



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

## **FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE MECÁNICA – ELÉCTRICA**

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

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO – ELECTRICISTA**

**AUTOR**

Eligio, Gómez Cabanillas

**ASESOR**

Ingeniero: Heber A. Zavaleta Zavaleta.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Generación, Transmisión y Distribución

Trujillo – Perú

2016

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

AUTOR

Gómez Cabanillas, Eligio

Presentada a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica – Eléctrica de la Universidad “Cesar Vallejo” para obtener el Título de:

Ingeniero Mecánico – Eléctrico

Aprobado:

-----  
Ing. Martin Sifuentes Inostroza  
PRESIDENTE

.....  
Ing. Javier León Lescano  
SECRETARIO

.....  
Ing. Roger León Díaz  
VOCAL

## DEDICATORIA

El presente trabajo, se lo dedico a mi familia quienes lo conforman, mis queridos hijos, Miguel Ángel Gómez Padilla y Estefany Cristhal Gómez Padilla, a mis queridos padres, Miguel Gómez Vázquez y María Rene Cabanillas Abanto. Un agradecimiento de corazón al ser todo poderoso, a Dios, por la vida, la salud y las grandes bendiciones brindadas.

El Autor.

## AGRADECIMIENTO

Sin educación no hay destino ni futuro; mis más sinceros agradecimientos a los docentes, quienes estuvieron con nosotros durante los años académicos, por los conocimientos brindados durante mi formación universitaria y un agradecimiento a mi asesor Heber A. Zavaleta Zavaleta por su apoyo y sus conocimientos brindados en hacer realidad la presente tesis.

El Autor.

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo Gómez Cabanillas, Eligio con DNI 19083429, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica - Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presentan en la presente tesis son auténticos y veraces.

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

Trujillo 29 de Abril 2016

Eligio, Gómez Cabanillas. DNI:  
19083429 PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del reglamento de grados y títulos de la Universidad Cesar Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada "Análisis técnico y económico de corrección del factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V, del hospital IV Víctor Lazarte Echeagaray - Trujillo", la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título de Ingeniero Mecánico-Electricista.

El Autor.

## INDICE

		1
Dedicatoria		2
Agradecimiento		3
Declaratoria de autenticidad		4
Presentación		5
Índice		6
Resumen		8
Abstract		9
I. Introducción	10	
1.1. Antecedente	11	
1.2. Justificación	13	
1.2.1 Relevancia tecnológica	13	
1.2.2 Relevancia social	13	
1.2.3 Relevancia económica	14	
1.2.4 Relevancia ambiental	14	
1.2.5 Relevancia institucional	14	
1.3 Marco teórico		15
1.3.1 Sistema eléctrico del hospital Víctor Lazarte Echegaray		15
1.3.3. Tipos de potencia	17	
1.3.4. Condensadores para compensar la potencia reactiva	18	
1.3.5. Selección de un condensador de potencia reactiva	20	
1.3.6. Elementos de protección y control	21	
1.3.7. Factor C/K	29	
1.3.8. Transformador de corriente de núcleo partido	29	
1.3.9. Selección de un transformador de núcleo partido	30	
1.3.10. Diagrama de conexión del banco de condensadores	32	
1.3.11. Conductores eléctricos	32	

1.3.12. Selección de un conductor eléctrico	33	
1.3.12.1. Calculo de un conductor eléctrico	34	
1.3.12.2. Calculo de la caída de tensión.	34	
1.3.13. Compensación centralizada		36
1.4. La Realidad problemática	40	
1.5. El problema	45	
1.6. Objetivos	45	
1.6.1. Objetivos generales	45	
1.6.2. Objetivos específicos	45	
II. Marco metodológico	46	
2.1. Hipótesis	46	
2.2. Variables	46	
2.2.1. Variables independientes	46	
2.2.2. Variables dependientes	46	
2.3. Operacionalización de la variable	48	
2.4. Metodología	49	
2.5. Tipo de estudio	49	
2.6. Diseño de investigación	49	
2.7. Población y muestra	49	
2.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	50	
2.8.1. Mediciones	50	
2.8.2. Entrevistas	52	
2.8.3. Analíticas	52	
2.8.4. Deductivo	52	
2.9. Metodo de análisis de datos		56
2.9.1. Análisis de datos		56
III. Resultados	60	
IV. Discusión	78	
V. Conclusiones	81	
VI. Recomendaciones	82	

VII. Bibliografías 83

Anexos

85

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se realizó en las instalaciones de la subestación y casa fuerza del hospital Víctor Lazarte Echeagaray, en donde se ubican los transformadores de potencia de 250 KVA, 500 KVA y los tableros de distribución general. En los tableros de distribución general se encuentra instalado el analizador de redes Schneider modelo PM 710, donde se puede visualizar los parámetros de potencia activa, reactiva, aparente, tensión, frecuencia, la intensidad de corriente y el factor de potencia del sistema eléctrico.

Mediante los datos obtenidos del analizador de redes de energía eléctrica, obtuvimos el factor de potencia más bajo de 0.72. La potencia reactiva total requerida para compensar el factor potencia es 197 KVAR (valor calculado). Mediante la instalación del banco de condensadores (compensación centralizada), se obtiene un factor de potencia de 0.96 y una reducción del 15.27% en el costo de facturación, emitido por la concesionaria de energía eléctrica (Hidrandina). A esto se suman los beneficios obtenidos por, menor caída de tensión, reducción de la corriente de operación en 24% y la disminución de temperatura en los conductores en un 28% respectivamente.

Para corregir el factor de potencia se debe instalar 21 condensadores estáticos de potencia reactiva (10KVAR cada uno – valor comercial) en un sistema centralizado, que programa y monitorea a la potencia reactiva según los pasos 1.2.2.2 por el regulador de potencia reactiva. La implementación tendrá un costo de S/ 45,335.93 nuevo soles, monto que incluye gastos de operación y mantenimiento.

De acuerdo al fabricante, cada condensador instalado, dependiendo del material ya sea en baños de aceite o polipropileno metalizado, tendrá una duración alrededor de 20 y 10 años respectivamente.

En la actualidad el hospital tiene un recargo adicional por consumo de energía reactiva S/. 37,562.50 nuevo soles anuales, monto que se eliminará mediante la compensación de potencia reactiva. Lo invertido en la fabricación e instalación, se recuperará en un mediano plazo (1 año 2 meses).

Palabras clave: potencia reactiva, factor de potencia, banco de condensadores, analizador de redes.

## ABSTRACT

This research was conducted in the facilities of the substation and power house Victor Lazarte Echegaray hospital, where power transformers 250 KVA, 500 KVA and general distribution boards are located. In general distribution boards the network analyzer Schneider PM 710 model, where you can view the parameters of active, reactive, apparent voltage, frequency, current and power factor of the electrical system is installed.

Using data from the analyzer power grids, we obtained the power factor lower than 0.72. The total reactive power required to compensate the power factor is 197 KVAR (calculated value). By installing capacitor bank (central clearing), a power factor of 0.96 and a reduction of 15.27% in the cost of billing, issued by the concessionaire of electricity (Hidrandina) it is obtained. To this the profits made by, lower voltage drop, reducing the operating current by 24% and the temperature decrease in drivers by 28% respectively add.

To correct the power factor capacitors 21 static reactive power (10KVAR each - market value) will be installed into a centralized programming system and monitors the reactive power according to the steps of regulation 1.2.2.2. The implementation will cost S / 45,335.93 new soles, which includes operating and maintenance expenses.

According to the manufacturer, each capacitor installed, depending on the material either oil baths or metallized polypropylene, will last about 20 and 10 years respectively.

At present the hospital has an additional charge for reactive power consumption S /. 37562.50 new soles per year, an amount that will be removed by reactive power compensation. We invested in the manufacture and installation, it will recover in the medium term (1 year 2 months).

Keywords: reactive power, power factor, capacitor bank, network analyzer.

## I. Introducción.

En la actualidad, en las instalaciones eléctricas del hospital Víctor Lazarte Echegaray, existen dos tipos de cargas, las cargas lineales y las llamadas cargas no lineales. Las cargas no lineales están conformadas por todos los equipos electrónicos que utilizan fuentes de rectificación de potencia (equipos biomédicos). Estos equipos son fuentes generadoras de los armónicos, distorsionando la onda senoidal fundamental, por no formar parte en nuestro estudio solo mencionaremos. Las cargas lineales son aquellas cargas eléctricas que puesto en operación de estado invariable, muestra una impedancia de carga especialmente constante a la fuente de poder durante todo el ciclo de voltaje aplicado. Una carga lineal, es la que tiene una correlación constante o lineal entre el voltaje y la corriente aplicada, están conformados por fuente de tensión, fuentes de corriente, elementos pasivos R, L, C. El total de potencia instalada se divide en 2 partes, equipos electromecánicos – térmicos y equipos biomédicos; todos éstos tienen  $\cos \phi$  bajo, inferior a la unidad, cuando el sistema opera con un factor de potencia bajo, requiere un flujo adicional de potencia reactiva, presentándose una reducción de la capacidad, un incremento de pérdidas y caída de tensión en el sistema.

Debido a este problema es necesario compensar la potencia reactiva, mediante la instalación de capacitores, quienes tendrán la función de inyectar corriente puramente capacitiva a la línea, de esta manera se mejorará el  $\cos \phi$  que generan los equipos como: motores de los elevadores (2), motores de las máquinas de lavandería (8), transformadores de los equipos de rayos x (2), tomógrafos (1), equipos de aire acondicionado (30), inyectores (5), extractores de aire (5), iluminación con arranque reactivo y vapor de sodio, estabilizadores, ups, etc.

Hoy por hoy, la penalización por el consumo de energía reactiva se ha acrecentado y como consecuencia los consumidores pagan mucho más en su factura eléctrica innecesariamente. Los bancos de capacitores ayudan a compensar y estabilizar el factor de potencia, adaptándose a las variaciones de carga, redundando en un beneficio inmediato al eliminar las causas de penalización. Este ahorro nos permite recuperar la inversión de los equipos en un mediano plazo.

Mejorar el factor de potencia ayuda a disminuir las capacidades térmicas de los transformadores y conductores, reduce las pérdidas de la línea y las caídas de tensión. Hoy en día las compañías suministradoras de energía eléctrica alientan este esfuerzo debido que al mejorar el factor de potencia no solo reduce la demanda de energía eléctrica, sino que también ayuda a postergar grandes inversiones en subestaciones y centrales de generación.

En este trabajo nos basaremos en determinar analíticamente la cantidad de potencia reactiva requerida por la compensación centralizada, debido a que nuestro objetivo es reducir el costo de facturación de la energía eléctrica y por lo que resulta más económico respecto a otras alternativas de compensación.

#### **Antecedentes.**

a) **Compensación de potencia reactiva (México - 2009).** Tesis para obtener el título de ingeniero electricista. Enrique, Gómez Morales. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior De Ingeniería.

#### **Aporte al proyecto de investigación.**

En este proyecto de tesis, previo a la titulación de ingeniero electricista, tiene como aporte a mi investigación, el análisis que hace sobre los tipos de potencia, los tipos de compensación reactiva y los efectos eléctricos que estos producen, en las instalaciones eléctricas industriales, desde los transitorios producidos por la energización de los interruptores, armónicos y resonancias.

#### **Resumen.**

Título: Compensación de potencia reactiva Muestra:

Grupo Industria S.A.

Recolección de datos.

- ✓ Consulta a la norma Mexicana NMX – J-203- ANCE ✓ Uso de facturas eléctricas Grupo Industria S.A.

#### **Conclusiones.**

El tesista, Enrique, Gómez Morales, demostró en esta tesis que hubo una disminución del costo de facturación del 9%, la cual significa un ahorro económico para la empresa, utilizando un banco de condensadores, para compensar el bajo factor de potencia.

También concluye que la aplicación de los bancos de capacitores reducen las pérdidas por efecto Joule, donde al pasar de un factor de potencia de 0.7 a 0.97, las pérdidas se reducen a un 47.42% y la corriente se reduce a un 27.6%, en el alimentador. También concluye que una compensación individual es más favorable pero más cara, por lo que recomienda una compensación centralizada.

b) **Corrección del factor de potencia de la industria textil “La Internacional C.A” (Quito - 1965).**

Tesis previa a la obtención del título de ingeniero en la especialización de electrotecnia. Cesar, Maldonado Zambrano. De la Escuela Politécnica Nacional.

#### **Aporte al proyecto de investigación.**

En esta tesis, previa a la obtención del título de ingeniero, el tesista Cesar, Maldonado Zambrano aporta a mi proyecto de investigación un marco teórico sustancial, demostrando las formas de potencia, corriente, tensión, la cual es importante para lograr obtener un buen resultado final y lograr reducir el costo de facturación de energía eléctrica que es el objetivo principal.

#### **Resumen.**

Título: Corrección del factor de potencia de la industria textil “La Internacional C.A.” (Fabrica Recreo).

**Muestra:** Industria Textil “La Internacional C.A.” (Fabrica Recreo).

Recolección de datos.

- ✓ Utilización volt-amperímetro de pinza.
- ✓ Un medidor de factor de potencia.
- ✓ Lecturas periódicas de las tres fases (4 meses).

#### **Conclusiones.**

En la presente tesis, se concluye que dicha fabrica tiene carga inductiva que generan bajo factor de potencia que varía de 50 al 65% demostró que existe un recargo de 24.3% en la facturación mensual, siendo el objetivo eliminar el recargo adicional, mediante según el tesista la instalación de capacitores estáticos.

c) **Metodología técnico – económico de la localización de capacitores en sistema de distribución para reducción de pérdidas eléctricas (Morelia Mich - 2003).** Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias de ingeniería eléctrica. Gabriel, Estrada Soria. Instituto Tecnológico de Morelia.

#### **Aporte a la investigación.**

En esta tesis se basa en las instalaciones de media tensión, desde un punto de vista económico, el, aporta información sobre pérdidas y caídas de tensión en los conductores, donde nos ilustra las impedancias de los conductores de diferente calibre y los cálculos de un banco de capacitores.

#### **Resumen.**

Título: Metodología Técnico – económico de la localización de capacitores en sistema de distribución para reducción de pérdidas eléctricas

Muestra: sistema radial de líneas de distribución.

Recolección de datos:

- ✓ Uso de reguladores en nodos generadores.
- ✓ Uso de reguladores en sistema de distribución.
- ✓ Sistema de mediciones en media tensión.

## **Conclusiones.**

El tesista, realiza una solución en las líneas de transmisión, debido que en ellas existen caídas de tensión y pérdida de potencia, desde un punto de vista económico, representado por 2 componentes la demanda y la energía. La presente tesis se basa en la corrección del factor de potencia y la regulación del voltaje en las líneas de distribución, en base a una compensación, que resulta costoso pero evita pérdidas de tensión y sobre dimensionamiento de los conductores.

