos\varphi$ | kw | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | 0.87 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.97 | 0.98 |
| Intensidad de Corriente en operación | I | A | 176.44 | 172.43 | 168.59 | 164.95 | 161.52 | 158.31 | 155.33 | 152.61 | 150.14 | 147.95 | 146.05 | 144.44 |
| Pérdidas en en Herro | P_{Fe} | kw | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 |
| Pérdidas en el Cobre | P_{Cu} | kw | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 |
| Índice de carga | α_c | - | 0.46 | 0.45 | 0.44 | 0.43 | 0.43 | 0.42 | 0.41 | 0.40 | 0.40 | 0.39 | 0.38 | 0.38 |
| Eficiencia de Transformador | η_{Tr} | % | 97.74% | 97.77% | 97.80% | 97.82% | 97.84% | 97.86% | 97.88% | 97.90% | 97.91% | 97.93% | 97.94% | 97.95% |
| Potencia en bornes del Secundario | P_2 | kw | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 | 92.9 |
| Potencia en bornes del Primario | P_1 | kw | 95.04 | 95.02 | 94.99 | 94.97 | 94.95 | 94.93 | 94.91 | 94.89 | 94.88 | 94.87 | 94.86 | 94.85 |

Reducción de potencia activa absorbida por aumento de la eficiencia, ΔP :

$$\Delta P = P1 - P2 = 95.04 - 94.85 = 0.19 \text{ kw}$$

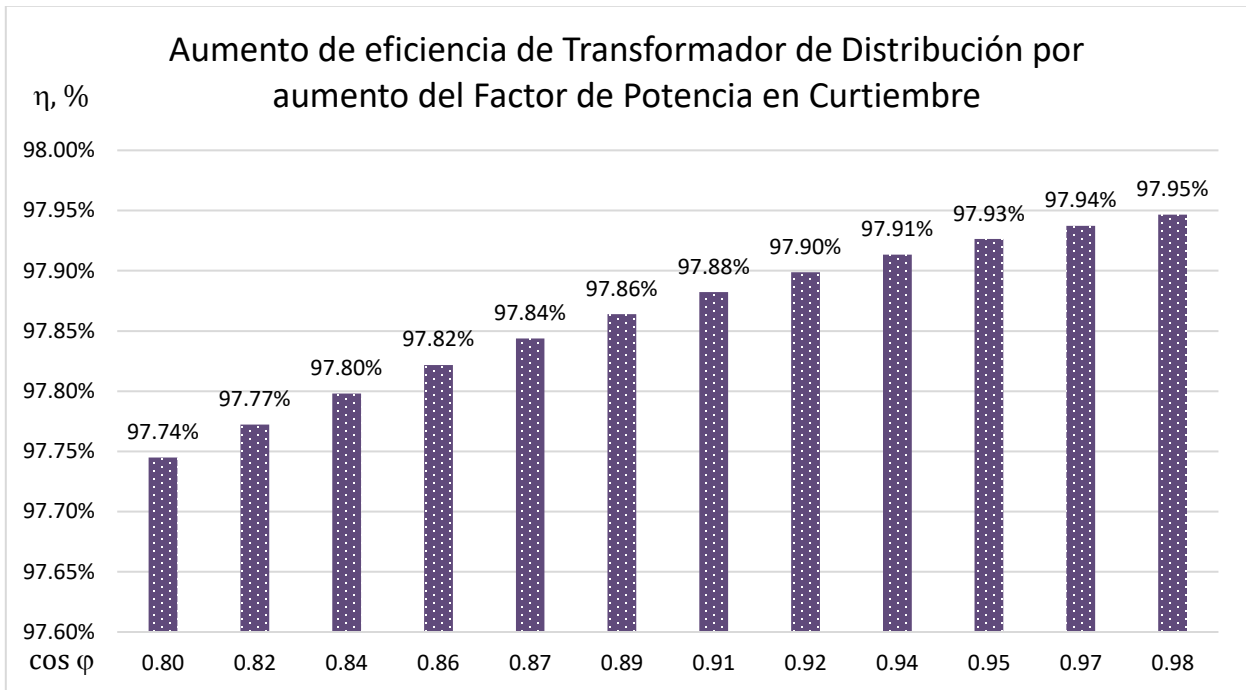


Figura 9: Aumento de eficiencia de transformador por aumento de Factor de Potencia en Curtiembre.

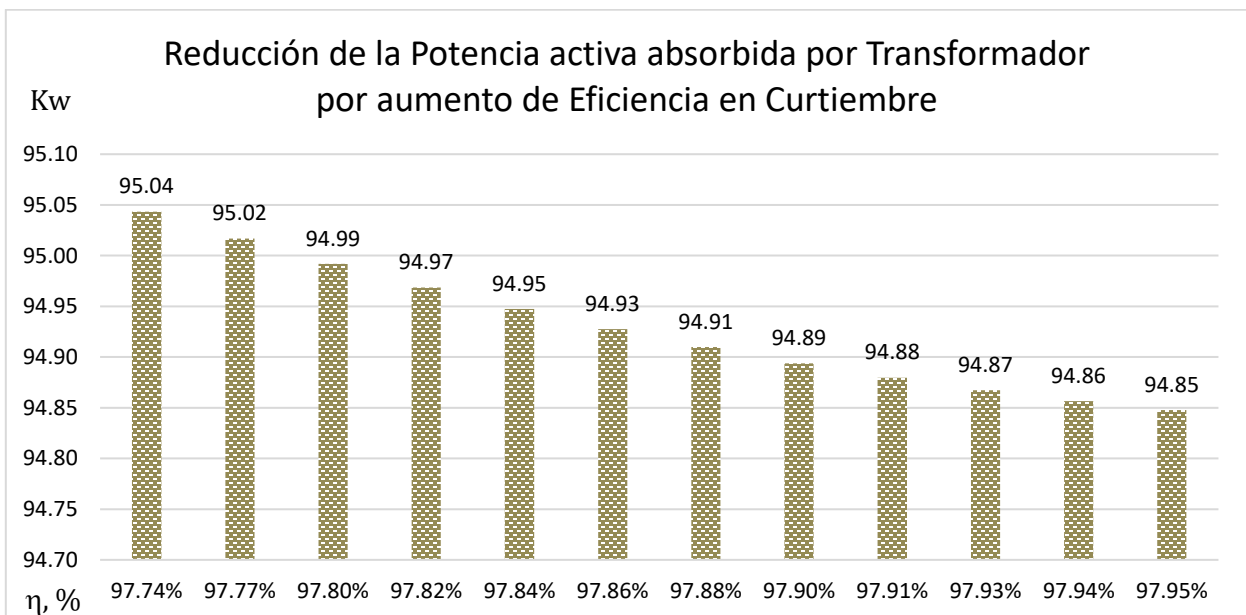


Figura 10: Reducción de potencia activa absorbida por transformador de distribución, por aumento de eficiencia

Reducción de pérdida de potencia en cable de distribución principal

Se determina, con ayuda de una hoja de cálculo en Excel, la reducción de pérdida de potencia en conductor de distribución principal, por aumento del factor de potencia.

Tipo de cable: NYY 3 – 1x 120 mm² +1 x 70 mm² N

Material: Cobre electrolítico

Cable trifásico multipolar

Intensidad nominal:

Sección transversal: 120 mm²

Resistividad eléctrica del cobre: 0.0175 Ω*mm²/m

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$\text{Caída de tensión trifásica: } \Delta U(V) = \sqrt{3} * I_L (A) * R_L (\Omega)$$

$$\text{Pérdida de potencia en cable: } P_{p\text{-cable}} (kw) = \frac{3 * R_L (\Omega) * I_L^2 (A^2)}{1000}$$

$$\text{Resistencia en cable: } R_L (\Omega) = \rho_{Cu} \left(\Omega * \frac{mm^2}{m} \right) * \frac{L_{cable} (m)}{S_{cable} (mm^2)}$$

Tabla 10: Resistencia óhmica, caída de tensión y pérdida de potencia en cable de distribución Planta de Curtiembre, con y sin compensación

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Potencia bornes Primario | P1 | kw | 95.04 | 95.02 | 94.99 | 94.97 | 94.95 | 94.93 | 94.91 | 94.89 | 94.88 | 94.87 | 94.86 | 94.85 |
| Intensidad bornes Primario | I1 | A | 180.51 | 176.36 | 172.39 | 168.63 | 165.08 | 161.77 | 158.70 | 155.88 | 153.34 | 151.08 | 149.12 | 147.47 |
| Factor de potencia | Cos φ | - | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | 0.87 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.97 | 0.98 |
| Longitud cable de distribución | Lcable | m | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| Sección transversal del Cable | S | mm ² | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Resistividad eléctrica del cobre | ρCu | Ω*mm ² /m | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 |
| Resistencia óhmica del cable | R _L | Ω | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 | 0.0061 |
| Caída tensión cable Distribución | ΔU | V | 1.915 | 1.871 | 1.829 | 1.789 | 1.751 | 1.716 | 1.684 | 1.654 | 1.627 | 1.603 | 1.582 | 1.564 |
| Potencia perdida en cable | Pp-cable | kw | 0.599 | 0.571 | 0.546 | 0.522 | 0.501 | 0.481 | 0.463 | 0.446 | 0.432 | 0.419 | 0.409 | 0.400 |

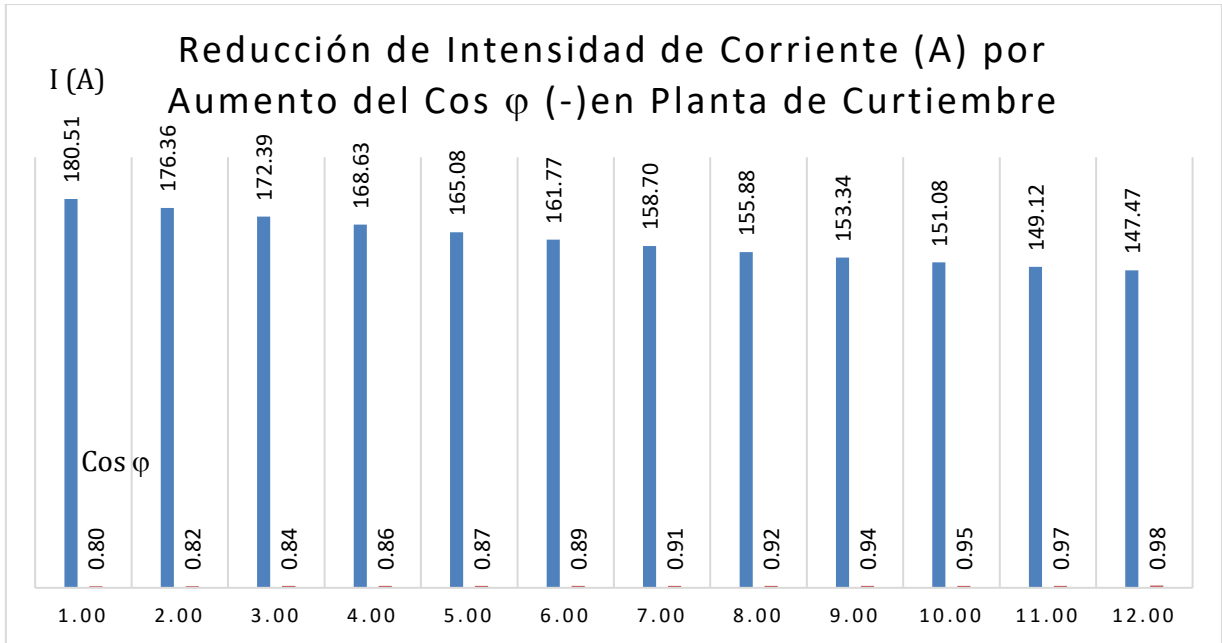


Figura 11: reducción de Intensidad de corriente en cable de distribución por aumento del factor de potencia en Planta de Curtiembre