## **Justificación.**

### **Relevancia tecnológica.**

Corregir el factor de potencia es relevante y necesario, debido a que dicho factor no solo afecta en el costo de facturación eléctrica por la concesionaria, sino también el rendimiento del sistema eléctrico se ve alterado. En esta época, compensar el factor de potencia forma parte de la calidad de energía, ya que este sistema con lleva a mejorar el rendimiento del fluido eléctrico como: menor caída de tensión, menor temperatura de operación, etc., utilizando elementos capacitivos de mejor tecnología. Estos sistemas en la actualidad son módulos compactos de condensadores estáticos, monitoreados por sistemas electrónicos con mucha precisión, que regulan el consumo de potencia reactiva y el bajo factor de potencia en una batería centralizada de capacitores.

### **Relevancia social.**

El uso de estos sistemas, es de suma importancia y muy relevante para el estudio de nuestros jóvenes del futuro, estos conocimientos contribuyen a mejorar el rendimiento de la energía eléctrica de las instalaciones, evitando las caídas de tensión en las líneas y un gasto económico innecesario. El impacto social se verá reflejado cuando se empiece a ver y a demostrar los beneficios de la compensación reactiva.

### **Relevancia económica.**

Al corregir el factor de potencia, se reducirá el costo de facturación mensual, reduciendo el pago adicional por el consumo de energía reactiva; la implementación de un sistema centralizado (mejor opción) se justifica económicamente al reducir el 15.27 % luego de compensación de dicho factor. De acuerdo al presente estudio y los cálculos realizados el costo de la energía eléctrica mensual se ve reducida, obteniendo beneficios económicos significativos para el hospital Víctor Lazarte Echeagaray.

**Relevancia ambiental.**

La corrección del bajo factor de potencia se realiza generando potencia reactiva por medio de condensadores estáticos que se inyectará al sistema eléctrico del hospital, estos sistemas no contaminan el medio ambiente.

**Relevancia institucional.**

Esta investigación, resulta un aporte muy importante hacia la opinión de los ciudadanía, dando a conocer el conocimiento brindado por la Universidad "Cesar Vallejo" en el estudio, diseño y factibilidad económica de nuestra investigación, aportando a la industria y comunidad, en el mejoramiento de la calidad de energía y económica.

**Marco teórico.****Sistema eléctrico.**

Un sistema eléctrico de potencia, se puede definir como la secuencia de componentes ya sean eléctricos o electrónicos. El sistema eléctrico de potencia está compuesto por varias etapas, siguiendo el siguiente orden:

- Generación de energía.
- Trasmisión.
- Subestaciones.
- Distribución.
- Consumo.

**Generación de energía eléctrica.**

La energía eléctrica se puede obtener de varias formas como: la energía química, hidráulica, eólica, solar entre otras. La de energía eléctrica que utilizamos actualmente es mediante el sistema hidráulica.

**Trasmisión.**

Es el transporte de la energía eléctrica mediante conductores eléctricos, en alta tensión.

**Sub estación eléctrica.**

Para que la energía eléctrica pueda ser distribuida primero debe pasar por una sub estación eléctrica con el fin de variar los valores de tensión permitidos para su uso, este dispositivo de transformación se llama transformador, que tiene la función de reducir o elevar la tensión eléctrica.

En hospital Víctor Lazarte Echegaray la sub estación eléctrica es tipo caseta, en donde llegan las líneas de media tensión con un conductor eléctrico tipo N2XSY 3x1x50mm<sup>2</sup> (10 KV) vía subterránea. En su interior se encuentra instalado el transformador de potencia de 500 KVA y de 250 KVA, protegidos por fusibles tipo HH 3x16 Y 3x25 amperios, como se muestra en anexos A8. Dicho transformador de potencia tiene la función de reducir la tensión de 10 KV (media tensión) a una tensión de 220V trifásico (baja tensión) y abastecer de energía eléctrica a todo el hospital.

Las características técnicas del transformador de potencia instalado en el hospital en mención son:

- Marca: Fasetrón.
- Potencia: 500 KVA.
- Tensión: 10,000/230V.
- Corriente nominal en baja tensión: 1,150 amp.
- $P_o$ : 1090
- $P_{Cu}$ : 5780
- T : 85°C
- $\text{COS}\phi$ : 0.85
- Tipo de conexión: Dyn5

### **Distribución.**

Se realiza mediante redes eléctricas en baja tensión para la distribución de la energía eléctrica hacia el consumo de viviendas o industrias. En la industria o hospitales los tableros eléctricos de distribución se encuentran ubicados en un ambiente denominado casa fuerza.

Se le denomina casa fuerza, porque en ello se encuentra instalado todo el sistema eléctrico de potencia en baja tensión. En el hospital IV Víctor Lazarte Echegaray la distribución se realiza en baja tensión (3 $\phi$ ), mediante un tablero eléctrico de distribución general (TG1- anexos A7, figura N° A7.1), también se encuentra instalado el grupo electrógeno de 250 KW y 210 kW y en donde se ubicará el banco de condensadores (proyectado). El tablero eléctrico de distribución general (TG1), tiene la función de distribuir la energía eléctrica a diferentes puntos de los servicios hospitalarios.

Este tablero eléctrico recibe la energía eléctrica del transformador de fuerza de 500 KVA mediante unos conductores eléctricos de 185mm<sup>2</sup> NYY estructurado de la siguiente forma 3(3-1x185mm<sup>2</sup>), conectados a las barras de cobre de 5x80 mm.

Características técnicas del tablero eléctrico de distribución general.

- Marca: Esisa.
- Potencia: 800 KW.

- Nº de polos: 78
- Dimensiones: 2100 x 600 x 600 mm □ Auto soportado.
- Estructura: con plancha fe 1/20", con chaqueta de frente muerto, pintado al horno.
- Puertas batientes con bisagras y chapas automáticas.

### **Tipos de potencias.**

**Potencia activa (P).** Se dice que la potencia activa, es la potencia útil, la que se convierte en trabajo, la que se aprovecha toda la energía y en donde la curva de la potencia activa es siempre positiva. Esta potencia, constituye la capacidad que tiene un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en energía mecánica la cual se traduce en trabajo.

Su unidad es el KW y es representada por la letra P. Para medir la energía activa se mide en KW-h. Para calcular la potencia activa en un sistema trifásico se emplea la siguiente fórmula.

$$P = I \times V \times \sqrt{3} \times \cos \phi \quad \dots (1,1)$$

Dónde:

P: Potencia Activa (KW).

V: Tensión (voltios).

I: Corriente (amperios).

**Potencia reactiva (Q).** Aparece en una instalación eléctrica en la que existen bobinas o condensadores, denominadas cargas reactivas y son necesarias para crear campos magnéticos y eléctricos en dichos componentes. No produce trabajo útil, por lo que es necesario neutralizarlo o compensarlo.

La compañía eléctrica mide la energía reactiva en kVARh y si, se superan ciertos valores (30% de la energía activa), incluye un término de penalización.

Su unidad es el KVAR y se representa con la letra Q. La Fórmula empleada se expresa de la siguiente manera:

$$Q = I . V . \sqrt{3} \times \text{Sen}\phi \quad \dots (1,2)$$

Dónde:

Q = Potencia Reactiva (KVAR).

La potencia reactiva necesaria para compensar un sistema eléctrico, debe ser tal que el consumo de la potencia reactiva inductiva no exceda el 30% de la energía activa total mensual. (Norma "opciones tarifarias y condiciones de aplicación de las tarifas a usuarios final – OSINERGMIN) así:

$$Q_{\text{de la red}} \ll P_T \times 0.30 \quad \dots (1,3)$$

**Potencia aparente (S).** A la potencia aparente se le denomina como la potencia total, es la potencia en donde no existe ninguna carga eléctrica conectada a la salida del generador o transformador. La potencia aparente será igual a la potencia útil cuando su factor de potencia sea igual a 1. También se podría representar como la suma vectorial de la potencia activa y la reactiva.

Se representa con la letra "**S**" y su unidad de medida **KVA**. La fórmula matemática para hallar el valor de este tipo de potencia es la siguiente:

$$S = x I \times \sqrt{3} \quad \dots (1,4)$$

Dónde:

V = Tensión (voltios).

I = Corriente (amperios).

**Factor de potencia.** El factor de potencia, resulta de dividir entre la potencia activa y la potencia aparente, es una relación que indica la cantidad de potencia que se convierte en trabajo.

$$F.P = \frac{P}{S} \quad \dots (1,5)$$

Dónde:

F.P: Factor de potencia.

P: Potencia Activa (KW).

S: Potencia Aparente (KVA).

### **Condensadores para compensar la potencia reactiva.**

Estos capacitores carecen de partes móviles, de complicados motores de arranque y sistema de ajuste, no requieren de cimentación especial, se pueden instalar en cualquier lugar y en cualquier cantidad, como se muestra en la figura 1.1. Existen en el mercado 2 tipos de condensadores de potencia reactiva:

- a. **Condensadores de polipropileno metalizado.** Adecuados para una carga de 8 horas/ día, para tensión de red de 400v y para temperaturas locales moderadas (18° a 20 °C) expectativa de vida 100,000 horas, calidad de auto generación.
- b. **Condensadores de baño de aceite.** La impregnación del aceite los protege de aire y de la humedad para servicios más exigentes, incluso con presencia moderada de armónicos expectativa de vida 30,000 horas.



Figura N° 1.1. Condensador de polipropileno Metalizado.  
Fuente de Imagen. Catálogo marca Weg.

Por lo tanto, de acuerdo a lo mencionado los condensadores de polipropileno metalizado, son los que se ajustan más a nuestro requerimiento, porque tienen una expectativa de vida más larga y con una mejor calidad de auto generación.

#### **Normas que regulan la selección de un condensador de potencia reactiva.**

Norma IEC 60831 ½.

Esta norma establece: “Todo capacitor para compensar el factor de potencia (C.F.P.) debe poseer dispositivos de protección interna”.

Norma IEC 831.

La norma CEI 831 establece: “Los condensadores de potencia reactiva deben tener una tensión residual inferior al 10% de su tensión nominal en el momento de su conexión”.

Se ha considerado algunas fórmulas para cálculos de condensadores. Todo condensador tiene reactancia capacitiva y por tanto tienen un valor óhmico donde su unidad es el ohmio. Para obtener la reactancia capacitiva de un condensador se empleará la siguiente fórmula:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} [\Omega] \quad \dots (1,6)$$

Dónde:

$X_C$ : Reactancia capacitiva (ohmios).  $C$ :

Capacidad del condensador ( $\mu f$ ).  $f$ :

Frecuencia (HZ).

Para encontrar la capacidad de un condensador en relación a la potencia reactiva ( $Q_C$ ), se empleará la siguiente fórmula:

$$C = \frac{Q_C}{U^2 \cdot 2 \pi \cdot f} [\mu f] \quad \dots (1,7)$$

Para la corriente capacitiva empleamos la siguiente fórmula:

$$I_C = \frac{Q_C}{U \cdot \sqrt{3}} [\text{amp.}] \quad \dots (1,8)$$

Dónde:

$Q_C$ : Potencia reactiva del condensador (Var).

$U$ : Tensión de la línea (V).

### **Selección de un condensador de potencia reactiva.**

Para seleccionar un condensador de potencia reactiva, se considera las normas de instalación descritas, teniendo en cuenta las siguientes características técnicas mínimas:

- Condensadores de dieléctrico polipropileno metalizado (mejor opción que las de baño en aceite) □ La tensión de servicio a la cual va estar sometido (230V, 3Ø).
- Pérdidas < 0.25W/ KVAR.
- Tolerancia de capacidad  $\pm 5\%$  medida a 20°C ambiente.
- Sobre tensiones las cuales puede llegar a  $U_N + 10\%$ . □ Sobre corriente  $I_N + 30\%$ .

- La frecuencia de red (60 HZ).
- Esperanza de vida 10 años.
- Tener en cuenta la tasa de distorsión armónica de corriente (THDI).
- Resistencia de descarga.

### Elementos de protección y control.

#### Elementos de protección.

##### ❖ Interruptor termomagnético de caja moldeada.

Para la protección térmica de un sistema eléctrico se instalan los llamados interruptores termomagnético, estos tipos de dispositivos son capaces de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito, cuando ésta sobrepasa ciertos valores prefijados. El funcionamiento del interruptor termomagnético se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). Como se ha mencionado el interruptor termomagnético está formado por 2 partes elementales la parte magnética y térmica y una lámina bimetalica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga como se muestra en la figura N°1.2

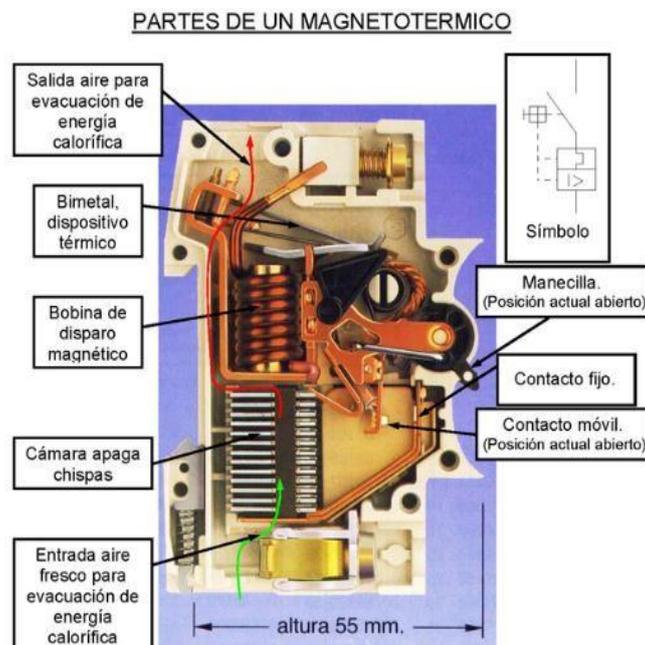


Figura N° 1.2. Partes de una llave termomagnético. Fuente de Imagen. Internet [https://es.wikipedia.org/wiki/Interruptor\\_magnetot%C3%A9rmico](https://es.wikipedia.org/wiki/Interruptor_magnetot%C3%A9rmico)

Para la selección de un interruptor termomagnético, se debe considerar según las normas internacionales establecidas, que rigen de acuerdo a su uso o empleo:

#### **Norma IEC609472-2.**

Esta norma puede considerarse como una seguridad total en el empleo de los interruptores termomagnético, por lo tanto deberán estar fabricados bajo esta norma internacional **IEC609472-2** que especifica condiciones definidas:

- Su clasificación: modo empleo, aptitudes al funcionamiento.
- Las características eléctricas de regulación.
- Información del modo de empleo.
- La cota de diseño.
- Coordinación entre protecciones industriales.

De acuerdo, esta norma (IEC609472-2) establece dos categorías de interruptores:

- Interruptores de **categoría A**, para los cuales no hay retardo de disparo previsto. Estos generalmente son interruptores de caja moldeada, capaces de realizar una selectividad amperimétrica.
- Interruptores de **categoría B**, para los cuales, es viable realizar una selectividad cronométrica, siendo posible retardar el disparo (hasta 1s) para todo cortocircuito de valor inferior a la intensidad  $I_{cw}$  (intensidad asignada de corta duración admisible).