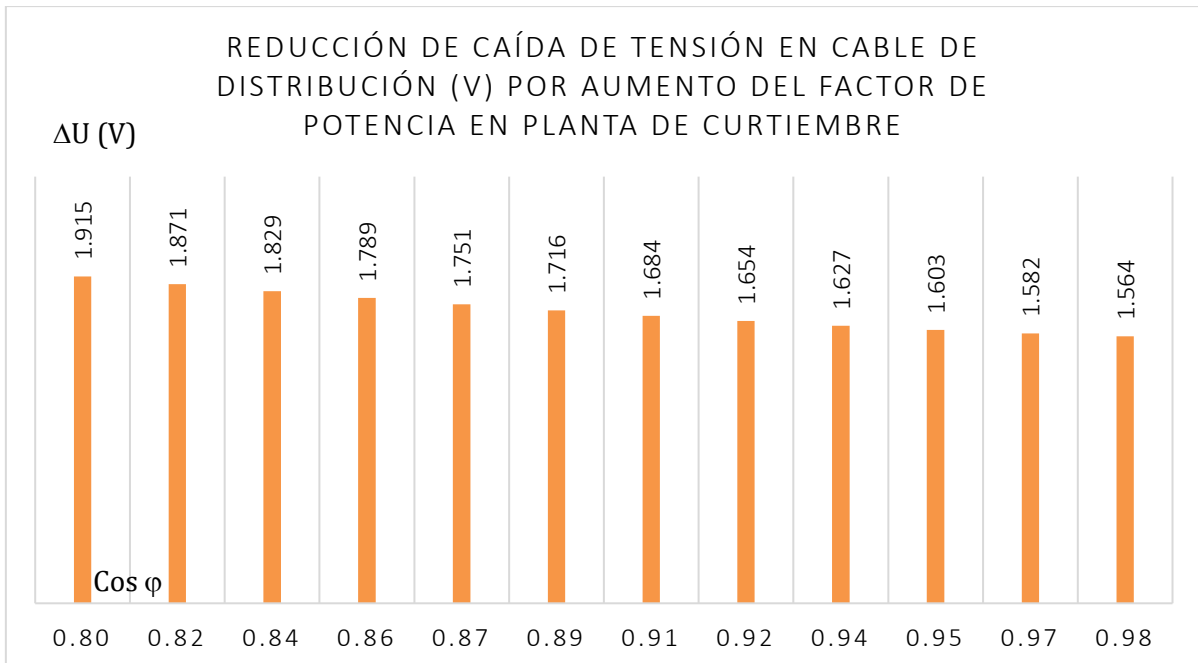


Figura 12: Reducción de caída de tensión en cable de distribución (salida de transformador) por aumento de $\text{Cos } \varphi$ en Planta de Curtiembre

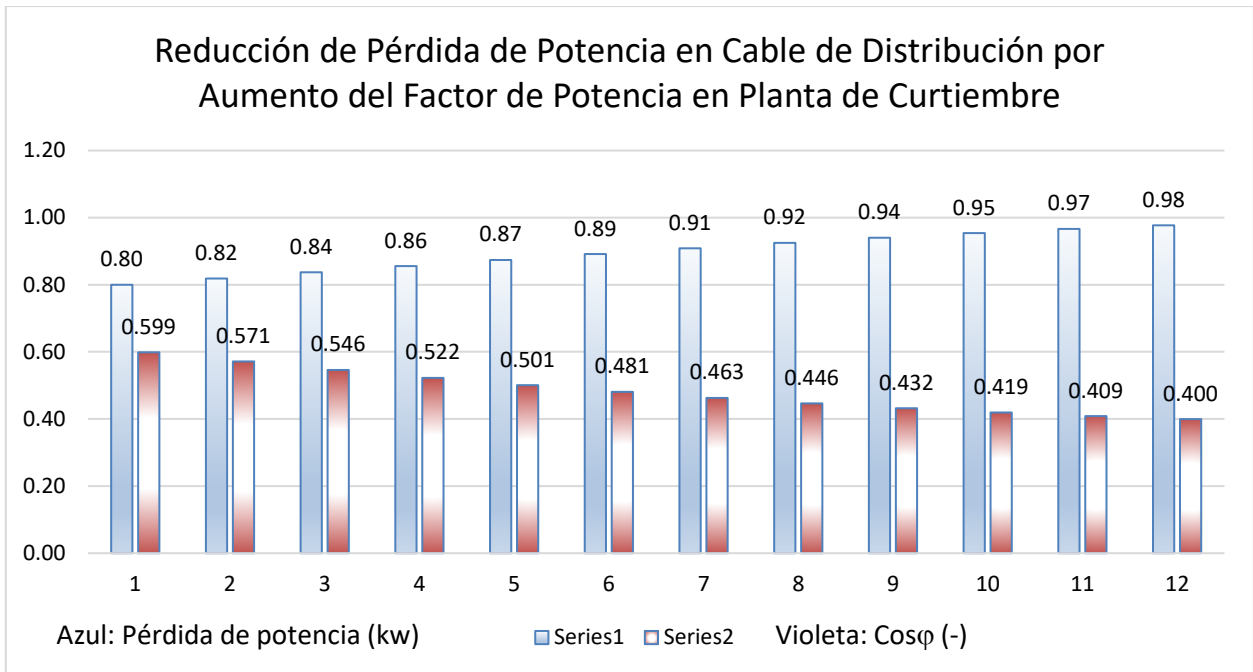


Figura 13: Reducción de Pérdida de potencia en cable de distribución (salida de transformador) por aumento de Cos φ en Planta de Curtiembre

Objetivo específico 2:

Se elaboró el estudio técnico de compensación reactiva grupal.

Tabla 11: Energía activa, reactiva y el factor de potencia sin compensación.

| Mes | Año | kWh | kVAr | Cos ϕ |
|----------------|------|----------------|-------------|------------|
| Enero | 2022 | 46 920,8000 | 54 950,7089 | 0,86 |
| Febrero | 2022 | 46 470,9000 | 54 771,5193 | 0,82 |
| Marzo | 2022 | 46 965,7135 | 56 415,2338 | 0,83 |
| Abril | 2022 | 47 115,9771 | 56 734,4292 | 0,83 |
| Mayo | 2022 | 48 250,2100 | 54 972,6066 | 0,88 |

Fuente: Registros de mediciones de consumos de energía.

Justificación: De la tabla 11, se mostró valores de las mediciones de la energía activa y energía eléctrica de 5 meses y también el factor con valores bajo.

Tabla 12: Exceso de energía reactiva medida.

| Mes | Año | Energía activa (kWh) | Energía reactiva (kVarh) | Energía reactiva (Exceso) |
|----------------|------|----------------------|--------------------------|---------------------------|
| Enero | 2022 | 6 456,3745 | 4 419,9248 | 2 483,0125 |
| Febrero | 2022 | 5 937,5450 | 3 994,6938 | 2 213,4304 |
| Marzo | 2022 | 5 962,9347 | 3 775,9053 | 1 987,0249 |
| Abril | 2022 | 6 199,3938 | 4 447,4181 | 2 587,6000 |
| Mayo | 2022 | 7 922,9469 | 3 983,8597 | 1 606,9756 |

Fuente: Mediciones efectuadas en la curtiembre.

Justificación: En la tabla 12 se mostró los valores de la energía reactiva y de la energía activa y también el exceso de la energía reactiva pasándose de los límites del 30%, que permitió a la concesionaria facturar la diferencia del exceso

en potencia reactiva.

Tabla 13: Registros en campo

| Valores del analizador de redes | | | |
|--|-------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Fecha | Hora | Potencia activa (KW) | Cos φ |
| 09/05/2022 | 09:00 | 45,38 | 0,82 |
| 09/05/2022 | 09:30 | 44,69 | 0,83 |
| 09/05/2022 | 10:00 | 44,65 | 0,84 |
| 09/05/2022 | 10:30 | 43,81 | 0,82 |
| 09/05/2022 | 11:00 | 44,88 | 0,85 |
| 09/05/2022 | 11:30 | 44,30 | 0,86 |
| 09/05/2022 | 12:00 | 47,41 | 0,83 |
| 10/05/2022 | 09:00 | 45,63 | 0,84 |
| 10/05/2022 | 09:30 | 44,01 | 0,85 |
| 10/05/2022 | 10:00 | 38,45 | 0,82 |
| 10/05/2022 | 10:30 | 40,59 | 0,83 |
| 10/05/2022 | 11:00 | 42,82 | 0,84 |
| 10/05/2022 | 11:30 | 37,22 | 0,82 |
| 10/05/2022 | 12:00 | 36,69 | 0,81 |
| 11/05/2022 | 09:00 | 38,71 | 0,82 |
| 11/05/2022 | 09:30 | 39,30 | 0,83 |
| 11/05/2022 | 10:00 | 38,58 | 0,83 |
| 11/05/2022 | 10:30 | 40,64 | 0,85 |
| 11/05/2022 | 11:00 | 43,92 | 0,86 |
| 11/05/2022 | 11:30 | 42,46 | 0,85 |
| 11/05/2022 | 12:00 | 43,21 | 0,87 |
| 12/05/2022 | 09:00 | 38,56 | 0,88 |
| 12/05/2022 | 09:30 | 39,72 | 0,89 |
| 12/05/2022 | 10:00 | 39,15 | 0,88 |
| 12/05/2022 | 10:30 | 44,64 | 0,89 |
| 12/05/2022 | 11:00 | 43,16 | 0,88 |
| 12/05/2022 | 11:30 | 44,98 | 0,90 |
| 12/05/2022 | 12:00 | 44,76 | 0,89 |
| 13/05/2022 | 09:00 | 43,16 | 0,88 |
| 13/05/2022 | 09:30 | 44,76 | 0,90 |
| 13/05/2022 | 10:00 | 43,15 | 0,88 |
| 13/05/2022 | 10:30 | 43,26 | 0,87 |
| 13/05/2022 | 11:00 | 44,89 | 0,89 |
| 13/05/2022 | 11:30 | 47,58 | 0,90 |
| 13/05/2022 | 12:00 | 45,01 | 0,86 |
| 14/05/2022 | 09:00 | 46,35 | 0,87 |
| 14/05/2022 | 09:30 | 42,76 | 0,84 |
| 14/05/2022 | 10:00 | 39,47 | 0,83 |
| 14/05/2022 | 10:30 | 44,60 | 0,84 |
| 14/05/2022 | 11:00 | 42,31 | 0,87 |
| 14/05/2022 | 11:30 | 40,92 | 0,84 |
| 14/05/2022 | 12:00 | 41,57 | 0,85 |
| 16/05/2022 | 09:00 | 43,58 | 0,87 |
| 16/05/2022 | 09:30 | 38,64 | 0,82 |
| 16/05/2022 | 10:00 | 37,20 | 0.81 |
| 16/05/2022 | 10:30 | 39,47 | 0,83 |
| 16/05/2022 | 11:00 | 39,38 | 0,84 |
| 16/05/2022 | 11:30 | 42,69 | 0,86 |
| 16/05/2022 | 12:00 | 44,36 | 0,87 |

Fuente: Mediciones efectuadas en la curtiembre.

Interpretación: En la tabla 13, el horario de atención entre 07:00 horas a 17:00 horas se realizó las mediciones eléctricas, en horas de la mañana entre las 09:00 horas y 12:00 horas, y en la tarde es menor la carga de trabajo. Solo funciona un solo turno.

Tabla 14: Datos obtenidos

| Registro de datos de tabla 13 y figura 14 | |
|---|------------|
| Potencia Activa inicial | 47,85 kW |
| Factor de Potencia inicial | 0,81 |
| Potencia Reactiva hallada | 34,45 kVAr |
| Potencia Aparente | 58,74 kVA |

Fuente: Empresa Curtiembre

Justificación: En la tabla 14 se indica resumen valores obtenidos.

Primer diagrama fasorial: Forma grupal sin compensación reactiva.

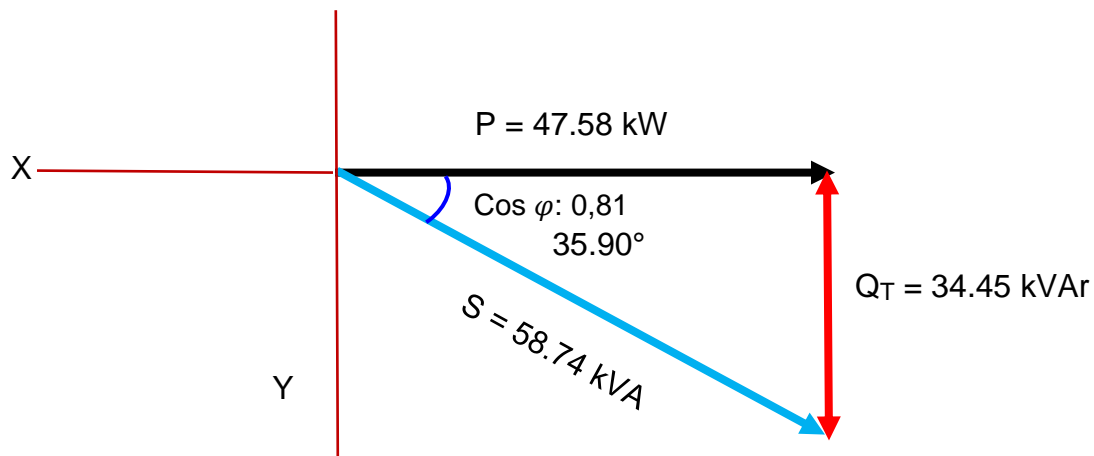


Figura 14: Diagrama fasorial sin compensación. Fuente Elaboración propia.

Interpretación: Se elaboró el diagrama triángulo de potencia, y se ubicó los valores.