#### **Selección de un interruptor termomagnético para la compensación reactiva.**

Para la selección de un interruptor termomagnético de un sistema de compensación reactiva se debe tener los siguientes parámetros:

- Un interruptor termomagnético debe garantizar el seccionamiento y protección.
- Se debe considerar la corriente de inserción de un condensador.
- La corriente de carga ( $I_n$ ).
- Intensidad de cortocircuito ( $I_{cu}$ ).
- Características de tensión ( $U_e$ ).
- Características de unidad de control ( $I_T$ ).
- Interruptor de categoría A.

Una vez teniendo los parámetros de selección del interruptor termomagnético debemos tener en cuenta el modelo que nos garantice el buen funcionamiento de nuestro sistema. Por ejemplo, la empresa Schneider propone el modelo C60N/H o C120 NH, Siemens propone el modelo 3VT2 y el 3VT3 caja moldeada categoría A propia para la utilización en una compensación de potencia reactiva.

### **Intensidad de la corriente de cortocircuito (I<sub>cc</sub>).**

Es de suma importancia conocer la capacidad de corto circuito en un punto de instalación para elegir un interruptor termomagnético automático. La dimensión de la I<sub>cc</sub> es independiente de la carga y solo responde a las características del sistema de alimentación y distribución. En cambio el valor de la corriente nominal está determinado por el consumo de las cargas conectadas aguas abajo, en función a los datos adecuados.

La empresa Schneider en sus catálogos propone 2 alternativas para determinación de I<sub>cc</sub>, según Schneider Electric- Perú (2002) "Manual y catálogo del electricista", pag.2/31. [3].

- Por cálculo.
- Por tabla.

### **Determinación de la I<sub>cc</sub> por tabla.**

La tabla siguiente N° 1.1 de doble entrada que nos proporciona la empresa Schneider da rápidamente una buena evaluación de la I<sub>cc</sub> aguas abajo, en un punto de la red conocido. Solo propone tener en cuenta, los siguientes parámetros de la instalación existente:

- ❖ La tensión de la red.
- ❖ La I<sub>cc</sub> aguas arriba.
- ❖ Longitud, sección y constitución del cable hacia aguas abajo.

La tabla N° 1.1 que se muestra, ha sido proporcionada por la empresa Schneider, los colores marcados muestran la corriente de cortocircuito seleccionado para nuestro proyecto. Para seleccionar el poder de cortocircuito se tiene como base el interruptor aguas arriba, luego la longitud y la sección del conductor eléctrico diseñado, la intersección de estos valores, es el valor de cortocircuito.

Tabla N° 1.1 Selección del poder de corto circuito en una llave termomagnética tomando como base el KA superior existente. Fuente de tabla: [3]. Elaboración propia

LONGITUD DE CANALIZACIÓN (en m)																
Cond. de Cu/fase (en mm2)																
1,5														0,8	1	1,3
2,5													1	1,3	1,6	2,1
4												0,8	1,7	2,1	2,5	3,5
6												1,3	2,5	3	4	5
10									0,8	1,1	2,1	4	5,5	6,5	8,5	
16								0,9	1	1,4	1,7	3,5	7	8,5	10	14
25							1	1,3	1,6	2,1	2,6	5	10	13	16	21
35							1,5	1,9	2,2	3	3,5	7,5	15	19	22	30
50						1,1	2,1	2,7	3	4	5,5	11	21	27	32	40
70						1,5	3	3,5	4,5	6	7,5	15	30	37	44	60
95			0,9	1	2	4	5	6	8	10	20	40	50	60	80	
120	0,9	1	1,1	1,3	2,5	5	6,5	7,5	10	13	25	50	65	75	100	
150	0,8	1	1,1	1,2	1,4	2,7	5,5	7	8	11	14	27	55	70	80	110
185	1	1,1	1,3	1,5	1,6	3	6,5	8	9,5	13	16	32	65	80	95	130
240	1,2	1,4	1,6	1,8	2	4	8	10	12	16	20	40	80	100	120	160
300	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	5	9,5	12	15	19	24	49	95	120	150	190
2x120	1,5	1,8	2	2,3	2,5	5,1	10	13	15	20	25	50	100	130	150	200
2x150	1,7	1,9	2,2	2,5	2,8	5,5	11	14	17	22	28	55	110	140	170	220
2x185	2	2,3	2,6	2,9	3,5	6,5	13	16	20	26	33	65	130	160	200	260

3x120	2,3	2,7	3	3,5	4	7,5	15	19	23	30	38	75	150	190	230	300
3x150	2,5	2,9	3,5	3,5	4	8	16	21	25	33	41	80	160	210	250	330
3x185	2,9	3,5	4	4,5	5	9,5	20	24	29	39	49	95	190	240	290	390
lcc                      lcc aguas abajo (KA)																
Aguas arriba (en KA)																
100	94	94	93	92	91	83	71	67	63	56	50	33	20	17	14	11
90	85	85	84	83	83	76	66	62	58	52	47	32	20	16	14	11
80	76	76	75	74	74	69	61	57	54	49	44	31	19	16	14	11
70	67	67	66	66	65	61	55	52	49	45	41	29	18	16	14	11
60	58	58	57	57	57	54	48	46	44	41	38	27	18	15	13	10
50	49	48	48	48	48	46	42	40	39	36	33	25	17	14	13	10
40	39	39	39	39	39	37	35	33	32	30	29	22	15	13	12	9,5
35	34	34	34	34	34	33	31	30	29	27	26	21	15	13	11	9
30	30	29	29	29	29	28	27	26	25	24	23	19	14	12	11	9
25	25	25	25	24	24	24	23	22	22	21	20	17	13	11	10	8,5
20	20	20	20	20	20	19	19	18	18	17	17	14	11	10	9	7,5
15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	13	13	12	9,5	8,5	8	7
10	10	10	10	10	10	10	9,5	9,5	9,5	9,5	9	8,5	7	6,5	6,5	5,5
7	7	7	7	7	7	7	7	7	6,5	6,5	6,5	6	5,5	5	5	4,5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,5	4	4	4	3,5
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,5	3,5	3,5	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9

#### ❖ Resistencia de descarga rápida.

Al desconectar un condensador de la red, queda almacenada en el condensador una energía acumulada, que suministra una tensión en los bornes que pueden llegar a ser igual a la tensión máxima de la red. La resistencia de descarga fijas en los bornes de los condensadores, reducen esta tensión en un tiempo de tres minutos, en caso contrario esta tensión sería perjudicial a los contactores en el momento de la conexión, pues, se puede encontrar en oposición de fase la tensión de la red y la tensión del condensador.

#### **Norma IEC 831.**

Establece que: “La tensión en los bornes de un condensador no debe exceder de 75V transcurridos 3 minutos desde su desconexión”.

Por lo tanto, se debe calcular el valor apropiado de la resistencia de descarga de acuerdo a la fórmula que se propone:

$$R = \frac{T}{K \times C \times \log_e\left(\frac{U_n \times \sqrt{2}}{U_r}\right)} \quad \dots (1,9)$$

Dónde:

R: Valor de la resistencia de descarga (MΩ).

T: Tiempo de descarga desde  $U_N$  hasta  $U_r$  en segundos.

C: Capacidad por Fase (uf).

$U_n$ : Tensión nominal del condensador (V).

$U_r$ : Tensión residual permisible (V).

K: Coeficiente según su modo de conexión:

- K=1 para 3 resistencia conexión Δ.
- K=2 para 2 resistencias conexión V.

Cálculo de la potencia (watts) de la resistencia de descarga de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$P = \frac{(1.1 \times U_n)}{R} \quad \dots (1,10)$$

### Elementos de control.

❖ **Contactador.**- Se puede definir como un interruptor de mando a distancia, que vuelve a la posición de reposo cuando la fuerza de accionamiento deja de actuar sobre él. Estos contactores están constituidos por un núcleo de hierro (fijo y móvil) y una bobina (para nuestro caso la alimentación es 220V). El problema de un contactor en el servicio de los condensadores, es soportar las fuertes puntas de intensidad de conexión, que pueden llegar hasta a 150 veces la corriente nominal ( $I_n$ ), mientras que un contactor al servicio de un motor solo tiene que soportar una intensidad menor a 10 veces la corriente nominal ( $I_n$ ). Para disminuir tal efecto de la corriente de cierre, las empresas hoy en día conecta una resistencia en paralelo con cada polo principal y en serie con un contacto de precierre que se desconecta en servicio. Esta asociación permite limitar la corriente de cierre a 80 veces la corriente ( $I_n$ ) máxima, como se muestra en la figura N° 1.3. Por otra parte reduce los riesgos de incendio.



Figura N° 1.3 Contactores para controlar los condensadores.

La norma internacionales establecen para la utilización y selección de un contactor acuerdo a su empleo o uso:

**Norma IEC 831.**

La norma CEI 831 establece que: “El valor de cresta de la sobre corrientes de conexión en un contactor debe ser inferior a  $100 I_n$ ”. Por consiguiente es necesario reducir las elevadas sobre corrientes que ocurren en las maniobras de banco de condensadores.

**Selección de contactor para condensadores de potencia reactiva.**

Para la selección de un contactor que va a controlar la conexión y desconexión de los condensadores en una compensación centralizada (banco de condensadores) se debe tener en cuenta:

- Que sea capaz de disminuir el efecto de la corriente de cierre.
- La potencia del condensador en KVAR.
- La tensión de servicio (220V en nuestro caso) □ La frecuencia (60 HZ).

De acuerdo a estos datos, las empresas que suministran estos dispositivos poseen modelos de contactores según su trabajo. Para la empresa Schneider, el modelo que recomienda para controlar los condensadores de potencia reactiva es LC1 DFK11M7, para la empresa Weg recomienda la categoría AC- 6b modelo CWMC, La empresa Siemens recomienda 3RT1617-1AB03. Así todas las empresas tienen diferentes modelos para un determinado tipo de trabajo. Todos estos modelos ofrecen una reducción de la sobre corriente a  $80 I_n$ , cumpliendo la norma descrita. En el capítulo de anexos se muestra una tabla de selección de contactores de la empresa Schneider.

❖ **Regulador automático de energía reactiva.** Para una compensación centralizada de energía reactiva, es necesario el uso de reguladores automáticos de potencia reactiva. Los reguladores son aparatos electrónicos de medida, control y comando que permiten analizar y monitorear el banco de

condensadores, incorporando o sacando capacitores para mantener el  $\text{Cos}\phi$  de la instalación en un valor predeterminado. Estos dispositivos electrónicos disminuyen el número de maniobras, aumentado la vida útil de los componentes de la banco de los condensadores, aumentan la velocidad de respuesta del equipo lo que comporta un mayor ahorro de energía, evita conexiones innecesarias de los condensadores. Existen reguladores de 6 y 12 pasos o escalonamientos.

La programación puede ser 1.1.1 ó 1.2.2; la primera programación (1.1.1) indica que el primer condensador debe tener la misma potencia que el resto, la segunda programación (1.2.2) indica que el primer condensador es la mitad de la potencia de los demás. Estos reguladores deben estar sujetos a las siguientes normas:

**Norma 61000-6-2.**

Esta norma establece la compatibilidad electromagnética, sobre las perturbaciones de armónicas.

**Norma 61010 – 1.** Esta establece los requisitos de seguridad de equipos eléctricos de medida y control y su uso en laboratorio.

**Factor C/K**

“Es el valor que decide la entrada o salida de los distintos escalones de la potencia reactiva en función de 3 parámetros”, según Schneider Electric- Perú (2002) “Manual y catálogo del electricista”, pag.2/31.

- El  $\text{Cos}\phi$  que se desea en la instalación.
- El  $\text{Cos}\phi$  que existe en cada momento en la instalación.
- La intensidad del primer escalón (que es el que marca la regulación mínima del banco).

Obtener el valor exacto del factor C/K nos permite regular y programar adecuadamente el regulador de potencia reactiva. Asimismo debemos conocer el consumo exacto de la intensidad de corriente que tiene el sistema a la cual hay que compensar. Este dato lo obtenemos mediante el transformador de corriente con relación a X/5. Esta relación de transformación mediante el secundario nos permite obtener el valor de la intensidad total que es el que lee el regulador.

La forma de programar este valor es lo que se conoce como C/K y su fórmula es la siguiente, según Schneider Electric- Perú (2002) “Manual y catálogo del electricista”, pag.2/31.[3].

$$\frac{C}{K} = \frac{Q}{(\sqrt{3} \times U) R_{TC}} \quad \dots (1,11)$$

Dónde:

Q = Potencia reactiva del primer condensador (VAR).

U = Tensión (V).

R<sub>TC</sub> = Relación de transformación del transformador de corriente.

En la actualidad existen varias empresas que ofrecen estos reguladores de Potencia Reactiva, como la marca Schneider que oferta el modelo Varlogic NR6 de 6 escalones, la marca Circutor con el modelo SMART III, la marca Epcos modelo BR 6000 de 6 escalones o pasos. Todos estos modelos están fabricados en base a la norma mencionada.

#### **Transformador de corriente de núcleo partido.**

Son de fácil instalación por su diseño, sirven de enlace con el Regulador de Potencia Reactiva, lo que nos permite monitorear la cantidad de corriente que se ha introducir en el sistema eléctrico. Este transformador de corriente debe estar instalado en la entrada principal del tablero eléctrico con el fin de captar la carga total de la instalación. Estos transformadores de corriente se eligen basándose de acuerdo a la siguiente norma:

#### **Norma CEI 185.**

Esta norma describe los rangos de medición de los transformadores de corriente, para la clase de precisión de 0.2s y 0.5s.

#### **Selección de transformador de corriente de núcleo partido.**

Para seleccionar un transformador de corriente hay que tener presente lo siguiente:

a) Corriente en el primario y secundario.- Se calcula a partir de la potencia del transformador de alimentación, o en su defecto a partir de su carga instalada de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$I = \frac{S \text{ (KVA)}}{U_n \text{ (V)} \times \sqrt{3}} \quad \dots (1,12)$$

Dónde:

S: Potencia aparente del transformador de fuerza.

U<sub>n</sub>: Tensión nominal.

b) Potencia. Debe ser superior a la carga que alimente. Esta carga es la del regulador de potencia reactiva.

c) Clase de precisión. Normalmente se trabaja con clase 1, sin embargo para transformadores de poca corriente es necesario trabajar con clase 3.

#### **Características técnicas necesarias para seleccionar un transformador de corriente de núcleo partido.**

- Tensión máxima red: 0,6 kV.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Nivel de aislamiento 0,6 / 3 kV.
- Sobre intensidad transitoria máxima 20 In.
- Temperatura de trabajo - 10 / + 50 °C.
- Clase de precisión: 0,5.
- Intensidad secundario: X / 5 A.
- Carcasa Auto extingible: V0.
- Norma CEI 185.

#### **Conexión del banco de condensadores.**

Existen 2 formas de conexión en un sistema de compensación de centralizada o banco de condensadores:

##### **a. Conexión delta.**

Es la más habitual, ya que en este tipo de conexión el voltaje de fase es igual al voltaje de línea y la potencia del condensador está en función directa del voltaje y la capacidad del condensador.

Esta conexión, se usa generalmente en baja tensión (600 v o menos). Para corrección factor de potencia tiene ventaja sobre las conexiones en estrella de que no presenta problemas de desbalance y confina también las corrientes de los armónicos, según Gilberto Enríquez Hearper (2006), p. 189.

##### **b. Conexión estrella.**

Es la menos usada debido a que el voltaje de fase es  $1/\sqrt{3}$  veces el voltaje de línea, por la cual se verá reducida la potencia del condensador en cada fase, según Gilberto Enríquez Hearper (2006), p. 190.

En particular, para la conexión en estrella existen variantes que están relacionadas principalmente con los factores.

- ✓ Los transitorios de voltaje y corriente.
- ✓ La protección contra sobre corrientes y su coordinación.
- ✓ Niveles de tensión del sistema al cual se va a conectar.
- ✓ La capacidad el banco y la protección del mismo.

En estos arreglos, se presenta el problema de que la falla en una unidad capacitiva presenta una sobre tensión en el resto de las unidades del arreglo, sometiéndole a mayores esfuerzos dieléctricos.

Por lo tanto de acuerdo a lo descrito la mejor opción de conexión de los condensadores es en delta.

### **Diagrama de conexión de banco de condensadores.**

Un esquema de conexión nos permite analizar y observar cómo se ha conectado los distintos dispositivos instalados dentro de un banco de condensadores, como son:

- Los condensadores (tipos de conexión).
- Contactores magnéticos (conexión controlada por el regulador de potencia reactiva).
- Interruptores termomagnético (aguas arriba y aguas abajo).
- Regulador de potencia (regulación del C/K y el Cos  $\emptyset$  deseado).
- Transformador de corriente (indicación de su instalación).

En el diagrama N° 3 que se muestra en el anexo A11 se puede observar que los 21 condensadores están conectados en triángulo, y son conectados a la línea mediante los contactores magnéticos, y protegidos térmicamente por interruptores termomagnético, así como el número de pasos o escalones, monitoreados por el regulador de potencia reactiva.

### **Conductores eléctricos.**

Se dice que los conductores eléctricos son aquellos cuerpos, que puesto en contacto con un cuerpo cargado de electricidad, trasmite o deja pasar a todo los puntos de un circuito. Están construidos de acuerdo al trabajo que van a realizar. Debido a esto, es importante conocer sus características de los conductores que utilizaremos:

- **Características del conductor eléctrico THW.**
- ✓ Conductor de cobre suave, solido o cableado de aislamiento termoplástico de policloruro de vinilo (PVC) en colores.

- ✓ Resistente a la flama y a la propagación de incendios.
- ✓ Excelente resistencia a los efectos de humedad.
- ✓ Excelente características eléctricas y mecánicas.
- ✓ Tensión de operación 600 voltios, temperatura máxima de operación 90°.

Este tipo de conductor (THW) se empleará para la alimentación de los condensadores de potencia reactiva, aguas abajo, es decir, utilizaremos para conectar a la entrada de los interruptores termomagnética de caja moldeada hacia el interruptor general. Esta conexión se muestra en el diagrama N° 3. Ver anexos A11.

#### □ **Características del conductor eléctrico NYY.**

- ✓ Conductor de cobre electrolítico recocido solido o cableado.
- ✓ Aislamiento y cubierta individual de PVC.
- ✓ Buenas propiedades eléctricas y mecánicas.
- ✓ La cubierta exterior de PVC le otorga una adecuada resistencia a los ácidos, grasas y aceites y a la abrasión.
- ✓ Mejor disipación de calor, permitiendo obtener una mayor intensidad de corriente admisible.
- ✓ De colores blanco, rojo y negro.
- ✓ 80° grados de temperatura
- ✓ Tensión de servicio de 0.6/1 kv.

Este tipo de conductor se empleará para la alimentación principal del banco de condensadores, quiere decir, se conectará entre el interruptor general del banco de condensadores y las barras de cobre ubicado en el tablero eléctrico de distribución general. Esta conexión se muestra en el diagrama N° 3 Ver anexos A13.

#### **Selección de un conductor eléctrico.**

Para seleccionar un conductor eléctrico debemos de tener en cuenta:

- La demanda máxima generada por las cargas, como parámetro principal.
- El tipo de aislante y cobertura del conductor, de acuerdo al trabajo al cual va a estar sometido.
- La longitud del conductor.
- Temperatura ambiental de operación.
- La máxima caída de tensión permitida.

## **Norma de utilización para la selección de conductor eléctrico de banco de condensadores.**

### **Código Nacional de Electricidad (CNE) – Utilización sección 150 página de 5 de 41.**

Recomienda que la capacidad de corriente de los conductores alimentadores y circuitos derivados, que alimenten a los condensadores no deba ser menor al 135% de la corriente nominal del condensador. Debemos tener en cuenta esta norma al momento de seleccionar un conductor eléctrico que se utilizará para la alimentación del banco de condensadores que tendrá como fin corregir el factor de potencia.

Se describen algunas fórmulas para determinar los parámetros de selección de un conductor eléctrico. En anexos se presentan las tablas A4 y A5 de especificaciones técnicas para seleccionar los conductores que utilizaremos en este proyecto (THW, NYY).

❖ **Cálculo de un conductor eléctrico en relación a la corriente.** Se considera la corriente de operación y se aplicará la siguiente fórmula para circuitos trifásicos:

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi} \quad \dots (1,13)$$

Dónde:

Is: Corriente admisible en amperios.

V: Tensión en voltios.

P: Potencia en watts.

❖ **Cálculo de la caída de tensión.** Para el calcular de caída de tensión de un conductor eléctrico debemos tener en cuenta la longitud, la resistividad del material del conductor, la sección del conductor, el factor de suministro, la corriente de diseño, para lo cual se empleará la siguiente fórmula.

$$\Delta V = K \times I_d \times \frac{\delta \times L}{S} \quad \dots (1,14)$$

Dónde:

$\Delta V$ : Caída de tensión (voltios).

L: Longitud del conductor (Km).

$I_d$ : Corriente del conductor alimentador(A).

- K: Factor de suministro (monofásico K= 2; Trifásico K=  $\sqrt{3}$  ).
- S: Sección del conductor alimentador (mm<sup>2</sup>).
- δ: Resistividad del conductor en ohm- mm<sup>2</sup>/m (para el cobre 0.0175).

Esta caída de tensión no debe sobre pasar el 3% de la tensión nominal.

❖ **Cálculo de la temperatura.** La temperatura de un conductor eléctrico está en relación a la corriente de operación e inversamente proporcional a la corriente admisible que debe soportar un conductor eléctrico. Para conocer la temperatura final de trabajo se empleará la siguiente fórmula:

$$T = T_0 + (T_{mx} - T_0) \times \left( \frac{I_{oper}}{I_{2n}} \right)^2 \quad \dots(1,15) \text{ Dónde:}$$

T<sub>0</sub> = Temperatura ambiente del conductor.

T<sub>mx</sub> = Temperatura máxima admisible del conductor según su tipo de aislamiento.

I<sub>oper</sub> : Corriente de operación del conductor.

I<sub>2n</sub> : Corriente máxima admisible para el conductor según el tipo de instalación.

En tablas de selección de conductores eléctricos que se muestra en anexos (tabla A4, A5), se encuentra la temperatura de operación o de trabajo. Esta temperatura descrita en las tablas nos permite conocer la temperatura máxima que debe trabajar el conductor eléctrico bajo carga.

Al mejorar el factor de potencia disminuye las pérdidas en los hilos de cobre del transformador esto se demuestra mediante la fórmula siguiente.

$$\frac{P_{cu \text{ Final}}}{P_{cu \text{ Inicial}}} = \frac{\cos \phi^2 \text{ inicial}}{\cos \phi^2 \text{ final}} \quad \dots (1,16)$$

**Compensación mediante capacitores o condensadores estáticos.** Nuestro objetivo es la reducción del costo de facturación de energía eléctrica, mediante la compensación del factor de potencia, para ello hablaremos brevemente sobre la compensación centralizada que es la que se ajusta a nuestro requerimiento.

**Compensación centralizada.** Este método consiste en la instalación de un conjunto de condensadores, que son conectados a las barras colectoras que se encuentran en el tablero general o a las líneas de entrada, como se muestra en la figura 1.4.

Generalmente este método es usado cuando la razón principal de corregir el factor de potencia, es bajar el costo mensual de energía eléctrica, que es nuestro caso como eje primordial.

Instalando una compensación centralizada también se mejora el sistema eléctrico mediante la reducción de la intensidad corriente, caída de tensión, reducción de temperatura en los cables alimentadores que vienen del generador o transformador. Cabe recordar que el rendimiento del sistema eléctrico solo se ve reflejado en los conductores principales, mas no en el sistema de distribución interior.

Para calcular un banco de condensadores se emparará la siguiente fórmula.

$$Q = P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2)[KVAR] \quad \dots(1,17)$$

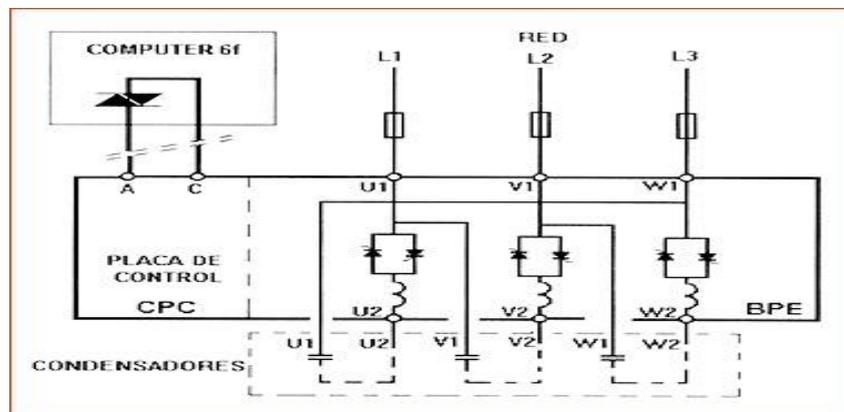


Figura N°1.4. Banco de condensadores, compensación centralizada. Fuente de Imagen. Internet.

### Normas que establecen la de fabricación de banco de condensadores.

Todo banco de condensadores debe estar sujeto a normas internacionales como la que se describen:

**Norma IEC 831.** Establece las temperaturas de operación entre -25°C a 45°C.

**Norma IEC 871.** EL banco de condensadores debe poseer dispositivos de descarga, asimismo se debe especificar sus características técnicas.

**Norma IEC 931.** Establece que se debe calcular el ángulo de pérdidas del banco de condensadores.

### Análisis económico.

Se denomina así al estudio de las estructuras económicas y a la rentabilidad de los capitales tanto cualitativa como cuantitativa. Para realizar nuestro análisis económico, tendremos presente lo siguiente:

#### Costos materiales directos.

Se relaciona al costo directo de los materiales constituidos para la fabricación del producto.

**Costos indirectos.**

Son todos los costos que intervienen en la fabricación de los productos, con la excepción de la materia prima y la mano de obra directa.

**Costo de la mano de obra directa.**

Son los costos que se identifican directamente con el personal que intervienen en la transformación del producto.

**Mano de obra indirecta.**

Son los costos que no intervienen directamente con la fabricación del producto.

**Costo de Inversión.**

El costo de inversión está conformado por el costo de posesión y costo de operación.

**Costo de posesión.**

Lo conforman:

- **Valor de adquisición (VA).** Viene hacer el precio actual del mercado, se obtiene mediante cotizaciones de los proveedores.
- **Vida económica útil (VEU).** Se define como el periodo en la cual un equipo trabaja en óptimas condiciones, donde su rendimiento es económicamente justificable.
- **Valor de rescate.** Se define como el valor de reventa que tendrá el equipo al final de su vida útil.

$$V_R = 20\% \text{ del VA} \quad \dots (1.18)$$

Dónde:

VA: Valor de adquisición.

- **Depreciación.** Es la devaluación del equipo contablemente en forma progresiva, con el fin proporcionar fondos para la adquisición de otra nueva.

$$D = \frac{(VA \cdot V_R)}{VEUht} \quad \dots (1.19)$$

Dónde:

VA: Valor de adquisición.

$V_R$ : Valor de rescate.

VEUht: Vida económica útil del equipo expresada en horas totales.

- **Inversión media anual.** Valor representativo sobre la cual se aplican los intereses de costo de capital, cuando varía el rendimiento del equipo a lo largo de su vida útil.

$$IMA = \frac{V_a(n + 1)}{2n} \quad \dots (1.20)$$

Dónde:

IMA: Inversión media anual. n:

Años de la vida útil.

### **Costo de operación.**

Lo conforma el costo de mantenimiento y el costo de materiales.

**Costo de mantenimiento.** Se considera un trabajo normal por lo que su costo representa un 70% del valor de adquisición del equipo.

Fórmula empleada.

$$C_M = V_A \times 70\% \quad \dots (1,21)$$

Dónde:

$V_A$ : Valor de adquisición.

$C_M$ : Costo de mantenimiento.

**Costo de materiales.** Lo conforman los materiales que intervienen en el mantenimiento y representa el 25%.

**Beneficio por compensación.** Se comprobará mediante la fórmula planteada

$$KVARH \times R \times n > (1 + ni)C_t \quad \dots (1,22)$$

Dónde:

R: Costo de KVAR –hora según las tarifas vigentes.

n: Años de vida útil probable.

$C_t$ : Capital (valor de adquisición). i:

Interés que gana el capital.

Retorno de inversión será de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$R. O. I = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio}} \quad \dots (1,23)$$

**Análisis del valor neto actual (VAN):** también conocido como valor actualizado neto o valor presente neto viene hacer la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y la cancelación generados por lo invertido. Emplearemos la fórmula de flujos constantes:

$$VAN = R \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} - P \quad \dots (1,24)$$

**Análisis del TIR.** Viene hacer la igualdad del valor presente de los flujos de entrada de efectivo esperado, con el valor presente de sus costos esperados. Fórmula planteada.

$$P = R \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} \quad \dots (1,25)$$

### **Realidad problemática.**

En la actualidad el Hospital Víctor Lazarte Echegaray, cuenta con un total de potencia instalada de 750 KVA, conformado por dos transformadores de 500 KVA y de 250 KVA, con una potencia contratada de 584.75 KW con la concesionaria Hidrandina (valor registrado en recibo de energía eléctrica) y una máxima demanda de 246.86 KW, registrado en el analizador de redes marca Schneider PM 710 instalado en el tablero general.

De acuerdo a lo registrado en los recibos de energía eléctrica de los años 2013, 2014 el hospital Víctor Lazarte Echegaray cuenta a un bajo factor de potencia de 0.736 como promedio, dicho valor se muestra en tabla 2.7 y una desviación estándar de 0.856 %, como se muestra en la tabla 2.8

Al tener un bajo factor de potencia de acuerdo Osinergmin [8], y a la empresa concesionaria Hidrandina estamos afecto a penalidad, quiere decir que hemos excedido el consumo de energía reactiva más del 30% de la energía activa.