Diagrama triangulo de potencia para compensación grupal zona A

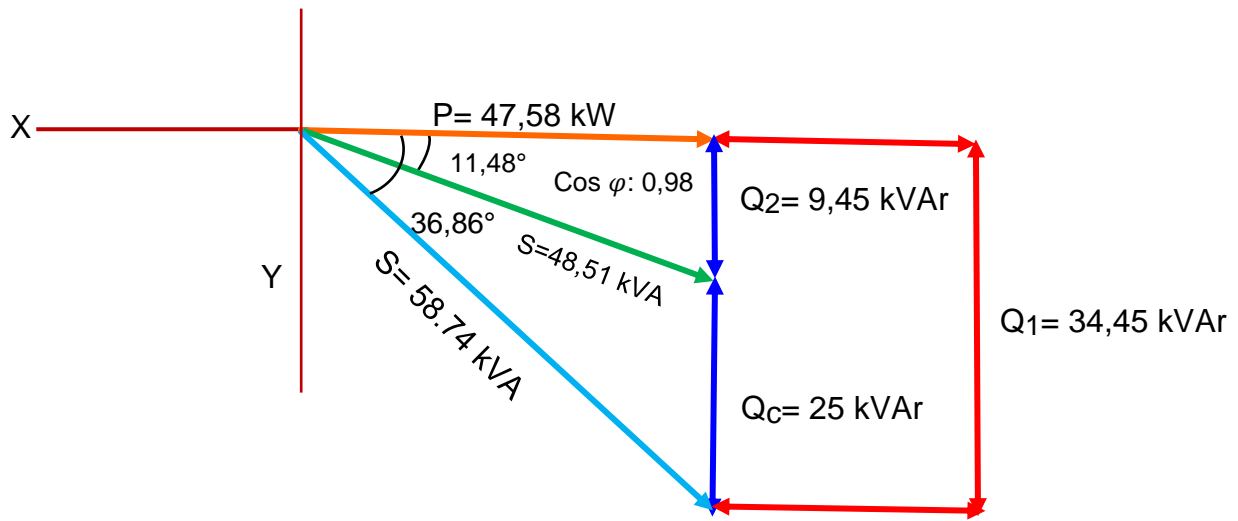


Figura 15: Diagrama triangulo de potencia

Tabla 15: Resumen

| Registro de datos de tabla 13 y figura 15 | |
|---|------------|
| Potencia activa máxima | 47,85 kW |
| Factor de potencia, valor mínimo | 0,81 |
| Potencia reactiva | 34,45 kVAr |
| Potencia aparente | 58,74 kVA |
| Fuente: Empresa Curtiembre | |

Interpretación: Se consideró proyectada 20% de potencia reactiva capacitiva para la compensación centralizada. También se consideró su valor capacitivo para banco de condensadores en microfaradios de 459,24 uf .

Tablero de compensación Zona B: Se elaboró el estudio técnico de compensación reactiva grupal.

Tabla 16: Energía activa, reactiva y el factor de potencia sin compensación.

| Mes | Año | kWh | kVAr | Cos ϕ |
|---------|------|-------------|-------------|------------|
| Enero | 2022 | 45 965,9000 | 56 442,5287 | 0,81 |
| Febrero | 2022 | 44970.9000 | 55052,4003 | 0,82 |
| Marzo | 2022 | 45417,2334 | 54850,8892 | 0,83 |
| Abril | 2022 | 44643,4724 | 54411,0717 | 0,82 |
| Mayo | 2022 | 45 211.7127 | 56452,4673 | 0,80 |

Fuente: Registros de mediciones de consumos de energía.

Justificación: De la tabla 16, se mostró valores de las mediciones de la energía activa y energía eléctrica de 5 meses y también el factor con valores bajo.

Tabla 17: Resultado del exceso a facturación registrada en energía reactiva.

| Mes | Año | Energía activa (kW/h) | Energía reactiva (kVarh) | Energía reactiva (Exceso) |
|---------|------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| Enero | 2022 | 5 956,3745 | 3 571,9248 | 1 785,0125 |
| Febrero | 2022 | 4 937,5450 | 3 625,6938 | 2 144,4304 |
| Marzo | 2022 | 5 062,9347 | 3 425,9053 | 1 907,0249 |
| Abril | 2022 | 5 699,3938 | 3 947,4181 | 2 237,6000 |
| Mayo | 2022 | 6 298,4023 | 3 877,7233 | 1 905,0891 |

Fuente: Mediciones de la energía reactiva, y exceso de energía reactiva.

Justificación: En la tabla 17 se mostró los valores de la energía reactiva y de la energía activa y también el exceso de la energía reactiva pasándose de los límites del 30%, que permitió a la concesionaria facturar la diferencia del exceso en potencia reactiva.

Tabla 18: Registros en campo

| Valores del analizador de redes | | | |
|---------------------------------|-------|----------------------|---------------|
| Fecha | Hora | Potencia activa (KW) | Cos φ |
| 17/05/2022 | 09:00 | 45,38 | 0,82 |
| 17/05/2022 | 09:30 | 44,69 | 0,83 |
| 17/05/2022 | 10:00 | 44,65 | 0,85 |
| 17/05/2022 | 10:30 | 43,81 | 0,83 |
| 17/05/2022 | 11:00 | 44,88 | 0,84 |
| 17/05/2022 | 11:30 | 44,30 | 0,85 |
| 17/05/2022 | 12:00 | 48,57 | 0,84 |
| 18/05/2022 | 09:00 | 45,63 | 0,86 |
| 18/05/2022 | 09:30 | 44,01 | 0,85 |
| 18/05/2022 | 10:00 | 38,45 | 0,83 |
| 18/05/2022 | 10:30 | 40,59 | 0,85 |
| 18/05/2022 | 11:00 | 42,82 | 0,87 |
| 18/05/2022 | 11:30 | 37,22 | 0,86 |
| 18/05/2022 | 12:00 | 36,69 | 0,82 |
| 19/05/2022 | 09:00 | 38,71 | 0,82 |
| 19/05/2022 | 09:30 | 39,30 | 0,84 |
| 19/05/2022 | 10:00 | 38,58 | 0,83 |
| 19/05/2022 | 10:30 | 40,64 | 0,79 |
| 19/05/2022 | 11:00 | 43,92 | 0,86 |
| 19/05/2022 | 11:30 | 42,46 | 0,85 |
| 19/05/2022 | 12:00 | 43,21 | 0,87 |
| 20/05/2022 | 09:00 | 38,56 | 0,84 |
| 20/05/2022 | 09:30 | 39,72 | 0,89 |
| 20/05/2022 | 10:00 | 39,15 | 0,88 |
| 20/05/2022 | 10:30 | 46,99 | 0,90 |
| 20/05/2022 | 11:00 | 43,16 | 0,88 |
| 20/05/2022 | 11:30 | 44,98 | 0,91 |
| 20/05/2022 | 12:00 | 44,76 | 0,90 |
| 21/05/2022 | 09:00 | 43,16 | 0,89 |
| 21/05/2022 | 09:30 | 44,76 | 0,90 |
| 21/05/2022 | 10:00 | 43,15 | 0,88 |
| 21/05/2022 | 10:30 | 43,26 | 0,87 |
| 21/05/2022 | 11:00 | 44,89 | 0,89 |
| 21/05/2022 | 11:30 | 45,01 | 0,90 |
| 21/05/2022 | 12:00 | 46,78 | 0,87 |
| 23/05/2022 | 09:00 | 46,35 | 0,85 |
| 23/05/2022 | 09:30 | 42,76 | 0,84 |
| 23/05/2022 | 10:00 | 39,47 | 0,83 |
| 23/05/2022 | 10:30 | 44,60 | 0,85 |
| 23/05/2022 | 11:00 | 42,31 | 0,87 |
| 23/05/2022 | 11:30 | 40,92 | 0,86 |
| 23/05/2022 | 12:00 | 41,57 | 0,85 |
| 24/05/2022 | 09:00 | 43,58 | 0,87 |
| 24/05/2022 | 09:30 | 38,64 | 0,83 |
| 24/05/2022 | 10:00 | 37,20 | 0,82 |
| 24/05/2022 | 10:30 | 39,47 | 0,83 |
| 24/05/2022 | 11:00 | 39,38 | 0,84 |
| 24/05/2022 | 11:30 | 42,69 | 0,86 |
| 24/05/2022 | 12:00 | 44,36 | 0,87 |

Fuente: Mediciones efectuadas en la curtiembre.

Interpretación: En la tabla 18, el horario de atención entre 07:00 horas a 17:00 horas se realizó las mediciones eléctricas, en horas de la mañana entre las 09:00 horas y 12:00 horas, y en la tarde es menor la carga de trabajo. Solo funciona un solo turno.

Tabla 19: Datos obtenidos

| Registro de datos de tabla 18 y figura 16 | |
|---|------------|
| Potencia activa máxima | 48.57 kW |
| Factor de potencia valor mínimo | 0,79 |
| Potencia reactiva | 37,69 kVAr |
| Potencia aparente | 61,48 kVA |

Fuente: Empresa Curtiembre

Interpretación: En la tabla 19, el horario de atención entre 07:00 horas a 17:00 horas se realizó las mediciones eléctricas, en horas de la mañana entre las 09:00 horas y 12:00 horas, y en la tarde es menor la carga de trabajo. Solo funciona un solo turno.

Diagrama triangulo de potencia sin compensación reactiva.

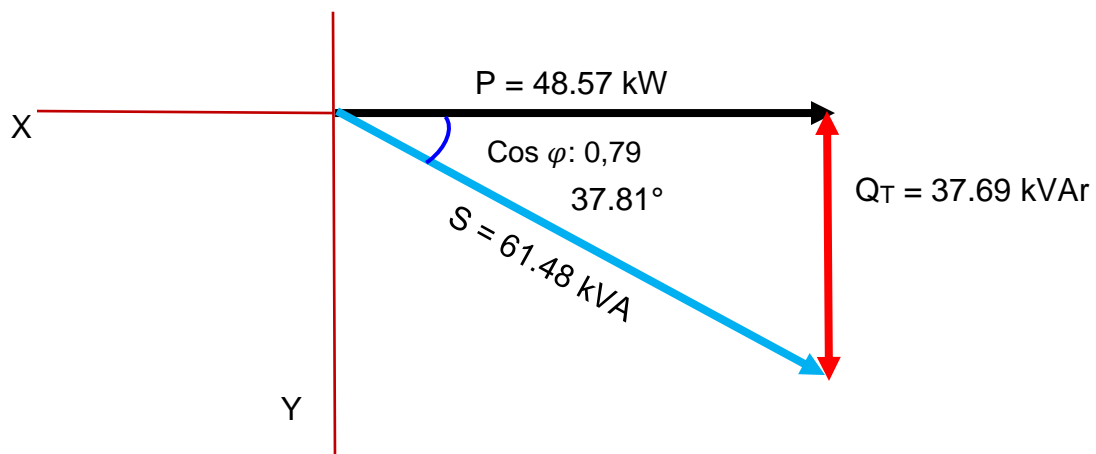


Figura 16: Diagrama triángulo de potencia sin compensación. Fuente Elaboración propia.

Interpretación: Se elaboró el diagrama triángulo de potencia, y se ubicó los valores que registran en figura 16.

Diagrama triángulo de potencia para la compensación grupal.

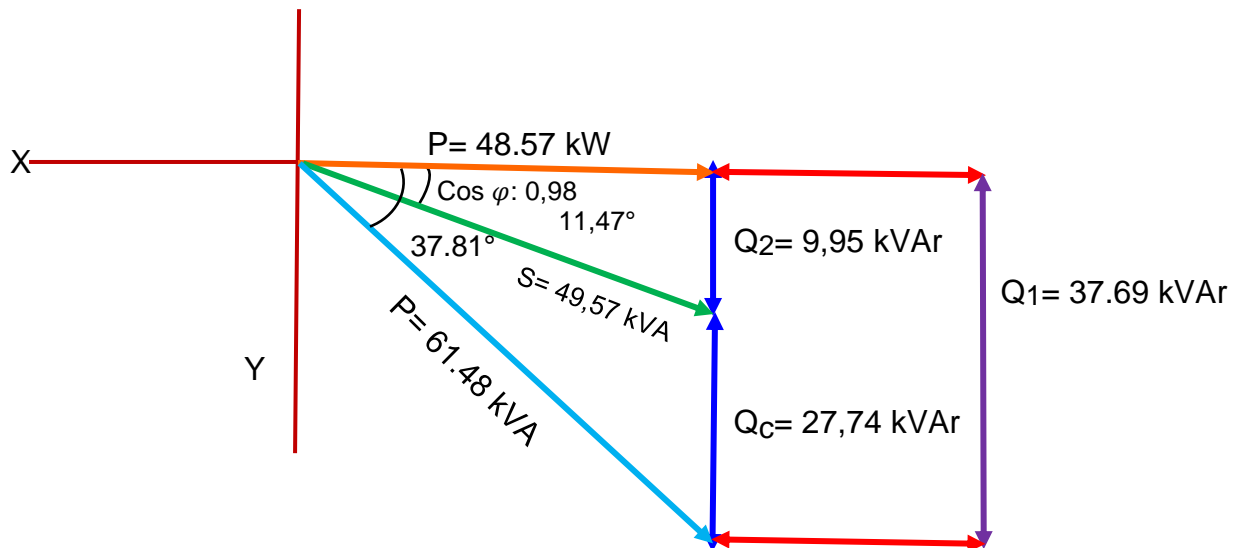


Figura 17: Diagrama triángulo de potencia.

Interpretación:

Se consideró proyectada 20% de potencia reactiva capacitiva para la compensación centralizada.

También se consideró su valor capacitivo para banco de condensadores en microfaradios de 551,10 uf .

Dimensionamiento de banco de condensadores: Se presenta en hoja de cálculo Excel, los resultados del dimensionamiento del banco de condensadores para tableros.