Esto se ve reflejado en el costo de facturación eléctrica del 15.27% como gasto adicional, caída de tensión en los conductores principales y aumento de temperatura en los mismos.

El origen del bajo factor de potencia se debe a la implementación e instalación de equipos biomédicos y electromecánicos de mayor potencia, realizado por EsSalud en el hospital Víctor Lazarte Echegaray tal como se ilustra en la siguiente tabla N°1.2

Tabla N° 1.2. Equipos de Mayor potencia instalados en el Hospital Víctor Lazarte Echegaray. Elaboración propia

Ítem	Cantidad	Equipo	Marca	Potencia (KW)		Tensión (V)	N° de fases
				Potencia/ Equipo (KW)	Potencia total (KW)		
1	1	Rayos x	Philips	35	35	220	Trifásico
2	1	Mamografía	General Eléctric	20	20	220	Monofásico
3	3	Autoclaves a vapor	Consolídade	2	6	220	Monofásico
4	2	Electrobombas	Perles Pum	5	10	220	Trifásico
5	2	Secadoras	Cimelco	1.5	3	220	Trifásico
6	2	Lavadoras	Cimelco	2	4	220	Trifásico

Años después, EsSalud siguió una política de implementación adquiriendo equipos biomédicos de mayor potencia que las actuales, como se muestra en la tabla N° 1.3.

Tabla N°1.3. Equipos de Mayor potencia instalados en el Hospital Víctor Lazarte Echegaray. Elaboración propia

Ítem	Cant.	Equipo	Marca	Potencia (KW)		Tensión (V)	N° de fases
				Potencia/ Equipo (KW)	Potencia total (KW)		
1	2	Rayos x	Philips	50	100	220	Trifásico
2	1	Tomógrafo	General Electric	100	100	220	Trifásico
3	3	Ecógrafos	General Electric	1	3	220	Monofásico
4	2	Ascensores Camilleros	Hosting	15	30	220	Trifásico
5	2	Caldera de 100 BHP	Intesa	5	10	220	Trifásico

6	5	Aire Acondicionado de 90,000 BTU	York	17	85	220	Trifásico
---	---	-------------------------------------	------	----	----	-----	-----------

Con la implementación de equipos de mayor potencia, se originó un bajo factor de potencia en el sistema eléctrico, tal como se muestra en las tablas tabla N°1.4 y 1.5 del consumo de energía reactiva y activa durante un periodo desde mayo 2013 a abril 2014.

Tabla N°1.4. Fuente Tabla. Facturas de consumo de energía Reactiva del Hospital Víctor Lazarte Echeagaray. Elaboración propia

Costo de la potencia reactiva de acuerdo a la facturación mensual del año 2013 y 2014.			
Mes	Energía reactiva (KVAR/H)	Costo KVAR/H (S/.)	Costo mensual (S/.)
Mayo (2013)	79,119.37	0.0354	2,800.83
Junio (2013)	69,420.58	0.0354	2,457.48
Julio (2013)	71,270.94	0.0354	2,522.99
Agosto (2013)	73,068.34	0.0351	2,564.70
Septiembre (2013)	76,477.79	0.0354	2,707.31
Octubre (2013)	83,024.37	0.0354	2,939.06
Noviembre (2013)	84,854.35	0.0351	2,978.39
Diciembre (2013)	98,350.41	0.0354	3,481.60
Enero (2014)	105,531.136	0.0361	3,809.67
Febrero (2014)	108,726.98	0.0361	3,925.04
Marzo (2014)	107,049.09	0.0361	3,864.47
ABRIL (2014)	102,512.09	0.0359	3,680.18

Total de costo anual			37,562.50
----------------------	--	--	-----------

Nota: Los costos de KVAR/H han sido extraídos de los recibos de energía eléctrica, emitidos por la concesionaria Hidrandina S.A. Ver anexos A12.

Tabla N°1.5. Fuente Tabla facturas de consumo de energía Activa del Hospital Víctor Lazarte Echegaray.  
Elaboración propia

Costo de la energía activa de acuerdo a la facturación mensual del año 2013 y 2014.					
Mes	Energía activa (KVAR/H)			Costo KVAR/H (S/.)	Costo mensual SIN IG V (S/.)
	Costo de energía (S/.)	Energía activa F.P	Energía activa HP		
Mayo (2013)	0.138	108,547.30		14,979.53	18,637.89
	0.1614		22,666.45	3658.36503	
Junio (2013)	0.1382	97132.8665		13423.76215	17,082.13
	0.1614		19,464.78	3141.615492	
Julio (2013)	0.1382	98458.7015		13606.99255	16,996.76
	0.1614		21,002.29	3389.769299	
Agosto (2013)	0.1382	99,428.54		13,741.02	16,942.76
	0.1519		21,077.91	3201.733952	
Septiembre (2013)	0.1387	101958.38		14141.62731	17,343.36

	0.1516		21,458.54	3253.114998	
Octubre (2013)	0.1386	107588.7106		14911.79529	18,370.66
	0.1516		22,815.70	3458.860802	
Noviembre (2013)	0.1375	107797.5468		14822.16269	18,186.89
	0.1524		22,078.27	3364.72818	
Diciembre (2013)	0.1374	128786.08		17695.20739	21,664.76
	0.1525		26,029.86	3969.55365	
Enero (2014)	0.1376	145030.78		19956.23533	23,831.85
	0.1524		25,430.56	3875.617344	
Febrero (2014)	0.1425	156256.24		22266.5142	27,017.66
	0.156		30,456.09	4751.15004	
Marzo (2014)	0.1376	151019.7399		20780.31621	25,840.79
	0.1558		32,480.59	5060.475252	
Abril (2014)	0.1435	135722.2279		19476.1397	23,993.88
	0.1625		27,801.46	4517.737754	
Total de costo anual					245,909.39

Nota: Los costos de KW/H han sido extraídos de los recibos de energía eléctrica, emitidos por la concesionaria de Hidrandina S.A. Ver anexos A12.

Debido a esta realidad, el departamento de ingeniería del hospital Víctor Lazarte Echegaray, ha decidido compensar dicho factor de potencia encargándonos el estudio de la factibilidad técnica y económica de la compensación de la potencia reactiva. Por lo que la presente tesis se basará en hacer un análisis y cálculos respectivos con el fin de reducir el costo en la facturación de energía eléctrica y mejorar el rendimiento en las instalaciones eléctricas.

### **1.1. Problema.**

¿Es posible corregir el factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V del Hospital IV Víctor Lazarte Echegaray – Trujillo, mediante la implementación de un banco de condensadores?

### **1.2. Objetivos.**

#### **1.2.1. Objetivo general.**

Analizar técnica y económica la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V, del Hospital IV Víctor Lazarte Echegaray – Trujillo.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- 1.** Determinar la potencia reactiva necesaria del banco de condensadores, para corregir el factor de potencia del sistema eléctrico trifásico del Hospital IV Víctor Lazarte Echegaray, de tal manera que la potencia reactiva consumida no este afecto a pago alguno.
- 2.** Determinar la capacidad necesaria ( $\mu\text{f}$ ), del banco de condensadores para mejorar el factor de potencia y reducir el costo de facturación de la energía eléctrica.
- 3.** Calcular y/o seleccionar los dispositivos de protección y conexión del banco de condensadores.
- 4.** Determinar el factor C/K del regulador de potencia reactiva y la relación de transformación, del transformador de corriente.
- 5.** Diseñar el diagrama de conexión eléctrica del banco de condensadores.
- 6.** Analizar el efecto técnico y económico de instalar el banco de condensadores en las líneas de alimentación principal del Hospital IV Víctor Lazarte Echegaray.

## **II. Marco metodológico.**

### **2.1. Hipótesis.**

Sí es, posible técnica y económica corregir el factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V, del Hospital IV Víctor Lazarte Echegaray, para que la potencia reactiva no exceda el 30% de la potencia activa.

### **2.2. Variables.**

#### **2.2.1. Variables independientes.**

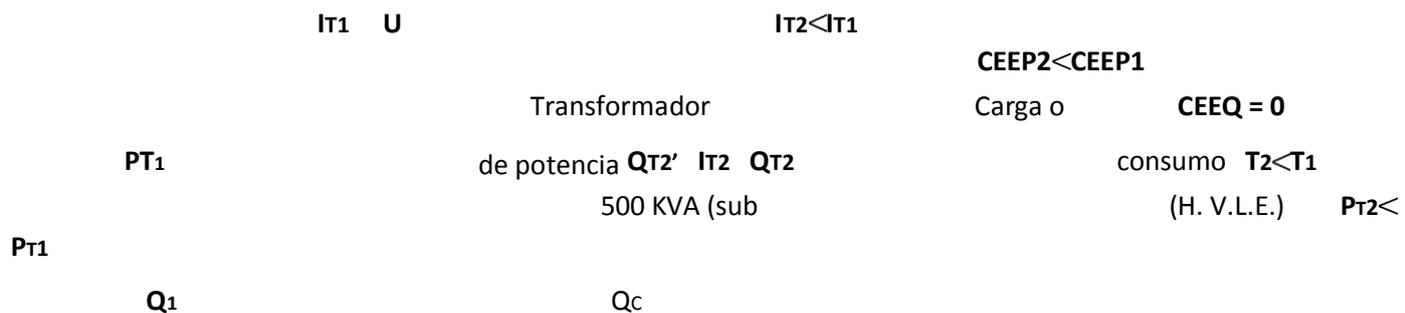
- Potencia activa total (KW).

- Potencia reactiva (KVAR).

### 2.2.2. Variables dependientes.

- Costo eléctrico de facturación de potencia activa (se reduce las pérdidas de potencia activa).
- Costo eléctrico de potencia reactiva.
- Intensidad de corriente.
- Factor de potencia final.
- Banco de condensadores.

Diagrama ilustrativo de variables independientes y dependientes del sistema eléctrico del hospital  
 Víctor Lazarte Echegaray.



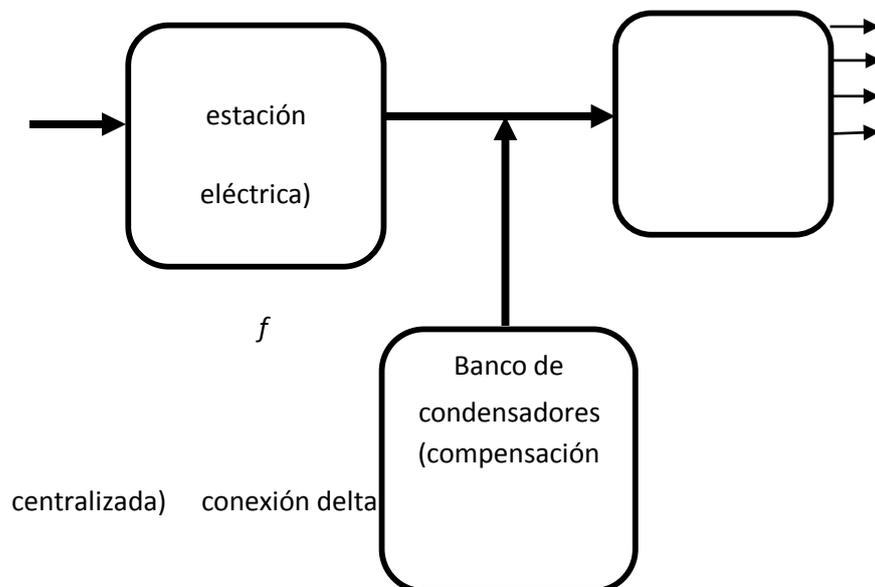


Figura N°2.1 Se muestra la variable independiente y dependiente en el sistema eléctrico H.V.L.E.

Dónde:

PT<sub>1</sub>: Potencia total inicial.

Q<sub>1</sub>: Potencia reactiva inicial.

IT<sub>1</sub>: Corriente total inicial (A).

IT<sub>2</sub>: Corriente total final (A).

CEEP: Costo de facturación potencia activa (KW-h).

CEEQ: Costo de facturación de potencia reactiva (KVAR-h).

T<sub>1</sub>: Temperatura inicial.

T<sub>2</sub>: Temperatura final.

Q<sub>c</sub>: Potencia reactiva del banco de condensadores.

*n*: Rendimiento U:

Tensión (V).

### 2.3. Operacionalización de variable.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
----------	-----------------------	------------------------	-------------	--------------------

Potencia activa	Potencia útil la que se transforma en trabajo[ ].	Potencia real que se consume en las instalaciones eléctricas y será medido con un analizador de redes PM70.	KW	0-750
Potencia reactiva	Potencia que no produce trabajo.	Potencia que solo aparece cuando existen cargas reactivas	KVAR	0-500
Costo eléctrico de facturación de potencia activa.	consumo mensual de potencia activa,	Costo registrado en la facturación emitido por la concesionaria Hidrandina.	KW-h	9,804.92 -11,146.50
Costo eléctrico de facturación de potencia reactiva	consumo mensual de energía reactiva, se anula con la compensación	Costo registrado en la facturación emitido por la concesionaria Hidrandina.	KVAR-h	8,671.56–10,568.34

Intensidad de corriente	cantidad de electrones que circulan a través de un conductor en unidad de tiempo	Menor corriente de operación mejorando el factor de potencia	A	0-2000
Factor de potencia final	Cantidad de energía que se convierte en trabajo[ ].	Valor cercano a la unidad, es el Cos $\phi$ deseado	%	0-100
Banco de condensadores	Conjunto o baterías de condensadores, con el fin de compensar el factor de potencia	Compensación centralizada	KVAR	0 - 210

#### 2.4. Metodología.

Se utilizó el método observacional – pre experimental.

#### 2.5. Tipos de estudio.

Investigación descriptiva y explicativa.

#### 2.6. Diseño de investigación.

Diseño pre experimental: Estudio descriptivo.

#### 2.7. Población y muestra.

##### Población.

Subestación eléctrica donde se encuentran los transformadores de 500 KVA y de 250 KVA de 10,000V/220V sistema trifásico.

##### Muestra.

Sub estación eléctrica del Hospital Víctor Lazarte Echegaray del transformador de 500 KVA, 220V trifásico.

**Datos técnicos:**

**Transformador N° 1**

- ❖ Potencia (S): 500 KVA.
- ❖ Tensión en baja: 220 voltios.
- ❖ Tensión en alta: 10 KV.
- ❖ Tipo de conexión: Dyn5.
- ❖ Fases: 3F
- ❖ Frecuencia: 60 HZ

Asimismo se muestra un diagrama unifilar de los transformadores de potencia que se encuentran instalados en el Hospital Víctor Lazarte Echegaray.

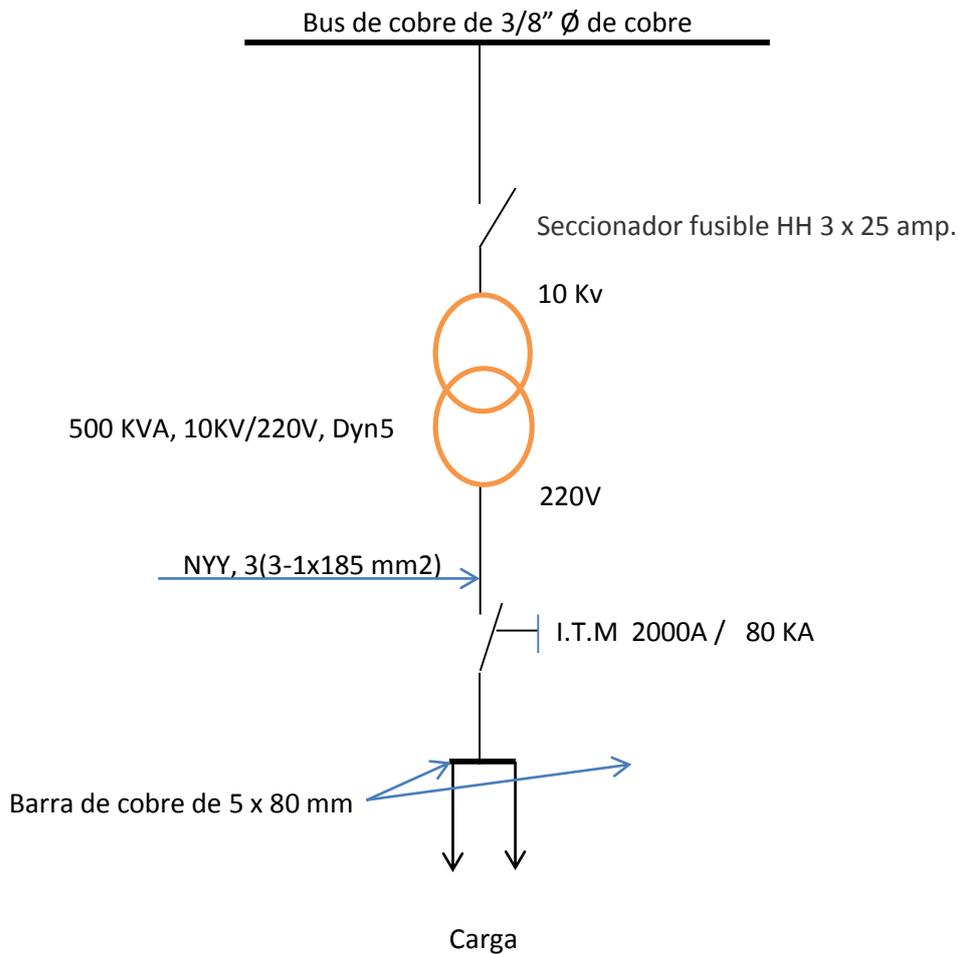


Diagrama N° 2.1. Diagrama unifilar del sistema de potencia eléctrica del H.V.L.E. Elaboración propia.

## 2.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

### 2.8.1. Instrumentos de medición.

Para medir los parámetros eléctricos se utilizaron los siguientes equipos:

#### 2.8.1.1. Analizador de redes.

Características técnicas:

Marca: Schneider.

Modelo: PM 710 MG CA.

Serie: 4BOA572F.

Potencia: 5VA

Intensidad: Por fase, neutro, media trifásica.

Tensión: Media trifásica, L-L y L-N.

Frecuencia: De 45 a 65 Hz.

Potencia activa: Total y por fase (absoluta).

Potencia reactiva: Total y por fase (absoluta).

Potencia aparente: Total y por fase.

Factor de potencia: Total (absoluto) de 0,000 a 1



FiguraN°2.2 Se muestra el analizador de redes PM710 MG CA.

#### 2.8.1.2. Pinza amperimétrica.

Características:

Marca: Prasek.

Modelo: PR – 108.

Serie: 1090392252



Figura N° 2.3 Se muestra la pinza amperimétrica usada para medir la corriente en cada circuito instalado.

## 2.8.2. Técnicas de recolección de datos.

### 2.8.2.1. Entrevistas.

Se realizaron entrevistas al personal encargado del mantenimiento y operación del sistema eléctrico, teniendo información valiosa de las sobre corrientes y las elevadas temperaturas de los conductores, en horas punta.

También se realizó entrevistas al jefe del taller y al personal de la oficina de ingeniería, para conocer su opinión sobre la compensación del factor de potencia y reducir el costo de facturación.

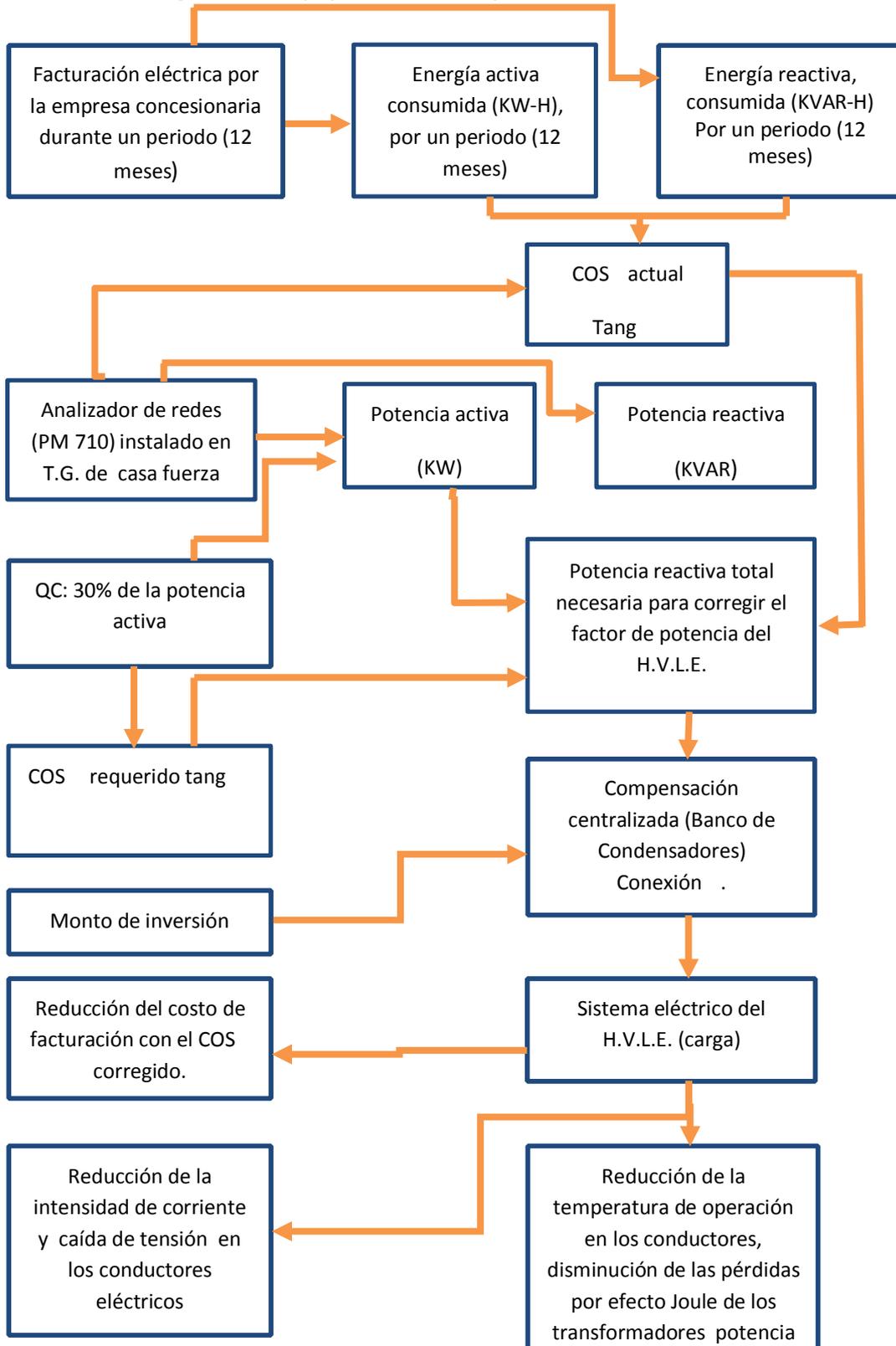
### 2.8.2.2. Analítica.

Se realizaron medidas de los parámetros de tensión, corriente, las potencias reactiva, activa, aparente y el factor de potencia ( $\cos \phi$ ), mediante un analizador de redes PM710, para efectuar los cálculos respectivos. De esta forma podremos conocer el valor apropiado de la Potencia Reactiva que requiere el Banco de Condensadores, y sus accesorios, que se van instalar.

### 2.8.2.3. Deductivo.

Se recopiló información y datos obtenidos de tesis, libros, páginas de internet, facturas de consumo de energía eléctrica emitido por la concesionaria Hidrandina para el desarrollo de la presente tesis.

**Diagrama de flujo para obtener la potencia reactiva total necesaria.**



**Procedimiento para obtener la potencia reactiva total necesaria.**

De acuerdo al diagrama de flujo mostrado, se describe el proceso para obtener la potencia reactiva necesaria, con el fin de corregir el factor de potencia del sistema eléctrico del hospital IV Víctor Lazarte Echegaray en 220V y reducir el costo de facturación eléctrica.

❖ **Información del consumo de energía mediante facturación:**

La información sobre el consumo de energía activa y reactiva se puede obtener mediante las facturas de energía eléctrica emitida por la empresa concesionaria, durante un periodo de 12 meses (1 año) en el departamento de patrimonio donde se encuentran archivadas todas las facturas.

❖ **Cos $\phi$  actual:**

Utilizamos directamente información del analizador de redes PM 710 para obtener el Cos $\phi$  del sistema actual y corroboramos este valor con los resultados obtenidos mediante los recibos de energía eléctrica.

❖ **Información mediante el analizador de redes potencia activa:**

Se obtiene información de la potencia activa y reactiva consumida mediante el analizador de redes PM-710 marca Schneider, que se encuentra instalado en el tablero general de distribución, ubicado en casa fuerza (Datos utilizados en los cálculos).

❖ **Cos $\phi$  requerido:**

Con los datos de la potencia activa total consumida se obtenemos la potencia reactiva que necesita la red, aplicando la fórmula N° 1.3 del marco teórico, luego se conocerá el nuevo Cos  $\phi$  que necesita el sistema eléctrico del H.V.L.E. para evitar pagar penalidades por el consumo de potencia reactiva.

❖ **Potencia reactiva requerida.**

Con los datos de la potencia activa, el Cos $\phi$  actual y el Cos  $\phi$  requerido, obtenemos la potencia reactiva necesaria con la fórmula N°1.17, compensación centralizada proveída en el marco teórico.

❖ **Determinación del tipo de compensación.**

De acuerdo a los objetivos requeridos de compensación reactiva la elección será una compensación centralizada (banco de condensadores) con un tipo de conexión en delta, analizada en el marco teórico.

❖ **Monto de inversión.**

El monto de inversión se realizará y se analizará si es viable o no la implementación, aplicando fórmulas descritas en el marco teórico.

❖ **Reducción del costo de facturación.**

La potencia reactiva encontrada, se inyectará al sistema eléctrico del hospital Víctor Lazarte Echegaray, de esta manera se corregirá el bajo factor de potencia alcanzando los valores deseados, por lo tanto se reflejará una reducción en el costo de facturación de consumo eléctrico.

❖ **Reducción de la intensidad de corriente, caída de tensión y calentamiento de los cables.**

Al corregir el bajo factor de potencia habrá una disminución de la intensidad de corriente en la línea, se mejorará la caída de tensión y se reducirá la temperatura de operación en los conductores eléctricos por efecto Joule esto se demostrará con las fórmula N° 1.13; 1.14; 1.15, descrita en el marco teórico.

❖ **Disminución de pérdidas por efecto joule en los hilos del transformador de potencia.** Se demostrará mediante la fórmula 1.16 descritas en el marco teórico. Asimismo la compensación centralizada quedaría instalada de acuerdo al diagrama N° 3, ver anexos A11.

## **2.9. Métodos de análisis de datos.**

2.9.1. Análisis de Datos. La información recopilada se ha modelado en tablas para un mejor análisis de los datos obtenidos.

La siguiente tabla N° 2.1 nos muestra el factor de potencia que esta afecto el hospital Víctor Lazarte Echegaray. Para encontrar dicho factor hemos recopilado información en los recibos de energía eléctrica de los años 2013 y 2014 y plasmado en los siguientes cuadros - adjunto.

Tabla N°2.1 Resultados del factor de potencia que afecta al sistema eléctrico del H.V.L.E.

Mes	<b>Formula:</b> $\sqrt{\frac{\quad}{\quad}}$	<b>Resultado</b>
Mayo (2013)	$\sqrt{\frac{\quad}{\quad}}$	0.74
Junio (2013)	$\sqrt{\frac{\quad}{\quad}}$	0.75
Julio (2013)	$\sqrt{\frac{\quad}{\quad}}$	0.744
Agosto (2013)	$\sqrt{\frac{\quad}{\quad}}$	0.74
Septiembre (2013)	$\sqrt{\frac{\quad}{\quad}}$	0.736
Octubre (2013)	$\sqrt{\frac{\quad}{\quad}}$	0.729
Noviembre (2013)	$\text{COS}\emptyset = \frac{129,876.23}{\sqrt{(129,876.23)^2 + (123,817.09)^2}}$	0.723
Diciembre (2013)	$\text{COS}\emptyset = \frac{154,815.95}{\sqrt{(154,815.95)^2 + (144,795.20)^2}}$	0.73
Enero (2014)	$\text{COS}\emptyset = \frac{164,163.98}{\sqrt{(164,163.98)^2 + (154,780.33)^2}}$	0.727
Febrero (2014)	$\text{COS}\emptyset = \frac{173,512.01}{\sqrt{(173,512.01)^2 + (160,780.59)^2}}$	0.733
Marzo (2014)	$\sqrt{\frac{\quad}{\quad}}$	0.749
Abril (2014)	$\sqrt{\frac{\quad}{\quad}}$	0.733
Promedio		0.736

La tabla N° 2.2 nos muestra la energía reactiva que esta afecto a pago de penalidad. Como se indica, el consumo de la energía reactiva excede el 30% de la energía activa. Estos datos lo hemos obtenidos del recibo de energía eléctrica emitido por la concesionaria.