Se utiliza la potencia de máxima demanda del tablero.

Según la empresa de curtiembre los equipos trabajan a la vez.

El factor de utilización considerado sería 0.8 y el de simultaneidad = 1

Las ecuaciones utilizadas para preparar la hoja de cálculo en Excel son:

- Potencia de Máxima demanda del tablero,
 $P_{\text{máx-demanda}} = P_n (\text{kw}) * F.U(-)$

- Intensidad máxima, sin compensación:

$$I_{1\text{-oper}} (\text{A}) = \frac{P_{\text{máx-demanda}}(\text{kw}) * 1000}{(1.732 * U_{2n}(\text{v}) * \text{Cos}\phi_1)}$$

- Potencia aparente sin compensación:

$$S_{2-n} (\text{KVA}) = \frac{P_{\text{máx-dem}} (\text{kw})}{\text{Cos}\phi_1}$$

- Potencia reactiva, sin compensación:

$$Q_{2-n} (\text{K var}) = \sqrt{S_{2-n}^2 - P_{\text{max-dem}}^2}$$

- Potencia aparente con compensación:

$$S_{2-n} (\text{KVA}) = \frac{P_{\text{máx-dem}} (\text{kw})}{\text{Cos}\phi_1}$$

- Potencia aparente con compensación:

$$S_{2\text{-comp}} (\text{KVA}) = \frac{P_{\text{máx-dem}} (\text{kw})}{\text{Cos}\phi_2}$$

- Potencia reactiva, sin compensación:

$$Q_{2-n} (\text{K var}) = \sqrt{S_{2-n}^2 - P_{\text{max-dem}}^2}$$

- Potencia del banco de condensadores para cada tablero:

$$Q_c \text{ (Kvar)} = Q_{2-n} - Q_{2-compen}$$

- Potencia del banco de condensadores por fase:

$$Q_{c-f} \text{ (Kvar)} = Q_c / 3$$

- Capacidad del banco por fase:

$$C_{-f} \text{ (}\mu\text{F)} = \frac{Q_{c-f} \text{ (Var)}}{2\pi * f \text{ (Hz)} * U_f^2 \text{ (V}^2\text{)}} * 100$$

Tabla 20: Dimensionamiento de banco de capacitores en compensación grupal.

| It | Denominación | Símbolo | U.M. | Tablero de Distribución Nr: | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|-------|-------|-------|------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| SIN COMPENSACIÓN DEL COS ϕ | | | | | | | | |
| 1 | Potencia nominal de tablero | Pn-tab | kw | 90 | 18 | 26 | 50 | 2.5 |
| 2 | Factor de utilización del tablero | F.U. | - | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| 3 | Potencia Máxima Demanda de tablero | Máx Demanda | | 72 | 14.4 | 20.8 | 40 | 2 |
| 4 | Tensión de alimentación | U2n | V | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| 5 | Factor de potencia sin compensación | Cos ϕ_1 | - | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 |
| 6 | Intensidad máx sin compensación | I1-oper | A | 135.06 | 27.01 | 39.02 | 75.03 | 3.75 |
| 7 | Potencia reactiva sin compensación | Q2-n | Kvar | 52.13 | 10.43 | 15.06 | 28.96 | 1.45 |
| 8 | Potencia aparente sin compensación | S2-n | Kvar | 88.89 | 17.78 | 25.68 | 49.38 | 2.47 |
| CON COMPENSACIÓN DEL COS ϕ | | | | | | | | |
| 9 | Factor de potencia proyectado | Cos ϕ_2 | - | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| 10 | Potencia aparente con compensación | S2-comp | Kvar | 73.47 | 14.69 | 21.22 | 40.82 | 2.04 |
| 11 | Potencia reactiva con compensación | Q2-comp | Kvar | 14.62 | 2.92 | 4.22 | 8.12 | 0.41 |
| 12 | Potencia de banco de condensadores | Qc-trif | Kvar | 37.51 | 7.50 | 10.84 | 20.84 | 1.04 |
| 13 | Potencia banco por fase | Qc-f | Kvar | 12.50 | 2.5 | 3.61 | 6.95 | 0.35 |
| 14 | Capacidad del banco por fase | C-f | μF | 0.69 | 0.14 | 0.20 | 0.38 | 0.02 |

Los bancos para cada tablero quedan como sigue, según tabla:

- Tablero 1: $Q_c = 40$ Kvar
- Tablero 2: 7.5 Kvar
- Tablero 3: 12 Kvar
- Tablero 4: 21 Kvar
- Tablero 5: 1 Kvar

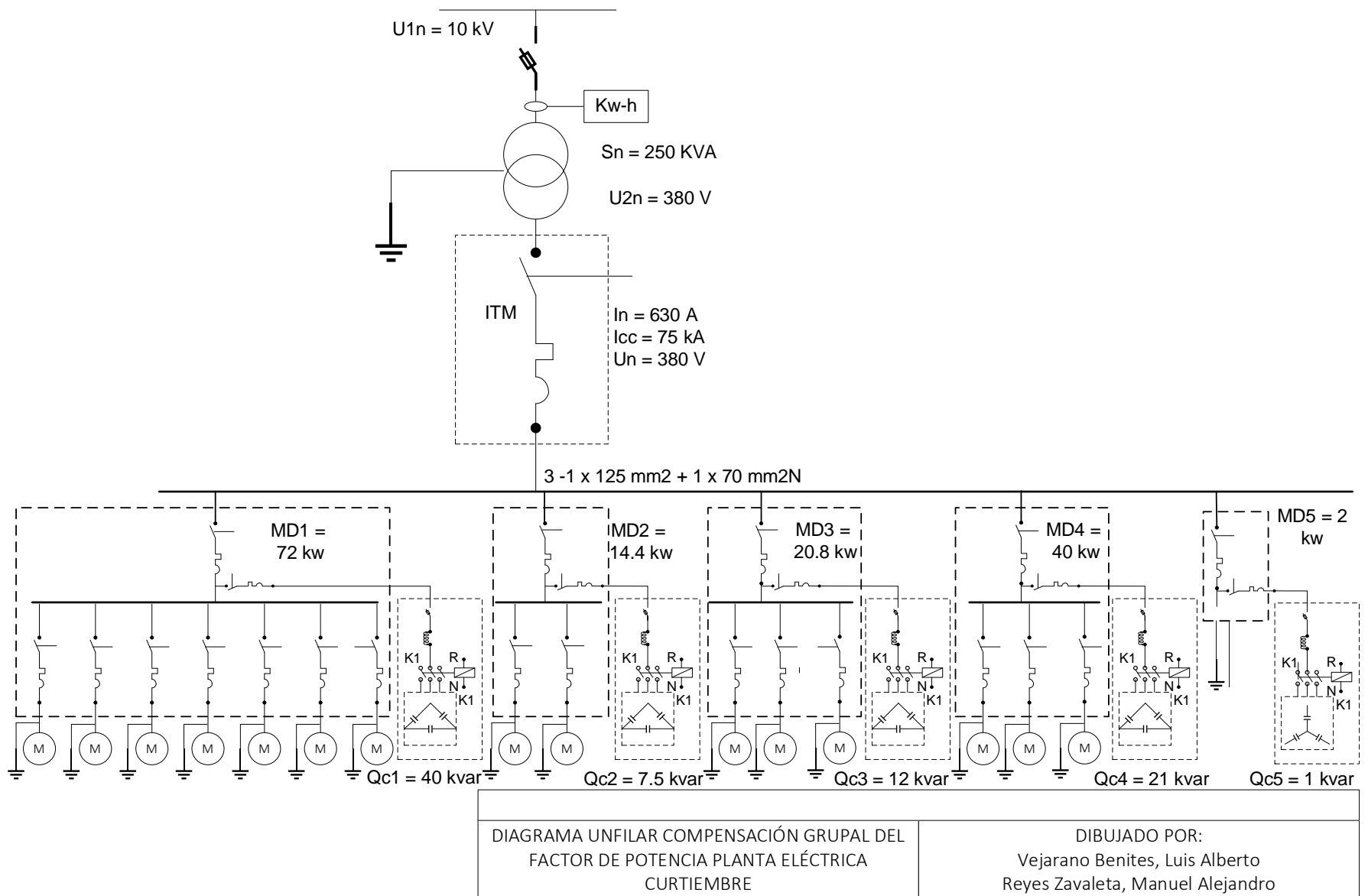


Figura 18: Diagrama unifilar de compensación grupal del factor de potencia en Planta de Curtiembre

Se elaboró el estudio comparativo de compensación reactiva en baja tensión para incrementar el factor de potencia del sistema eléctrico de una curtiembre del Parque Industrial de Trujillo.

Tabla 21: Cuadro comparativo de compensación reactiva centralizada y grupal

| FORMA CENTRALIZADA SIN COMPENSACIÓN DEL $\cos \varphi$ | | | FORMA GRUPAL SIN COMPENSACIÓN DEL $\cos \varphi$ | | | | | | |
|---|--------|------|--|---------------|-------|------|------|-------|------|
| Denominación | | UM | U.M. | Tablero Nr. : | | | | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Potencia activa | 92.9 | kw | Potencia activa MD: | kw | 72 | 14.4 | 20.8 | 40 | 2 |
| Factor de potencia | 0.8 | | Factor de potencia: | - | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Potencia reactiva | 69.68 | Kvar | Potencia reactiva: | Kvar | 52.13 | 10.4 | 15.1 | 28.96 | 1.45 |
| Potencia aparente | 116.13 | Kvar | Potencia aparente: | Kvar | 88.89 | 17.8 | 25.7 | 49.38 | 2.47 |

| CON COMPENSACIÓN CENTRALIZADA DEL $\cos \varphi$ | | | CON COMPENSACIÓN GRUPAL DEL $\cos \varphi$ | | | | | | |
|---|--------|---------|--|---------------|--------|-------|-------|--------|------|
| Denominación | | UM | U.M. | Tablero Nr. : | | | | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Q. reactiva | 20.18 | Kvar | Q reactiva | Kvar | 14.62 | 2.92 | 4.22 | 8.12 | 0.41 |
| P. aparente: | 95.07 | KVA | S. aparente: | KVA | 73.47 | 14.7 | 21.2 | 40.82 | 2.04 |
| Factor de potencia: | 0.98 | - | Factor de potencia: | - | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| P. banco trifásico condens. | 49.5 | Kvar | P. banco trifásico condens. | Kvar | 37.51 | 7.5 | 10.8 | 20.84 | 1.04 |
| Capacidad banco trifásico | 303.10 | μF | Capacidad banco trifásico | μF | 229.66 | 45.93 | 66.35 | 127.59 | 6.38 |

- Potencia total del banco de condensadores en forma centralizada: 50 Kvar
- Potencia total de bancos de condensadores en forma grupal: 77.73 (5 tableros)
- El costo de mantenimiento es mayor en la variante de compensación grupal que en la centralizada.
- Las pérdidas en bancos de condensadores son mayores en la variante grupal de compensación, que en la centralizada (mayor potencia de operación, 77.73 Kvar contra 50 Kvar)
- Existirá más precisión de control del factor de potencia en la variante grupal que en la centralizada de compensación del factor de potencia (la potencia y número de bancos de condensadores a entrar en servicio será controlado por un controlador electrónico)
- Habrá mayor inversión económica en la variante grupal que en la centralizada.

Se elige la variante de compensación centralizada, automática

Objetivo específico 3: Estudio económico costo para la implementación Banco de condensadores:

3.1: Inversiones necesarias

Tabla 22: Relación de materiales para compensación centralizada.

| It | Descripción | Cantidad | U.M. | P. unitario S/. UM | Precio total S/ |
|----|---|----------|--------|--------------------|---------------------|
| 1 | Condensadores de 10 kvar VLVAEW0L050A40AA Regulación: 10+2x20 Secuencia: 1.2.2 | 5 | Piezas | 520 | S/ 2,600.00 |
| 2 | Contactador electromagnético tripolar In = 35 A, 220 V, con inductor de choque | 5 | Piezas | 415 | S/ 2,075.00 |
| 3 | Controlador electrónico de Cos φ. U = 220, 10 relés salida In = 35 A | 1 | Pieza | 3500 | S/ 3,500.00 |
| 4 | Interruptor termomagnético de caja moldeada de 100 A – Regulables 3x70-100A (690V) 85/50kA 230/440V | 1 | Pieza | 2316.42 | S/ 2,316.42 |
| 5 | Transformador de corriente de 1000/5 1kw | 1 | Pieza | 625 | S/ 625.00 |
| 6 | Cable de libre de halógeno N° 3-1x16mm ² | 30 | m | 17.5 | S/ 525.00 |
| 7 | Cable N2XOH libre de halógeno 3-1x25 mm ² | 20 | m | 32 | S/ 640.00 |
| 8 | Cable puesta tierra N° 1x25mm ² | 20 | m | 25 | S/ 500.00 |
| 9 | Tablero metálico IP 66. 45 cm x 90 cm x 75 cm | 1 | Pieza | 615 | S/ 615.00 |
| 10 | Ferretería eléctrica | 1 | Kit | 500 | S/ 500.00 |
| 11 | Gastos generales: Transporte Alimentación Seguros | 1 | Kit | 750 | S/ 750.00 |
| 12 | Mano de obra directa | 224 | HH | 12.5 | S/ 2,800.00 |
| 13 | Inversión total | | | | S/ 17,446.42 |

3.2 Beneficio económico neto

El retorno de la inversión lo dará el ahorro por dejar de pagar por concepto de energía reactiva.

Actualmente la empresa de curtiembre tiene los siguientes valores de potencia, promedio mes:

Potencia activa: 92.90 kw

Potencia reactiva inductiva: 69.68 Kvar

Tiempo de operación x día: 22 horas netas

Número de días de operación mensual: 30 días/mes

Total horas de operación al mes: 22 h/día x 30 d/mes = 660 h/mes

Energía reactiva inductiva a pagar, promedio mes:

EEQ (kvar-h/mes) = $(Q - 0.3 \cdot P) \cdot (Kvar) \cdot T_{po.mes} (h/mes)$

EEQ = $(69.68 - 0.3 \cdot 92.90) \cdot kvar \cdot 660 \text{ h/mes} = 27,594.6 \text{ kvar-h/mes}$

Costo unitario de la energía reactiva inductiva (Fuente: Hidrandina) =

0.042 S/. / Kvar-h

Horro económico por compensar el factor de potencia desde 0.8 hasta 0.98 en curtiembre:

EEQ(Kvar-h/mes) * Cunit Q (S/. / Kvar-h) = $27,594.6 \cdot 0.042 = 1,159 \text{ S./mes}$

3.3. Período de retorno de la inversión:

PRI = Inversión (S/.) / Beneficio económico (S./mes) =

= $16648.42 / 1159 = 15 \text{ meses}$

V. DISCUSIÓN

Cetina-Abreu y otros (2021) realizan un estudio comparativo de modo centralizado y en forma grupal la compensación con banco de condensadores logrando minimizar el consumo de la energía reactiva y aumentando el factor de potencia de 0.80 a 0.96, y así sería el porcentaje de la potencia reactiva. En el presente trabajo, se concluye, luego de hacer un análisis comparativo entre compensación grupal y automática, que el factor de potencia en atraso se puede aumentar desde 0.8 a 0.98.

Para obtener este resultado, se aplican las técnicas de análisis eléctrico, con enfoque de aumento de eficiencia del transformador, lo que se logra en un aumento de 0.35 %, y se logra una reducción de la intensidad total de corriente de 44 A. Para obtener el valor adecuado del nuevo factor de potencia se utiliza un análisis de iteración, con el diseño de hojas de cálculo en Excel, luego se plasman los resultados en gráficos, resulta, que, por seguridad se debe buscar obtener $\cos\varphi = 0.98 > \cos\varphi = 0.95$ (valor mínimo para no pagar energía reactiva.

González (2020) en su investigación, plantean el objetivo de auditoria energética, rediseño de una subestación eléctrica trifásica, para mejorar el factor de potencia, y la eficiencia en su sistema de potencia para tender con mejor calidad de producto, con un factor de potencia programable que permita minimizar la energía reactiva, para que económicamente sea rentable para la empresa. A diferencia de González, el autor de la presente investigación concluye que, para aumentar el factor de potencia no es necesario invertir demasiado dinero, se basa en realizar una auditoría del $\cos\varphi$ y enforzar el problema de tener precisión y flexibilidad, logrando establecer que se necesita, para una Planta de 250 KVA, invertir solamente 16,000 soles, y el retorno será en 14 meses, un plazo bastante razonable.

El análisis del sistema eléctrico de la planta de curtiembre de Trujillo se realizó con valores de los parámetros medidos y registrados con un analizador de redes trifásico, que no registra las variaciones de sobretensión, ni de Subtensión, tampoco de tasas de distorsión armónica ni en corriente ni en tensión, es decir, el análisis se ha realizado considerando que la onda eléctrica senoidal es perfecta, que no tiene distorsión. Este es el motivo por el cual se ha considerado proteger, en parte, a los condensadores de compensación, contra fallas por aumento de la intensidad de corriente, debido a que, cuando existe distorsión armónica, la frecuencia de las armónicas 3,5,7,9 en modo normal, pueden alcanzar valores superiores a los 200 Hz, lo que trae como consecuencia la reducción de la reactancia capacitiva, que depende directamente de la frecuencia, $X_C = 1 / (2\pi f * C)$, que se traduce en aumento de temperatura que conduce a fallas prematuras de los bancos de condensadores.

La protección considerada para los capacitores es de reactores inductivos trifásicos, que se instalan en serie con las reactancias de los condensadores, lo que se traduce en un aumento de la impedancia de los elementos conectados, la reactancia inductiva, llamada de choque tiene una impedancia porcentual típica de 3 %, también las hay de 5 %.

Del análisis resulta que, al compensar el factor de potencia desde 0.80 hasta 0.98, se logra una reducción de la intensidad total de corriente de 176.44 – 144.44 = 32 A, representando una reducción porcentual de 18.14 %, en el cable de distribución y la reducción de la caída de tensión en el mismo cable, desde 1.915 V hasta 1.56 V, la potencia activa perdida en el conductor de distribución, se reduce desde 0.6 kw hasta 0.4 kw. En la práctica, se debe analizar la posibilidad de regular el Tab del transformador, de tal modo que las cargas trabajen con tensiones trifásicas cercanas a los valores de diseño.

VI. CONCLUSIONES

Se desarrolló el objetivo específico nr. 1, con el estudio técnico de compensación reactiva centralizada, se encontró que el factor de potencia actual es de solamente 0.8, siendo la potencia activa promedio de 95.90 kw, la reactiva inductiva de 69.68 kvar, y la aparente de 116.13 kVA, del análisis resulta que se puede obtener, por compensación, un factor de potencia de 0.98, siendo 0.95 el valor mínimo para no pagar energía reactiva inductiva.

Se concluye que la planta de curtiembre opera a 46.45 %, siendo la potencia nominal del transformador de distribución igual a 250 kVA. Además, se concluye que, para una adecuada operación y precisión, es necesario contar con cinco bancos trifásicos de 10 kvar cada uno, controlados con un controlador, electrónico.

Se concluye que la compensación centralizada del factor de potencia otorga buena precisión y flexibilidad.

Se desarrolló el objetivo específico nr. 2, de estudio técnico de compensación del factor de potencia grupal, lo que significa aplicar bancos de condensadores en cada uno de los cinco tableros, cuatro trifásicos y uno monofásico; siendo los valores de los bancos de condensadores para cada tablero los siguientes: $Q_{c1} = 40$ Kvar, $Q_{c2} = 7.5$ Kvar, $Q_{c3} = 12$ Kvar, $Q_{c4} = 21$ Kvar, $Q_{c5} = 1$ Kvar.

El valor del factor de potencia nuevo a ser obtenido en esta variante es de 0.98, para lo cual se obtendría una reducción de la intensidad de corriente general, del orden del 14.5% de la intensidad actual.

Se concluye que esta variante de compensación grupal no es muy conveniente, pues es más compleja, requiere más elementos, es más cara, no tiene gran precisión, pues entrega toda la potencia reactiva a la vez, debido a que

opera en paralelo con las cargas de los tableros de distribución, que tienen un coeficiente de simultaneidad igual a 1 (operan todos a la vez) y un factor de potencia de 0.80.

Se desarrolló el objetivo específico nr. 3, que consiste en hacer un análisis comparativo de las dos variantes de compensación del factor de potencia, centralizada y grupal, con los siguientes resultados:

Qc de capacitores en forma centralizada: 50 Kvar

Qc capacitores en forma grupal: 77.73 (5 tableros)

Costo de mantenimiento mayor en variante de compensación grupal que en la centralizada, son más elementos.

Pérdidas de potencia en bancos de capacitores son mayores en el modo grupal que en la centralizada (77.73 Kvar contra 50 Kvar)

Más precisión de control del $\cos\phi$ en variante grupal que en centralizada de compensación del $\cos\phi$

Hay mayor inversión económica en el modo grupal que en el automático. Debido a que son más elementos que demanda más insumos de montaje e instalación y más mano de obra.

Se concluye, en base a lo analizado y expuesto, que la variante de compensación del factor de potencia en modo automático es más conveniente que la de compensación grupal.

Se desarrolló el análisis económico de la inversión, se determinó que es necesario invertir 17,446.42 soles, el beneficio neto resulta ser de 1,159 soles por mes, y el período de retorno de la inversión de 15 meses (1.25 años)

Teniendo en cuenta que la vida útil de los bancos de condensadores, con un adecuado mantenimiento y sin gran distorsión armónica, es de 10...12 años, se concluye que es atractivo hacer la inversión en la compensación del factor de potencia de forma automática (centralizada).

VII. RECOMENDACIONES

- Invertir en la implementación de la compensación del factor de potencia para el sistema eléctrico de la Planta de curtiembre, pues existe alta viabilidad técnica y económica.
- Monitorear los parámetros que determinan la calidad de energía eléctrica, para definir si existe distorsión armónica que perjudique la operación y vida útil de los condensadores
- Aplicar un adecuado mantenimiento a los bancos de condensadores y accesorios, para tener buena disponibilidad y confiabilidad.
- Capacitar al personal de operación y mantenimiento eléctrico, en compensación reactiva y calidad de energía, para comprender los fenómenos que pueden generar inestabilidad y problemas en el sistema operativo.
- Instalar instrumentos de medición y registro de los parámetros eléctricos de Planta de curtiembre, que permitan analizar y tomar decisiones más concretas y precisas.
- Realizar un estudio de calidad de energía, con base a las normas técnicas peruanas respectivas y determinar si los parámetros de tensión, sobretensión, frecuencia, distorsión armónica en tensión y distorsión armónica en corriente están por debajo de los valores admisibles.

REFERENCIAS

- Chapman, S (2019). "Maquinas Eléctricas". Cuarta Edición. Editorial Mc. Graw Hill. México D.F.
- Fitzgerald, A. y otros (2018). "Maquinas Eléctricas". Sexta Edición. Editorial Mc. Graw Hill. México D.F.
- Hernández, R y otros (2018), "Metodología de la Investigación". Tercera Edición. Editorial Mc. Graw Hill. México D.F.
- Tamayo, M. (2018). "El Proceso de la Investigación Científica". Cuarta Edición. Editorial Noriega Editores. México D.F.
- AECA Group – Barcelona (2019). Artículo Corrección de energía reactiva. Recuperado de: <http://aecagroup.com/baterias-de-compensacion-reactiva-html/>
- Albornoz Yáñez, J. (2003). Tesis: Análisis de las pérdidas de energía eléctrica en el sistema de distribución de Arequipa. Universidad de Piura.
- Balcells, J., Autonell, J., Barra, V., Brossa, J., Fornieles, F., Garcia, B., Ros, J. & Serra, J. (2020). Eficiencia en el uso de la energía eléctrica. Circuitos S.A. & Marcombo S.A.
- Cenergia SAC (2019). Estudio sobre la evaluación de pérdidas técnicas en BT (baja tensión) y MT (media tensión) para ENOSA – ELECTRONOROESTE S.A.
- CLAS Ingeniería Eléctrica S.A (agosto 2019). Las ventajas de compensar con bancos estáticos. Electro Industria y Soluciones Tecnológicas para la Minería, Energía e Industria. Recuperado de: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1444&srch=&act=4&tip=7>
- Clavijo Flores, F. G. (febrero 2018), Tesis: Análisis de factibilidad para la compensación de reactivo en función del mínimo de pérdidas en redes de distribución. Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/bed8/6ee54acb2d364cd70f71a586c12ae06ed3f8.pdf>

- Consorcio Salitral (2019). Informe de ejecución de proyecto de compensación reactiva BT, implementado en ENOSA. Enel Perú 2018, Glosario. Recuperado de: <https://www.enel.pe/es/ayuda/glosario.html>
- -Forniles, F. (2018). Compensación de la energía reactiva y filtrado de armónicos. Revista virtual Novedades R -CIRCUTOR (p.18-19). Recuperado de: http://circuitor.com/docs/Apl_SP-compensacionBT-MT.pdf
- Gómez Morales, E. (2019). Tesis: Compensación de Potencia Reactiva. Instituto Politécnico Nacional de México, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Unidad Profesional Adolfo López Mateos.
- Merlin Gerin, Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos baja y media tensión. Recuperado de:
http://www.construmatica.com/archivos/28205/distribucion_electrica_en_baja_tension/baterias_y_condensadores_baja_tension/catalogo_tarifa_compensacion_de_energia_reactiva_y_filtrado_de_armonicos.pdf
- Fernández, Leonardo. (2020). Compensación de la potencia reactiva de los pequeños y medianos consumidores. Revista Científica de Ingeniería Energética. 25. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277852648_Compensacion_de_la_potencia_reactiva_de_los_pequeños_y_medianos_consumidores
- Pineda, E. (2019). Beneficios al corregir el factor de potencia. Disponible en: <http://www.itadviser.mx/blog/beneficios-al-corregir-el-factor-de-potencia/>
- Canabal, E. (2021). La compensación de energía reactiva, un paso crucial para reducir la factura de la luz de tu empresa. Disponible en: <https://gesternova.com/la-compensacion-de-energia-reativa-un-paso-crucial-para-reducir-la-factura-de-la-luz-de-tu-empresa/>

CAMUI, Cerasela. 2020. *Corrección del factor de potencia: una introducción práctica para estudiantes*. Romania: Faculty of Power Engineering, University Politehnica of Bucharest, Bucharest, 2020. 20470059.