Tabla N° 2.2 Se muestra la energía reactiva que excede el 30% de la energía activa

<b>Cálculo de la energía reactiva - 30% que excede de la energía activa de acuerdo a facturación mensual del año 2013 y 2014.</b>				
<b>Mes</b>	<b>Energía activa (KW/H)</b>	<b>Energía reactiva (KVAR/H)</b>	<b>Fórmula: (KVAR/ H) -(0.30x KW/H)</b>	<b>Energía reactiva afecto a penalidad</b>
Mayo (2013)	131,213.76	118,483.49	118,483.49 -(0.30 x131,213.76)	79,119.36
Junio (2013)	116,597.67	104,399.87	104,399.87 -(0.30 x 116,597.67)	69,420.56
Julio (2013)	119,460.98	107,109.23	107,109.23 -(0.30 x 119,460.98)	71,270.93
Agosto (2013)	120,506.44	109,220.27	109,220.27 -(0.30 x 120,506.44)	73,068.33
Septiembre (2013)	123,416.90	113,502.86	113,502.86 -(0.30 x 123,416.90)	76,477.79
Octubre (2013)	130,404.42	122,145.69	122,145.69 -(0.30x 130,404.42)	83,024.36
Noviembre (2013)	129,876.23	123,817.09	123,817.09 -(0.30x129,876.23)	84,854.22
DICIEMBRE (2013)	154,815.95	144,795.20	144,795.20 -(0.30x154,815.95)	98,350.42
Enero (2014)	164,163.98	154,780.33	154,780.33 -(0.30x 164,163.98)	105,531.13
Febrero (2014)	173,512.01	160,780.59	160,780.59 - (0.30 x 173,12.01)	108,726.98
Marzo (2014)	183,500.33	162,099.18	162,099.18 -(0.30x183,500.33)	107,049.08
Abril (2014)	163,523.69	151,569.19	151,569.19 -(0.30x163,523.69)	102,512.08

En la tabla N° 2.3 se ha obtenido la desviación estándar, se muestran los datos obtenidos del factor de potencia ( $X_i$ ) de acuerdo a la tabla N° 2.1, así como como el promedio ( $\bar{X}$ ), de acuerdo a estos datos obtenemos la varianza y la desviación estándar (S).

Tabla N° 2.3 se muestra la varianza y la desviación estándar

Ítem	$X_i$	$\bar{X} - X_i$	$(\bar{X} - X_i)^2$
1	0.74	-0.004	$1.6 \times 10^{-5}$
2	0.75	-0.014	$1.96 \times 10^{-4}$
3	0.744	-0.008	$6.4 \times 10^{-5}$
4	0.74	-0.003	$9 \times 10^{-6}$
5	0.736	0	0
6	0.729	0.007	$4.9 \times 10^{-5}$
7	0.723	0.013	$1.69 \times 10^{-4}$
8	0.73	0.006	$3.6 \times 10^{-5}$
9	0.727	0.009	$8.1 \times 10^{-5}$
10	0.733	0.003	$9 \times 10^{-6}$
11	0.749	-0.013	$1.69 \times 10^{-4}$
12	0.733	0.003	$9 \times 10^{-6}$
	Total		$8.07 \times 10^{-4}$
$s^2 = \frac{\sum(\bar{X} - X_i)^2}{n - 1}$		$S = \sqrt{s^2}$	

$7.33 \times 10^{-5}$	$8.56 \times 10^{-3}$
-----------------------	-----------------------

### III. Resultados

#### 3.1. Calculo de la potencia reactiva total requerida - Hospital Víctor Lazarte Echegaray.

La potencia reactiva se determinó a través de la información obtenida mediante el analizador de redes PM 710, instalado en el tablero de distribución general, ubicado en casa fuerza del Hospital Víctor Lazarte Echegaray ( ver en anexos A7-2 ). Las lecturas obtenidas se muestran en la siguiente tabla N° 3.1 y las tablas que se encuentran en los anexos. Se tomó la tabla N° 3.1 como referencia porque en ella se registró el factor de potencia más bajo 0.72. También se consultó los recibos de energía eléctrica emitida por la concesionaria Hidrandina, realizando los cálculos como se muestra en la tabla N° 2.1.

Los valores obtenidos en el analizador de redes tienen concordancia con los valores que se muestra en la tabla 2.1

Se ha tomado la información del analizador de redes modelo PM 710 marca Schneider, en 2 épocas diferentes. De acuerdo a información del personal a cargo de la operación del sistema eléctrico del Hospital Víctor Lazarte Echegaray las horas de mayor consumo de carga activa es entre las 10 am hasta 12 de la mañana. Referencia confiable.

Tabla N°3.1. Valores obtenidos en el analizador de redes durante una semana, en hora punta. Potencia activa y Cos  $\phi$ .

Fecha	Hora	Potencia activa (KW)	Coseno $\phi$
01/12/2014	10:00	238.45	0.76
01/12/2014	11:00	<b>246.86</b>	0.75
01/12/2014	12:00	245.79	0.74
02/12/2014	10:00	236.45	0.74
02/12/2014	11:00	239.78	0.74
02/12/2014	12:00	236.9	0.76
03/12/2014	10:00	238.69	0.73
03/12/2014	11:00	240.89	<b>0.72</b>
03/12/2014	12:00	237.79	0.73
04/12/2014	10:00	238.58	0.74
04/12/2014	11:00	246.79	0.75
04/12/2014	12:00	236.9	0.77
05/12/2014	10:00	237.89	0.74
05/12/2014	11:00	239.89	0.75
05/12/2014	12:00	237.9	0.77
06/12/2014	10:00	239.5	0.74
06/12/2014	11:00	240.4	0.75
06/12/2014	12:00	235.5	0.73

Tomamos como referencia el factor de potencia más bajo 0.72 (43.94°) registrado por el analizador de redes que afecta al sistema eléctrico.

Encontramos la potencia activa, de acuerdo a la tabla N° 3.7  $P_T = 246.86 \text{ KW}$ , tomando el valor más alto registrado en el analizador de redes marca Schneider modelo PM710, en horas de máxima demanda. Dicho analizador se encuentra instalado en el tablero de distribución general, ubicada dentro de casa fuerza.

Potencia aparente total, será:

$$S_T = \frac{246.86}{0.72} = 342.86 \text{ KVA} \quad \dots (3,1)$$

Potencia reactiva total consumida, de acuerdo al valor encontrado será:

$$Q_T = \sqrt{342.86^2 - 246.86^2} = 237.93 \text{ KVAR} \quad \dots (3,2)$$

De acuerdo a los cálculos realizados, se muestra el diagrama fasorial actual, sin compensación.

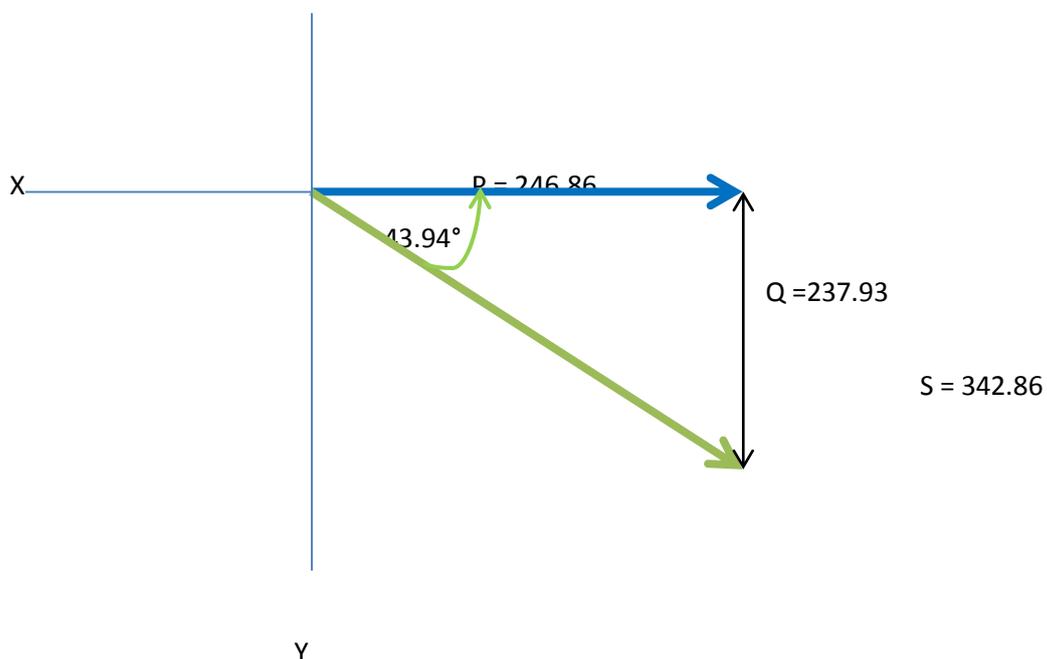


Figura N° 3.1. Diagrama fasorial sin compensación.

Encontramos el valor máximo de Potencia Reactiva que no está afecto a penalidades por parte de la concesionaria Hidrandina, mediante la fórmula (1.3) del marco teórico, para considerarlo en el diseño de la compensación del factor de potencia. De acuerdo a **Osinermin** norma “Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicaciones de las Tarifas a Usuarios Final” en su artículo 17°, el cual indica que el consumo de energía reactiva hasta el 30% de la Potencia Activa total, no sera motivo de recargo alguno, entonces:

$$Q \ll 246.86 \times 0.30 = 74.058 \text{ KVAR} \quad \dots (3,3)$$

Encontrando la nueva potencia aparente tenemos:

$$S = \sqrt{246.86^2 + 74.058^2} = 257.72 \text{ KVA} \quad \dots (3,4)$$

Entonces el nuevo  $\text{COS } \phi_2$  compensado será:

$$\text{COS } \phi_2 = \frac{246.86}{257.86} = 0.957 \quad \dots (3,5)$$

Dicho  $\text{Cos } \phi$  será fijado en el regulador de potencia reactiva. Ver anexos A9.

El ángulo  $\phi_2$  será.

$$\phi_2 = \cos^{-1} 0.957 = 16.86^\circ \quad \dots (3,6)$$

La Potencia reactiva del banco de condensadores que requiere el Hospital Víctor Lazarte Echeagaray, se obtiene realizando la diferencia entre la potencia reactiva total y la potencia reactiva necesaria.

$$Q_C = 237.93 - 74.058 = 163.872 \text{ KVAR} \quad \dots (3,7)$$

Quiere decir: potencia reactiva consumida (237.93), menos el 30 % potencia activa (74.058).

Comprobamos el resultado aplicando la fórmula 1.17 - compensación centralizada del marco teórico.

$$Q_C = 246.86 (\text{Tan } (43.94) - \text{Tan } (16.86)) = 163.07 \text{ KVAR} \quad \dots (3,8)$$

Aplicando ambas formas el resultado es el mismo.

Se muestra el diagrama fasorial con los factores de potencia original y corregida:

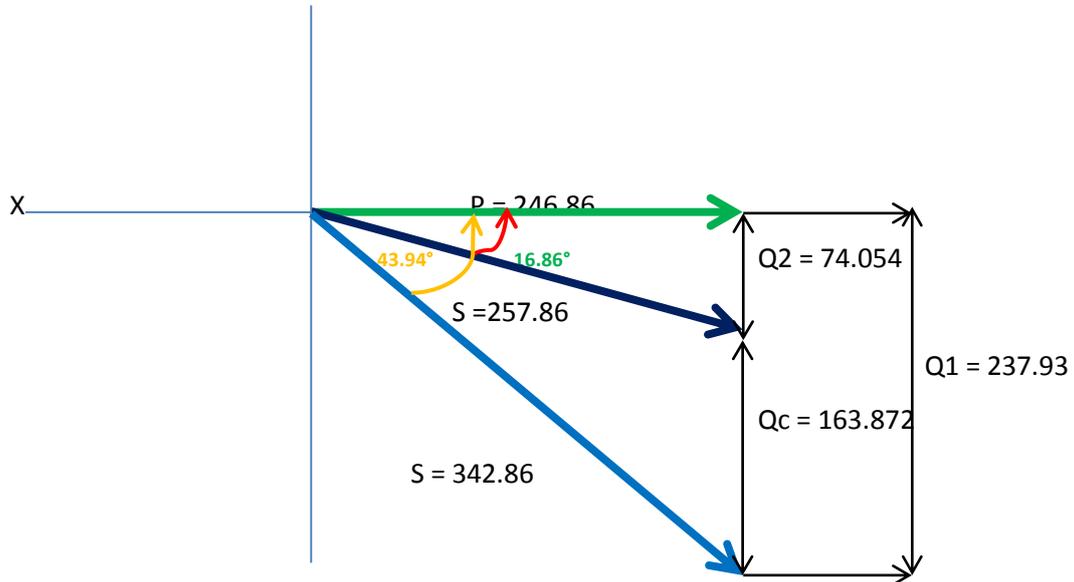


Figura N° 3.2 Diagrama fasorial antes y después de la compensación

A la potencia reactiva requerida, le agregamos el 20% como factor de diseño, para posibles ampliaciones de potencia instalada. Entonces el banco de condensadores debe suministrar la siguiente potencia reactiva:

$$Q_c = 163.872 \times 1.20 = 196.6 \text{ KVAR} \approx 197 \text{ KVAR} \quad \dots (3,9)$$

Entonces el diagrama fasorial quedaría:

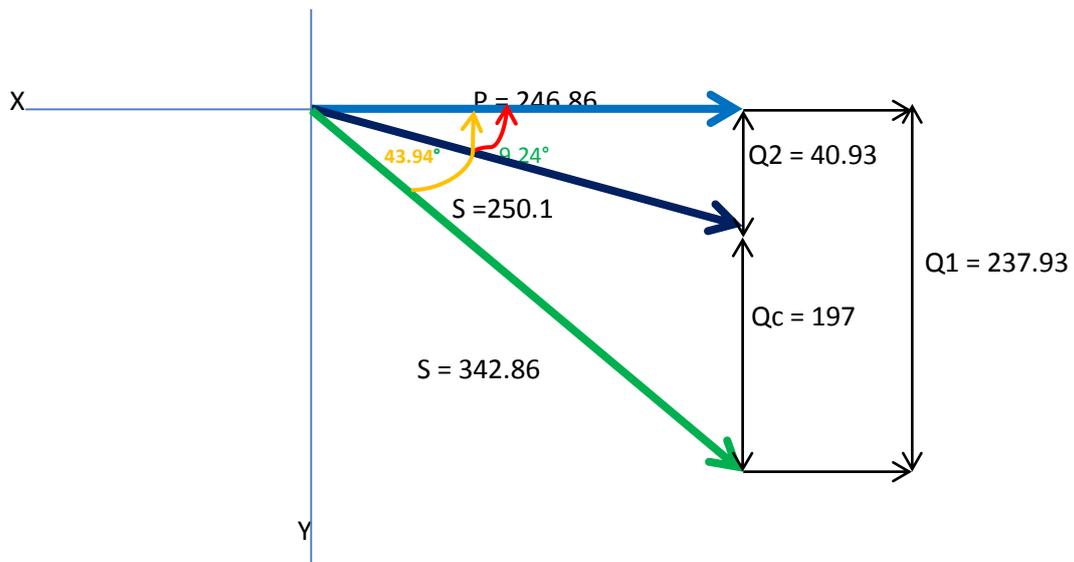


Figura N° 3.3 Se muestra el diagrama fasorial con el 25% de factor de diseño.

De acuerdo a los resultados, el Banco de Condensadores deberá tener una capacidad de Potencia Reactiva de **197 KVAR**. Se muestra en la Tabla N° 3.2 las características técnicas mínimas que debe tener el Banco de Condensadores.