CETINA-ABREU, Rubén, Joaquín, MADRIGAL-MARTINEZ, Manuel y TORRES-GARCÍA, Vicente and CORONA-SÁNCHEZ, Manuel. 2021. *Compensación de potencia reactiva considerando un modelo de gestión de mantenimiento en una planta industrial*. México. : Universidad Tecnológica de Campeche, México., 2021. 10.35429/JIE.2021.14.5.1.10.

Dnyanada, Hire1, y otros. 2019. *COMPENSACIÓN DEL CORRECTOR DEL FACTOR DE POTENCIA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR*. India : 1Profesor Asistente, Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, Dr. DY Patil Inst. de Ing. gestión y Res.,, 2019.

Farías, Lachira, Juan, Alberto y Marreros, Huaman, Luis,Eddy. 2020. *Plan de eficiencia energética en sistema de distribución trifásico en base a*. Trujillo : Tesis, 2020.

GHAZIABAD, Sravanthi, y otros. 2020. *Reducción de Sanciones en Energía Industrial*. Telangana. India : Department of Electrical and Electronics Engineering, Vignan Institute of Technology and Science., 2020. Vols. Volume 09, Issue 04 (April 2020). 2278-0181.

GIL, Luis. 2021. *Impacto de Pérdidas de Energía en Media Tensión y Rentabilidad*. LIMA : s.n., 2021.

—. 2021. oai:repositorio.ucv.edu.pe:20.500.12692/73951. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/73951>. [En línea] 2021.

GONZALES , Jessel. 2020. *Auditoría energética y rediseño de subestación eléctrica*. Trujillo : s.n., 2020.

Jaramillo, Manuel y Tipán, Luis. 2020. *Investigación científica*. India : Editorial Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos Inc., 2020.

Lluen Mejia, Antonny, Eduardo. 2019. *Auditoría energética para reducir*

el consumo . Chiclayo : Tesis, 2019.

NITIN, Kumar Saxena. 2020. *Control de tensión mediante participación optimizada de compensación de potencia reactiva mediante condensador fijo y STATCOM*. Ghaziabad la India : Elseiver, 2020. págs. 175-187. Vol. 262.

Opokua, Richard, y otros. 2022. *Análisis y modelado de sostenibilidad*. Estados unidos : Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Ciencia y Tecnología Kwame Nkrumah, Kumasi, Ghana b Centro de Energía BrewHammond,, 2022.

OSINERGMIN. 2016.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/868060/Osinergmin-206-2013-OS-CD.pdf.pdf>. [En línea] 2016.

SCHNEIDER ELECTRIC. 2021. Schneider Electric SE's Articles of Association updated on May 5, 2022. [En línea] 12 de Julio de 2021.

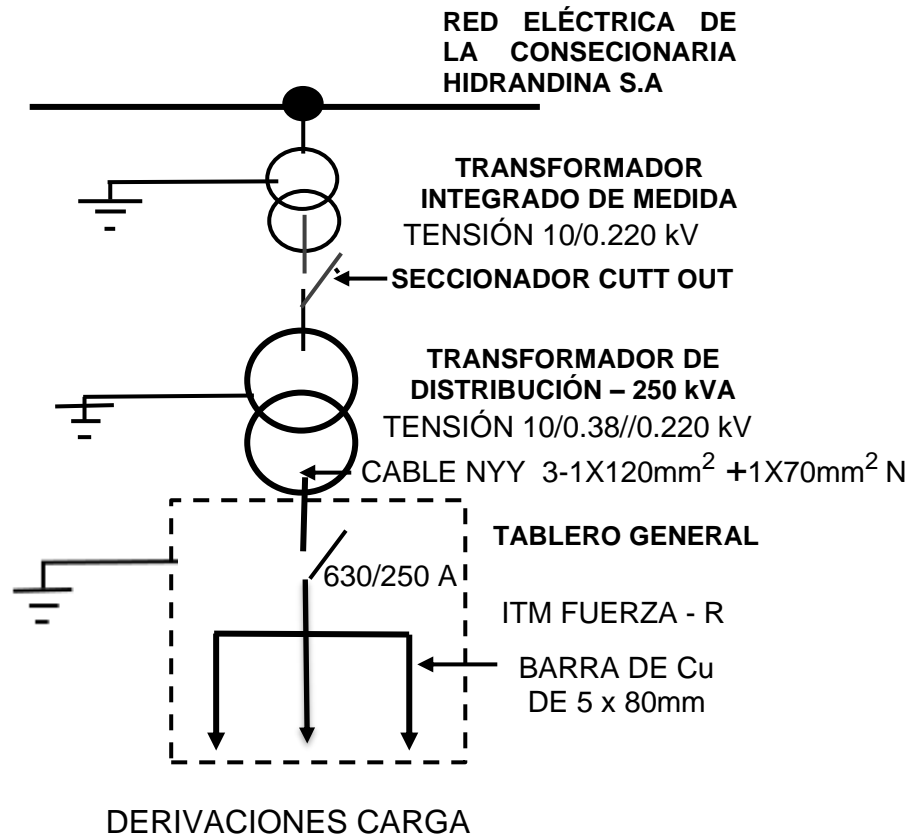
<https://www.se.com/pe/es/download/document/MYCE2021/>.

SHNEIDER. 2019. *Compensación de Energía Reactiva, y Filtrado de Armónicos*. Barcelona - España : Bac de Roda, 52 Edificio A, 2019. 08019.

Zhen , Wang, y otros. 2020. *DSTATCOM integrated with Y-y connection transformer for reactive power compensation*. China : Elsevier, 2020. Vol. 117.

ANEXOS

Anexo 1: Alcance del diagrama unifilar del transformador de distribución que se ubica en el interior del local de la Curtiembre.



Anexo 2: Estructura del transformador integración de medida.



Anexo 3: Estructura biposte con transformador de distribución



Anexo 4: placa de transformador de distribución 250 KVA

FASETRON S.R.L.
TRANSFORMADOR

| | | | |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| TIPO | BAT250K0 | PRIMARIO | SECUNDARIO |
| N° SERIE | 210178 | TENSION V | 10000 400-231 |
| POTENCIA | 250 KVA | CORRIENTE A | 14.4 360.8 |
| FASES | 3φ | NIVEL AISL. INT.(KV) | 15.5 / 34 / 95 0.6 / 3 |
| FRECUENCIA | 60Hz | NIVEL AISL. EXT.(KV) | 24 / 50 / 125 1.1 / 3 / 10 |
| Tcc % a 75 °C | 3.8 | CONEXION | DELTA ESTRELLA |
| GRUPO | Dyn5 | BORNES | U - V - W 0 - II - U - W |
| NORMA | EC-76 (NTEC-371.002) | | |
| REFRIGERACION | ONAN | | |
| ALTITUD | 1000msnm | | |
| PESO PARTE ACTIVA | 480Kg. | | |
| PESO DEL ACEITE | 160Kg. | | |
| PESO TOTAL | 780Kg. | | |
| TIPO DE ACEITE | TULSTAR(15-3487) | | |
| TEMP. MAX. AMBIENTE | 40 °C | | |
| AÑO DE FABRICACION | 2011 | | |

| POSICION DEL CONMUTADOR | PRIMARIO (VOLTIOS) | SECUNDARIO (VOLTIOS) |
|-------------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | 10500 | 400 231 |
| 2 | 10250 | 400 231 |
| 3 | 10000 | 400 231 |
| 4 | 9750 | 400 231 |
| 5 | 9500 | 400 231 |

DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL TRANSFORMADOR
BOBINADO PRIMARIO (Δ) BOBINADO SECUNDARIO (Y)

CONMUTADOR DE REGULACION DE TENSION EN VACIO
(CONMUTAR CON EL EQUIPO FUERA DE SERVICIO)

OFICINA Y PLANTA: Calle Los Rosales Mtz.H LL. 8 Urb. Shangri-la Planta Pineda TEL: 551-1050, 551-1212
E-mail: fase@fasetron.com Home Page: www.fasetron.com

Anexo 5: Placa de transformador de distribución 250 KVA



Anexo 6: Tabla de inventario de máquinas eléctricas

| DESCRIPCIÓN | CAPACIDADES EN POTENCIA | CANTIDAD | UBICACIÓN |
|-------------------------------|-------------------------|----------|---------------------------------------|
| Transformador de Distribución | 250 kVA | 01 | Pasando la puerta principal del local |
| Botales | 15 Hp c/u | 04 | Área de la ribera |
| Botales | 20 Hp c/u | 03 | Área de la ribera |
| Descarnadora1 | 12 Hp | 01 | Área de la ribera |
| Descarnadora 2 | 12 Hp | 01 | Área de la ribera |
| Divididora grande | 20 Hp | 01 | Área de la ribera |
| Divididora 1Chica | 12 Hp | 01 | Área de la ribera |
| Escurreidora | 3 Hp | 01 | Área de la ribera |
| Rebajadora | 57 Hp | 01 | Área de la ribera |
| Secado vacío | 10 Hp | 02 | Área de la ribera |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7: Tablero de distribución principal



Anexo 8: Autorización de información empresa de curtiembre

CARGO

AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo Rosa Yolanda Rodríguez Verde.....
(Nombre del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)
identificado con DNI 18220510, en mi calidad de **GERENTE GENERAL**
(Nombre del puesto del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)
del área de... **GERENCIA GENERAL**.....
(Nombre del área de la empresa)
de la empresa **CURTIEMBRE & SERVICIOS LIBERTAD S.A.C.**.....
(Nombre de la empresa)
con R.U.C N°...2048104691, ubicada en MZ C1 Lote 01, en la ciudad de La Esperanza – Trujillo.
La Libertad.

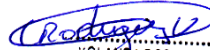
OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor, Luis Alberto Vejarano Benites, Identificado con DNI N° 17925543; y al señor Manuel
(Nombre completo del o los estudiantes)
Alejandro Reyes Zavaleta Identificado DNI N° 70193116, de la Carrera profesional Ingeniería
Mecánica Eléctrica, para que utilice la siguiente información de la empresa:
.....Toma de datos, y muestras a través de las mediciones eléctricas; y análisis de estudio de
alternativas de compensación reactiva en las instalaciones eléctricas en las máquinas eléctricas
que funcionan al interior de la curtiembre,
.....;
(Detallar la información a entregar)
con la finalidad de que pueda desarrollar su Informe estadístico, Trabajo de Investigación,
 Tesis, para optar al grado de Bachiller, o Título Profesional.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo
de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

- Mantener en Reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o
 Mencionar el nombre de la empresa.

CURTIEMBRE & SERVICIOS LIBERTAD S.A.C.

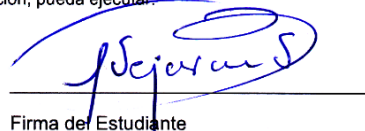


ROSALBA RODRIGUEZ VERDE
GERENTE GENERAL

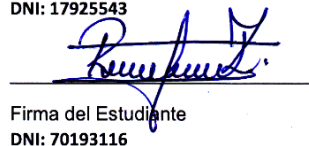
Firma y sello del Representante Legal

DNI: 18220510

Los estudiantes declaran 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, los 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
DNI: 17925543



Firma del Estudiante
DNI: 70193116

Anexo 9: Solicitud de ingreso a Planta de curtiembre y uso de información

CARGO

Ciudad, Trujillo 28, de abril de 2022

Señor (a):
RODRIGUEZ VERDE ROSA YOLANDA
GERENTE GENERAL
CURTIEMBRE & SERVICIOS LIBERTAD S.A.C
Presente. -

Es grato dirigirme a usted para saludarlo, y a la vez manifestarle que dentro de mi formación académica en la experiencia curricular de investigación del X. ciclo, se contempla la realización de una investigación con fines netamente académicos /de obtención de mi título profesional al finalizar mi carrera.

En tal sentido, considerando la relevancia de su organización, solicito su colaboración, para que pueda realizar mi investigación en su representada y obtener la información necesaria para poder desarrollar la investigación titulada:

"Estudio de alternativas de compensación reactiva de la instalación eléctrica en baja tensión de una Curtiembre del Parque Industrial de Trujillo"

. En dicha investigación me comprometo a mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa, salvo que se crea a bien su socialización.

Se adjunta la carta de autorización de uso de información en caso que se considere la aceptación de esta solicitud para ser llenada por el representante de la empresa.

Agradeciéndole anticipadamente por vuestro apoyo en favor de mi formación profesional, hago propicia la oportunidad para expresar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

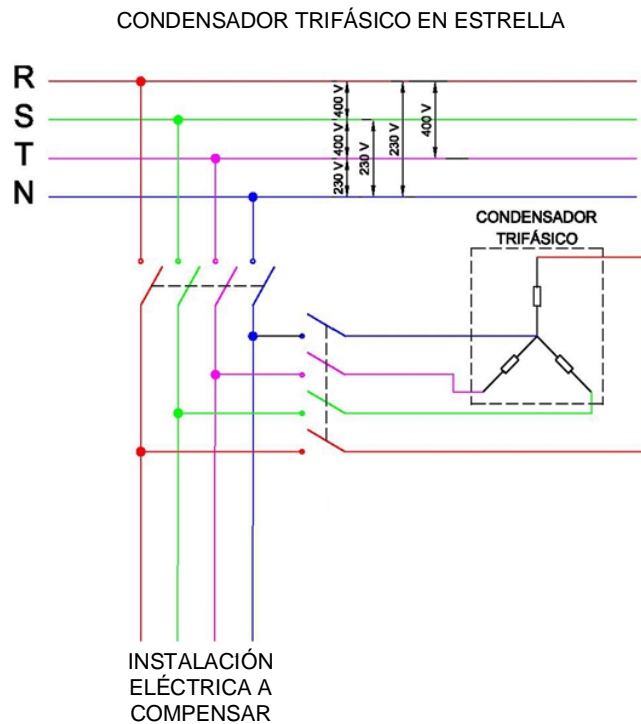


Luis Alberto Vejarano Benites
DNI 17925543

Anexo 10: Parámetros de conductores trifásicos de cobre en BT

| ESPECIFICACIONES CONDUCTORES TIPO NKY 0.6/1 Kv | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------|-------------|-----------|-------|----------|-------------------|-------|----------------------------|------|---------|
| CALIBRE CABLE | N° HILOS | ESPEORES | | | | Diámetro Exterior | PESO | Capacidad de Corriente (*) | | |
| | | AISLAMIENTO | | Plomo | Cubierta | | | Enterrado | Aire | Ducto |
| | | Con.Cond | Cond.Plom | | | mm | | | | |
| N° x mm² | | | | | | | | | | |
| CABLES BIPOLARES | | | | | | | | | | |
| 2 x 6 | 1 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 15 | 731 | 701 | 56 | 57 |
| 2 x 10 | 1 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 17 | 926 | 95 | 75 | 77 |
| CABLES TRIPOLARES | | | | | | | | | | |
| 3 x 6 | 1 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 16 | 830 | 59 | 52 | 47 |
| 3 x 10 | 1 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 18 | 1060 | 81 | 67 | 65 |
| 3 x 16 | 7 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.5 | 21 | 1425 | 105 | 90 | 85 |
| 3 x 25 | 7 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.6 | 25 | 1970 | 135 | 120 | 109 |
| 3 x 35 | 7 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.7 | 27 | 2450 | 165 | 160 | 133 |
| 3 x 50 | 19 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.8 | 28 | 2770 | 195 | 185 | 157 |
| 3 x 70 | 19 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | 1.9 | 30 | 3580 | 245 | 235 | 196 |
| 3 x 95 | 19 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | 2.0 | 35 | 4740 | 290 | 280 | 232 |
| 3 x 120 | 37 | 2.0 | 1.4 | 1.6 | 2.1 | 36 | 5615 | 330 | 330 | 264 |
| 3 x 150 | 37 | 2.0 | 1.8 | 1.7 | 2.3 | 42 | 6990 | 375 | 375 | 300 |
| 3 x 185 | 37 | 2.0 | 1.8 | 1.8 | 2.4 | 43 | 8260 | 420 | 430 | 331 |
| 3 x 240 | 61 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.6 | 50 | 10870 | 480 | 510 | 379 |
| 3 x 300 | 61 | 2.2 | 2.0 | 2.1 | 2.8 | 55 | 13070 | 545 | 590 | 430 |
| CABLES TETRAPOLARES | | | | | | | | | | |
| 4 x 6 | 1 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 17 | 987 | 59 | 52 | 47 |
| 4 x 10 | 1 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.5 | 20 | 1261 | 81 | 67 | 65 |
| 4 x 16 | 7 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.5 | 23 | 1707 | 105 | 90 | 85 |
| 3 x 35/16 | 0.14 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.6 | 27 | 2302 | 135 | 120 | 109 |
| 3 x 25/16 | 44019.00 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.7 | 29 | 2765 | 165 | 160 | 133 |
| 3 x 50/25 | 44031.00 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | 1.8 | 33 | 3570 | 195 | 185 | 157 |
| 3 x 70/35 | 44031.00 | 1.6 | 1.4 | 1.5 | 1.9 | 37 | 4717 | 245 | 235 | 196 |
| 3 x 95/50 | 19/ 19 | 1.6 | 1.4 | 1.6 | 2.1 | 42 | 6115 | 290 | 280 | 232 |
| 3 x 120/70 | 37/ 19 | 1.6 | 1.4 | 1.7 | 2.2 | 47 | 7589 | 330 | 330 | 264 |
| (*) | -TEMPERATURA DEL SUELO | | | | | | | | | |
| | -TEMPERATURA AMBIENTE | | | | | | | | | |
| | -TEMPERATURA EN EL CONDUCTOR | | | | | | | | | |
| | - RESISTIVIDAD DEL SUELO | | | | | | | | | 1°k.m/w |

Anexo 11: Instalación de banco de condensadores trifásicos



Anexo 12: Contactor electromagnético tripolar para cargas capacitiva

CARACTERÍSTICAS:

- Incrementan la vida de los Capacitores
- Evitan desgaste de los Capacitores
- No afectan la calidad de la energía
- Capacidad de maniobra: 27-54 kVAr
- Tensión de fuerza 240V, 480V 60Hz
- Tensión de Control 230V

DATOS TÉCNICOS:

- Rango de tensión 400...690V
- Tensión de Bobina 230V 60Hz
- Contacto NA
- Aprobados UL



CONTACTORES TRIPOLARES PARA CARGAS CAPACITIVAS CON ATENUADORES DE CORRIENTES DE INSERCIÓN. SU CONEXIÓN SUAVE HACIA EL CAPACITOR REDUCE TRANSITORIOS HACIENDO QUE LA VIDA ÚTIL DEL CAPACITOR SE EXTIENDA Y CON ELLO MEJORANDO LA CALIDAD DE LA ENERGÍA

Anexo 13: Controlador automático de factor de potencia

CARACTERÍSTICAS:

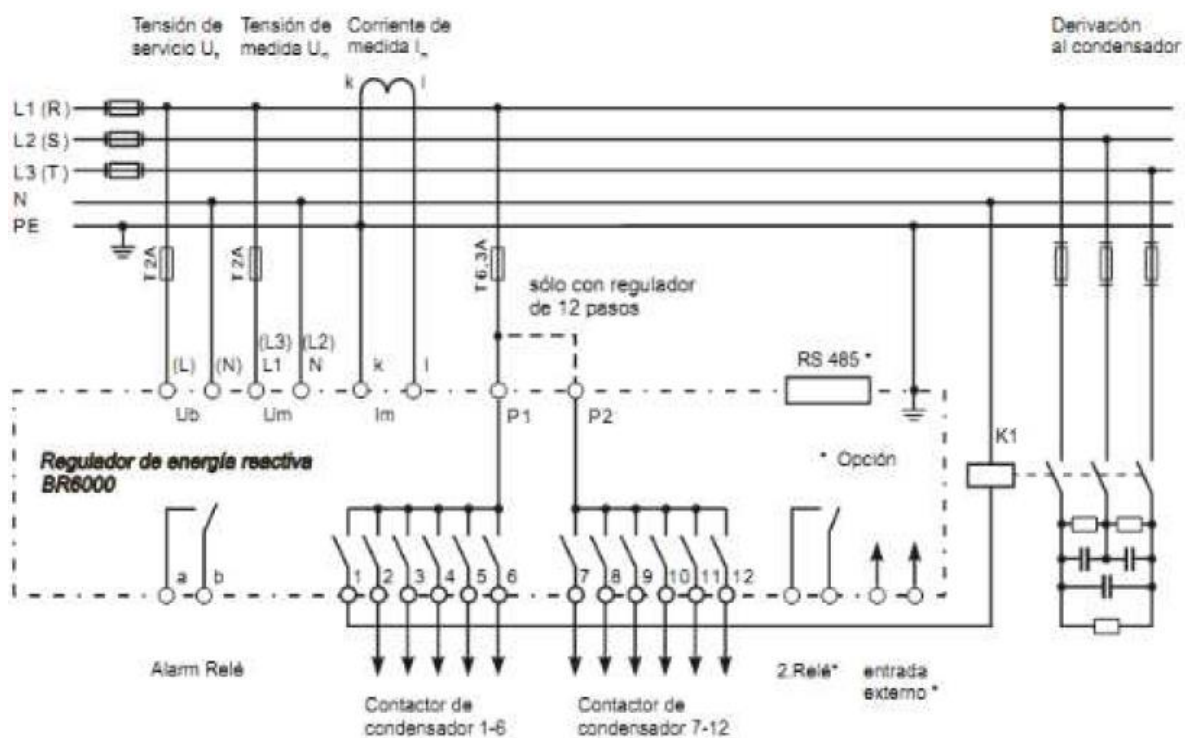
- Controlador de FP de alta performance
- Con analizador de armónicas hasta la 19ª
- Con registro de parámetros máximos
- Con múltiples alarmas de supervisión
- Con menú en Español
- Con inicialización automática

DATOS TÉCNICOS:

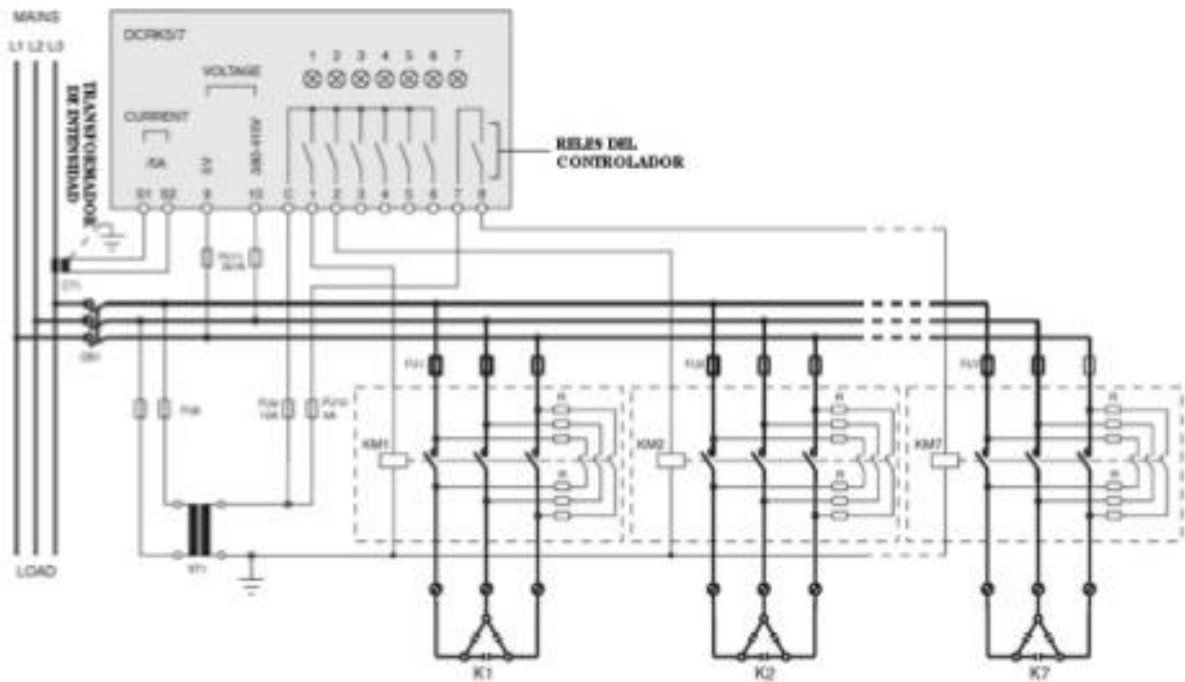
- Tensión de alimentación 110...230VCA 60Hz
- Tensión de medición 30...525VCA (L-N) ó (L-L)
- Corriente de medición: .../5A ó .../1A



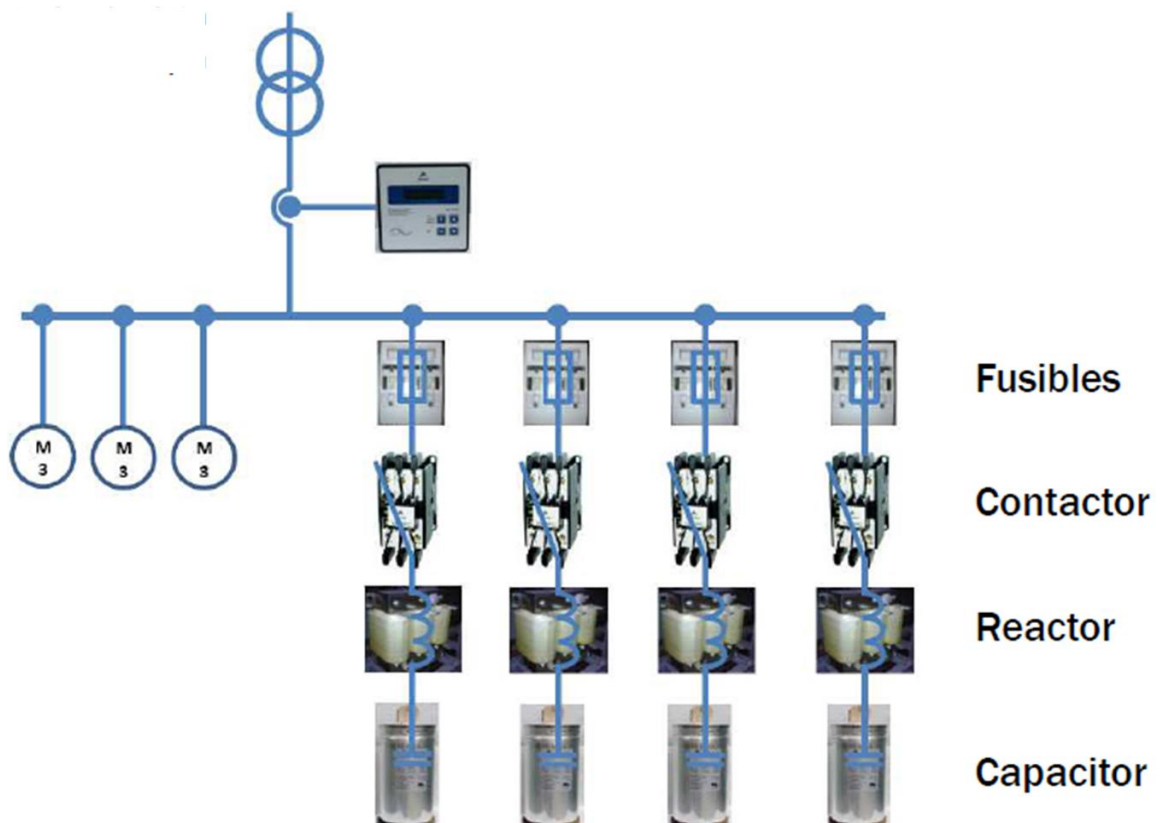
Anexo 14: Instalación de control automático para factor de potencia



Anexo 15: Conexión del controlador automático de factor de potencia



Anexo 16: Instalación de sistema automático de compensación del $\text{Cos}\phi$



Anexo 17: Potencias de capacitores para compensar el factor de potencia

| P KVA | Perdidas en vacio W | Perdidas debidas a la carga W | Tensión de corto- circuito % | Potencia reactiva a compensar | |
|----------|---------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| | | | | Vacio Kvar | Plena carga Kvar |
| 100 | 320 | 1750 | 4 | 2.98 | 7.30 |
| 160 | 460 | 2350 | 4 | 4.38 | 11.52 |
| 200 | 550 | 2850 | 4 | 5.24 | 14.21 |
| 250 | 650 | 3250 | 4 | 6.25 | 17.60 |
| 315 | 770 | 3900 | 4 | 7.50 | 21.98 |
| 400 | 930 | 4810 | 4 | 9.05 | 27.36 |
| 500 | 1100 | 5950 | 4 | 11.33 | 34.24 |
| 630 | 1300 | 6950 | 4 | 13.52 | 42.59 |
| 800 | 1560 | 12000 | 5,5 | 23.89 | 74.69 |
| 1000 | 1840 | 13900 | 6 | 28.68 | 98.71 |
| 1250 | 2160 | 15000 | 5,5 | 32.84 | 113.35 |
| 1600 | 2640 | 18100 | 6 | 38.20 | 151.33 |
| 2000 | 3900 | 22500 | 7 | 45.36 | 211.20 |
| 2500 | 4500 | 27500 | 7,5 | 53.76 | 276.00 |
| 3150 | 5400 | 35000 | 8 | 63.96 | 363.60 |

Anexo 18: Instrumento de evaluación: Hoja de encuesta

APELLIDOS Y NOMBRES:

FECHA:

Escuela de Mecánica eléctrica, facultad de Ingeniería

1; Considera que la Planta industrial de Curtiembres hace buen uso de la energía eléctrica?

- a) Sí b) No
Explicar la razón

2. Considera que al reducir el consumo de energía eléctrica contribuye a aumentar la seguridad operacional, ¿ser más amigable con el medio ambiente y a obtener beneficios económicos para la planta de Curtiembres?

- a) Sí b) No

Explicar la razón

3. Considera que es importante implementar planes de gestión eléctrica en Planta de Curtiembres?

- a) Sí, b) No

4. Conoce áreas o equipos críticos en los cuales sea necesario mejorar el sistema eléctrico en Planta de Curtiembres?

- Sí No

5) ¿Ha recibido capacitación en eficiencia energética, seguridad eléctrica?

- Sí No

6) Considera que se hace un buen mantenimiento preventivo a los componentes del sistema eléctrico de Planta de Curtiembre?

- Sí No

7) Considera que la iluminación es la adecuada en Planta de Curtiembre?

- Sí No

Anexo 19: Instrumento de evaluación

VALIDACIÓN DE CONTENIDO DE FICHA DE REGISTRO PARA LA VARIABLE

INSTRUCCIÓN: A continuación, se le hace llegar el instrumento de recolección de datos (Ficha de registro) que permitirá recoger la información en la presente investigación: **Compensación reactiva en baja tensión, del factor de potencia eléctrica de una curtiembre del Parque Industrial de Trujillo**. Por lo que se le solicita que tenga a bien evaluar el instrumento, haciendo, de ser caso, las sugerencias para realizar las correcciones pertinentes. Los criterios de validación de contenido son:

| Criterios | Detalle | Calificación |
|-------------|--|-----------------------------------|
| Suficiencia | El elemento pertenece a la dimensión y basta para obtener la medición de esta | 1: de acuerdo 0: en desacuerdo |
| Claridad | El elemento se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas | 1: de acuerdo 0: en desacuerdo |
| Coherencia | El elemento tiene relación lógica con el indicador que está midiendo | 1: de acuerdo 0: en desacuerdo |
| Relevancia | El elemento es esencial o importante, es decir, debe ser incluido | 1: de acuerdo 0: en desacuerdo |

Nota. Criterios adaptados de la propuesta de Escobar y Cuervo (2008).

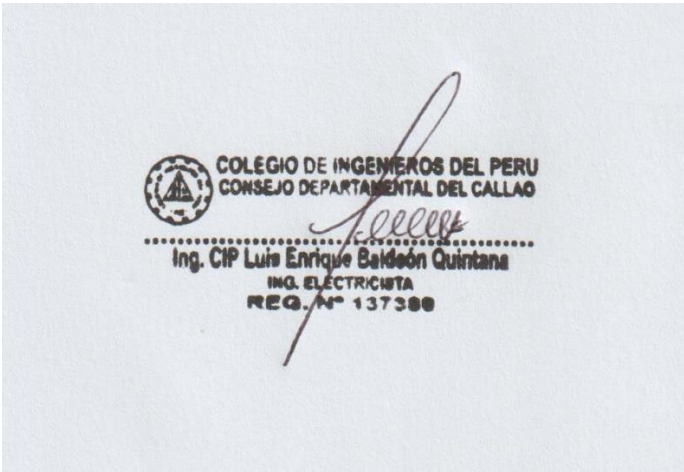
MATRIZ DE VALIDACIÓN DE FICHA DE REGISTRO DE LA VARIABLE CUANTITATIVA

Definición de la variable: Ficha de recolección de datos

| Dimensión | Indicador | Elemento | Suficiencia | Claridad | Coherencia | Relevancia | Observación |
|-------------|-------------|---|-------------|----------|------------|------------|-------------|
| Dimensión A | Indicador 1 | ¿El instrumento de recolección de datos está formulado con lenguaje apropiado y comprensible? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión B | Indicador 2 | ¿El instrumento de recolección de datos guarda relación con el título de la investigación? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión C | Indicador 3 | ¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión D | Indicador 4 | ¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la(s) variable(s) de estudio? | 1 | 1 | 1 | 1 | |

| | | | | | | | |
|-------------|-------------|---|---|---|---|---|--|
| Dimensión F | Indicador 5 | ¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se desprenden con cada uno de los indicadores? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión G | Indicador 6 | ¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se sostienen en antecedentes relacionados con el tema y en un marco teórico? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión H | Indicador 7 | ¿el diseño del instrumento de recolección de datos facilitará el análisis y el procesamiento de los datos? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión I | Indicador 8 | ¿El instrumento de recolección de datos tiene una presentación ordenada? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión J | Indicador 9 | ¿El instrumento guarda relación con el avance de la ciencia, la tecnología y la sociedad? | 1 | 1 | 1 | 1 | |

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

| | |
|---------------------------------|---|
| Nombre del instrumento | Ficha de registro de datos |
| Objetivo del instrumento | Recolectar información para brindar mejor consistencia y valor. |
| Nombres y apellidos del experto | ING. CIP LUIS ENRIQUE BALDEÓN QUINTANA Reg. Del Colegio de Ingenieros N° 137388 |
| Documento de identidad | 10187938 |
| Años de experiencia en el área | 29 |
| Máximo Grado Académico | MAGISTER |
| Nacionalidad | PERUANA |
| Institución | UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO |
| Cargo | INGENIERO ELECTRICISTA |
| Número telefónico | 954799730 |
| Firma |  <p>The image shows a handwritten signature in black ink over a circular official stamp. The stamp contains the text: 'COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU', 'CONSEJO DEPARTAMENTAL DEL CALLAO', 'Ing. CIP Luis Enrique Baldeón Quintana', 'ING. ELÉCTRICISTA', and 'REG. N° 137388'. The signature is written over the stamp and extends upwards and to the right.</p> |
| Fecha | Trujillo 22 de mayo de 2022 |

VALIDACIÓN DE CONTENIDO DE FICHA DE REGISTRO PARA LA VARIABLE

INSTRUCCIÓN: A continuación, se le hace llegar el instrumento de recolección de datos (Ficha de registro) que permitirá recoger la información en la presente investigación: **Compensación reactiva en baja tensión, del factor de potencia eléctrica de una curtiembre del Parque Industrial de Trujillo**. Por lo que se le solicita que tenga a bien evaluar el instrumento, haciendo, de ser caso, las sugerencias para realizar las correcciones pertinentes. Los criterios de validación de contenido son:

| Criterios | Detalle | Calificación |
|-------------|--|-----------------------------------|
| Suficiencia | El elemento pertenece a la dimensión y basta para obtener la medición de esta | 1: de acuerdo 0: en desacuerdo |
| Claridad | El elemento se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas | 1: de acuerdo 0: en desacuerdo |
| Coherencia | El elemento tiene relación lógica con el indicador que está midiendo | 1: de acuerdo 0: en desacuerdo |
| Relevancia | El elemento es esencial o importante, es decir, debe ser incluido | 1: de acuerdo 0: en desacuerdo |

Nota. Criterios adaptados de la propuesta de Escobar y Cuervo (2008).

MATRIZ DE VALIDACIÓN DE FICHA DE REGISTRO DE LA VARIABLE CUANTITATIVA

Definición de la variable: Ficha de recolección de datos

| Dimensión | Indicador | Elemento | Suficiencia | Claridad | Coherencia | Relevancia | Observación |
|-------------|-------------|---|-------------|----------|------------|------------|-------------|
| Dimensión A | Indicador 1 | ¿El instrumento de recolección de datos está formulado con lenguaje apropiado y comprensible? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión B | Indicador 2 | ¿El instrumento de recolección de datos guarda relación con el título de la investigación? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión C | Indicador 3 | ¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión D | Indicador 4 | ¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la(s) variable(s) de estudio? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión F | Indicador 5 | ¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se desprenden con cada uno de los indicadores? | 1 | 1 | 1 | 1 | |

| | | | | | | | |
|-------------|-------------|---|---|---|---|---|--|
| Dimensión G | Indicador 6 | ¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se sostienen en antecedentes relacionados con el tema y en un marco teórico? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión H | Indicador 7 | ¿el diseño del instrumento de recolección de datos facilitará el análisis y el procesamiento de los datos? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión I | Indicador 8 | ¿El instrumento de recolección de datos tiene una presentación ordenada? | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión J | Indicador 9 | ¿El instrumento guarda relación con el avance de la ciencia, la tecnología y la sociedad? | 1 | 1 | 1 | 1 | |

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

| | |
|---------------------------------|---|
| Nombre del instrumento | Ficha de registro de Mediciones de Energía |
| Objetivo del instrumento | Tomar datos de los diferentes tipos de mediciones para determinar la evaluación de la energía reactiva, y el factor de potencia. |
| Nombres y apellidos del experto | John Wiley Villanueva Lara |
| Documento de identidad | 18122542 |
| Años de experiencia en el área | 8 años |
| Máximo Grado Académico | Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones |
| Nacionalidad | Peruana |
| Institución | INVERSIONES Y SERVICIOS JVL E.I.R.L. |
| Cargo | GERENTE |
| Número telefónico | 944667254 |
| Firma |  JOHN WILEY VILLANUEVA LARA INGENIERO ELECTRONICO Y DE TELECOMUNICACIONES CIP N° 239137 |
| Fecha | Trujillo 25 de mayo de 2022 |