Tabla N° 3.2. Características técnicas mínimas que debe reunir el Banco de Condensadores. Elaboración propia

CARACTERISTICAS TÉCNICAS DEL BANCO DE CONDENSADORES SELECCIONADO	
Norma de fabricación	IEC831, IEC871, IEC931
Potencia	197 KVAR
Tensión	230 V
Frecuencia	60 HZ
Celdas capacitivas	De polipropileno metalizado para 80°C, Continuos de temperatura
Fases	3
N° de Pasos	1.2.2.2.
Tipo de Conexión	Delta
Ventilación	Forzada, con Inyección y Extracción de aire
Descarga de celda	Por medio de resistencias individuales
Altitud máxima	1000 msnm
Garantía	20 años
Régimen de utilización	Continuo

**3.2. Encontramos la capacidad total del banco de condensadores ( $\mu\text{f}$ ) utilizando la potencia reactiva encontrada.**

$$C_T = \frac{197,000}{230^2 \times 2\pi \times 60} = 9,878.2 \mu\text{f} \quad \dots (3,10)$$

Impedancia total del banco de condensadores.

$$X_T = \frac{1000000}{2 \pi \times 60 \times 9,878.2} = 0.2685 \Omega \quad \dots (3,11)$$

**3.3. Calculo de la corriente total del banco de condensadores, para seleccionar los dispositivos de protección, conexión y el calibre del conductor eléctrico.**

$$I_T = \frac{197,000}{230 \times \sqrt{3}} = 494.51 \text{ A.} \quad \dots (3,12)$$

A la corriente total encontrada le agregamos el 25% (corriente de diseño):

$$I_d = 1.25 \times 494.51 = 618.13 \text{ A.} \quad \dots (3,13)$$

Encontramos la corriente de cortocircuito térmicamente admisible. Para seleccionar el valor adecuado utilizamos la tabla N° 1.1, que se encuentra en el marco teórico. Teniendo como referencia el valor de cortocircuito del interruptor termomagnético aguas arriba de 80 KA, como se muestra en diagrama de anexos A10

$$I_{CC} = 69 \text{ KA} \quad \dots (3,14)$$

De acuerdo al valor encontrado mediante los cálculos efectuados, se debe utilizar una interruptor termomagnético de caja moldeada trifásica general, en la entrada del banco de condensadores de 630 amperio regulable (valor comercial), con un poder de corte, de, cortocircuito de 70 KA (valor comercial).

Seleccionamos el calibre del conductor eléctrico en relación a la corriente de diseño encontrada, 618.13 amperios, utilizando la tabla de conductores que se encuentra en los anexos A5, considerando que los conductores se instalarán en canaleta abierta en el nivel del piso.

Seleccionamos el conductor apropiado, en nuestro caso se utilizará 2 conductores por fase de **120mm<sup>2</sup>** (3 x 1 x 120 mm<sup>2</sup>) conductor tipo **NYY**.

Para calcular los conductores eléctricos e interruptores termomagnético aguas abajo, encontraremos las capacidades (μf) y reactancia (Ω) por pasos del banco de condensadores. Como las capacidades y reactancias son iguales para la primera, segunda y tercera fila. Los valores hallados se aplicarán a cada una de ellos por tener la misma potencia reactiva, ver tabla N°3.3

$$C = \frac{70,000}{230^2 \times 2 \times \pi \times 60} = 3,510 \mu\text{f} \quad \dots (3,15)$$

$$X_C = \frac{10^6}{2 \times \pi \times 60 \times 15.26} = 0.755 \Omega \quad \dots (3,16)$$

La corriente encontrada también es igual para las 3 filas.

$$I_{f1\ 2\ 3} = \frac{70,000}{230 \times \sqrt{3}} = 175.71 \text{ A.} \quad \dots (3,17)$$

De acuerdo a los resultados se instalarán 3 interruptores termomagnético trifásicas de caja moldeada, una por cada fila, de 250 amperios regulable, con poder de cortocircuito hallado en el punto de acuerdo a la tabla N° 1.1, de 55 KA y un calibre de conductor eléctrico de 50mm<sup>2</sup>, (3 x 1 x 50mm<sup>2</sup>) THW. Se utilizó la tabla conductores eléctricos que se encuentra en anexos A4.

Para calcular la capacidad de carga que debe soportar los dispositivos de conexión y desconexión como son los contactores encontraremos las capacidades (μf) y reactancia (Ω) de los condensadores conectados en triangulo de 10 KVAR (valor comercial utilizado), ver diagrama N° 3 de anexo A11.

Los valores hallados se aplican a cada una de ellos, por tener la misma potencia reactiva ver tabla N°3.3

$$C = \frac{10,000}{230^2 \times 2 \times \pi \times 60} = 501.4 \mu\text{f} \quad \dots (3,18)$$

$$X_c = \frac{10^6}{2 \times \pi \times 60 \times 501.4} = 5.2 \Omega \quad \dots (3,19)$$

$$I_{f1\ 2\ 3} = \frac{10,000}{230 \times \sqrt{3}} = 25A. \quad \dots (3,20)$$

De acuerdo a los resultados se instalarán contactores trifásicos que soporten una intensidad de 25 amperios modelo LC1 – DLK11M7, estos modelos de contactores tienen la capacidad de mitigar las corriente de conexión logrando reducir a 80 In, (selección del modelo de los catálogos de Schneider).

**3.4. Cálculo del factor c/k del regulador de potencia reactiva y la resistencia de descarga.** Para calcular el Factor C/K se requiere:

- ✓ La Potencia Reactiva del primer condensador.  $Q = 10\ KVAR$ , ver tabla N° 3.3
- ✓ Relación de transformación del transformador de corriente: Calculamos en relación a la fórmula del marco teórico N° 1.8

$$I = \frac{500,000}{220 \times \sqrt{3}} = 1312.15A. \quad \dots (3,28)$$

Se debe escoger un transformador de 1500 amperios que es el valor normalizado inmediatamente superior al calculado. La corriente del secundario está en relación a la distancia entre el tablero general y el banco de condensadores. Como la distancia es menor a 10 metros el valor del secundario es 5 A (valor normalizado).

- Clase de precisión 0.5
- Consumo del equipo de medida 2 VA (regulador de potencia reactiva)
- Temperatura de la instalación 20°C □ Núcleo abierto.

Entonces, de acuerdo a lo calculado y teniendo presente la norma IEC 185 elegimos el transformador de corriente, con relación de transformación 1500/5.

Teniendo los valores necesarios aplicando la fórmula 1.7 del marco teórico se tiene:

$$\frac{C}{K} = \frac{\frac{10,000}{\sqrt{3} \times 220}}{\frac{1500}{5}} = 0.0874 \quad \dots (3,28)$$

El regulador de energía reactiva será programado de acuerdo al valor C/K encontrado 0.0874, de acuerdo a los pasos 1.2.2.2. Se muestra la regulación del Regulador de Potencia Reactiva en la, ver en anexos A7, figura A7.1

Calculo de la resistencia de descarga.

$$R = \frac{180}{1 \times 501.4 \times \log \frac{230\sqrt{2}}{75}} = 244.6 \text{ k}\Omega \quad \dots (3,28)$$

La potencia de las resistencia se calcula teniendo en cuenta que los condensadores pueden trabajar con sobre tensiones del 10 % de su valor nominal.

$$P = \frac{(1.1 \times 230)^2}{244.6} = 0.261 \text{ W} \quad \dots (3,29)$$

### 3.5. Diagrama de conexión del banco de condensadores.

El diagrama de conexión N° 3 se encuentra en anexos A11, en ello se muestra la interconexión de cada uno de los dispositivos, y la forma de trabajo en relación a la configuración de los pasos o escalones, monitoreada por el regulador de potencia reactiva.

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

Corriente total consumida en relación a la máxima demanda encontrada.

Sin compensar.

$$I_T = \frac{246,860}{230 \times \sqrt{3} \times 0.72} = 860.65 \text{ A} \quad \dots (3,21)$$

Compensada.

$$I_T = \frac{246,860}{230 \times \sqrt{3} \times 0.96} = 645.49A \quad \dots (3,22)$$

Como vemos la corriente disminuyó en 25% mejorando el Factor de Potencia al 96%, esta disminución solo afecta las líneas de alimentación principal.

Caída de tensión en el conductor.

Sin compensar.

$$\Delta E = \sqrt{3} \times 861.67 \times \frac{0.0175 \times 8}{400} = 0.5223 V \quad \dots (3,23)$$

Compensada.

$$\Delta E = \sqrt{3} \times 645.49 \times \frac{0.0175 \times 8}{400} = 0.391 V \quad \dots (3,24)$$

Como vemos la caída de tensión disminuyó en un 25% mejorando el Factor de Potencia al 96%, esta disminución solo afecta las líneas de alimentación principal.

Temperatura del conductor.

Sin compensar.

$$T = 25 + (90 - 25) \left( \frac{860.65}{1080} \right)^2 = 66.27^\circ \quad \dots (3,25)$$

Compensada.

$$T = 25 + (90 - 25) \left( \frac{645.49}{1080} \right)^2 = 48.2^\circ \quad \dots (3,26)$$

Como se demuestra, la temperatura del conductor también disminuyó en 27.2% mejorando el factor de potencia a 96%.

**Disminución de las pérdidas** por efecto Joule que producen los conductores del transformador de fuerza, para ellos tomamos las características técnicas del transformador de fuerza descritas en el marco teórico.

$$P_{cu \text{ final}} = 5,780 \times \left(1 - \left(\frac{0.85}{0.96}\right)^2\right) = 1248.69 \text{ W} \quad \dots (3,27)$$

La pérdida en el cobre disminuyo de 5,780 watts a 1248.69 watts quiere decir en un 78.39%.

**Distribución de la potencia reactiva - banco de condensadores.**

La distribución de los condensadores para obtener la potencia reactiva necesaria será: 1.2.2.2. De 10 KVAR (valor comercial) en conexión en delta, esta distribución se muestra en la tabla N° 3.3

Tabla N° 3.3. Se muestra la distribución de los condensadores (valores comerciales) en relación a los pasos programados por el regulador de Potencia Reactiva

Capacidad y Distribución Banco de Condensadores (KVAR)			
DISTRIBUCIÓN POR PASOS 1.2.2.2.			
PRIMER PASO	10	10	10
SEGUNDO PASO	10	10	10
	10	10	10
TERCER PASO	10	10	10
	10	10	10
CUARTO PASO	10	10	10
	10	10	10
TOTAL POR FILAS	70	70	70
TOTAL	210 KVAR		

En el diagrama N° 3 de anexo A11 se muestra el esquema de conexión de los condensadores conectados en delta, de acuerdo a los pasos 1.2.2.2.

**Análisis económico por la implementación e instalación del banco de condensadores - Hospital Víctor Lazarte Echegaray.**

Para implementar e instalar el banco de condensadores que compensa el factor de potencia se requiere del siguiente material directo; como se muestra en la tabla N° 3.4

Tabla N° 3.4. Lista de materiales a utilizar para el banco de condensadores. Elaboración propia.

Ítem	Cantidad	Materiales	Precio unitario (S/.)	Precio total (S/.)
1	21	Condensador de 10 KVAR - Varplus Cam (SCHNEIDER)	370.00	7,770.00
2	21	Contactador LC1- DLK11M7 (SCHNEIDER)	170.50	3,580.50
3	3	Interruptor termomagnético de caja moldeada NSX250F DE 250 AMP. regulables (SCHNEIDER)	1,015.00	3,045.00
4	1	Transformador de corriente de 1500/5	229.00	229.00
5	1	Rollo de conductor eléctrico N° 16 AWG	120.00	120.00
6	1	Paquete de precintos	6.00	6.00
7	12 m	Cable NYY de 120 mm <sup>2</sup> ; 2(3x 1 x 120)	185.00	2,220.00
8	5m	Cable desnudo para puesta a tierra 25mm <sup>2</sup>	10.50	52.50
9	1	Regulador de factor de potencia Varlogic (SCHNEIDER) de 6 pasos	1,424.00	1,424.00
10	1	Tablero metálico de 1600 x 650 x 60 mm	1,500.00	1,500.00
11	4	Doc. terminales	3.00	12.00
12		Costos indirectos		1,000.00
		Total costos de materiales		20,959.00

Costos de implementación e instalación.

Tabla N°3.5. Costos de la implementación del Banco de Condensadores. Elaboración propia

Costos de implementación del banco de condensadores	
Costos de materiales directos	20,959.00
Gastos indirectos	1,500.00
Mano de obra directa	2,500.00
Dirección técnica	1,500.00
<b>Monto de Costo total</b>	<b>26,459.00</b>

**inversión.**

Costo de posesión y costo de operación.

**Costo de posesión.**

**Valor de adquisición.** Costo de fabricación.

$$V_A = S/. 26,459 \quad \dots (3,30)$$

**Vida económica útil.**

$$VEU_h = n = 30,000 \text{ HORAS } \acute{o} \text{ 10 años} \quad \dots (3,31)$$

**Valor de rescate.** Valor de reventa que tendrá el equipo al final de su vida útil.

$$V_R = S/. 5,291.8 \quad \dots (3,32)$$

**Depreciación.**

Fórmula empleada.

$$D = \frac{26,459 - 5,291.8}{10} = S/. \frac{2,116.72}{\text{año}} \quad \dots (3,33)$$

$$D = \frac{2,116.72}{4320} = S/. \frac{0.489}{h}$$

**Inversión media anual.**

$$IMA = \frac{26,459(10 + 1)}{2 \times 10} = S/. 14,552.45 \quad \dots (3,34)$$

**Costo de Operación.**

$$C_M = V_A \times 70\% \quad \dots (3,36)$$

$$C_M \ll 26,459 \times 0.70 = 18,521.3$$

Ajuste por Inflación moderada del 3% en los costos de mantenimiento:

$$18,521.3 \times 1.03 = 19,076.93 \quad \dots (3,37)$$

De acuerdo a este valor se tomará un 25% de mano de obra y un 75% de gasto de repuestos, de acuerdo a la Norma Técnica, emitido por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento quiere decir:

**Mano de obra de mantenimiento (MO).**

$$MO = 19,076.93 \times 0.25 = S/. 4,769.23 \dots (3,38)$$

**Costo de materiales (CM).**

$$CM = 19,076.93 \times 0.75 = S/. 14,307.69 \dots (3,39)$$

**Costo total de Inversión.** Por posesión y operación.

$$C_T = 26,459 + 19,076.93 = S/. 45,535.93 \dots (3,40)$$

**Beneficio por compensación.** Costo total anual de potencia reactiva. Ver tabla N°1.4

ahorro = 37,562.50/año... (3,41) Comprobando si es viable la adquisición.

$$37562.50 (10) > (1 + (10 \times 0.04)) \times 45535.93$$

$$375,625 > 63,750.302$$

El retorno de la inversión será:

$$R. O. I = \frac{45,535.93}{37,562.50} = 1.21 \approx 1.2 \text{ años} \quad \dots (3,43)$$

En anexos, se muestra en la Tabla A6 – anexo A6, el retorno de la inversión por meses.

**Análisis del valor neto actual (VAN):** Empleando la fórmula de flujos constantes:

Datos:

P: 45,535.93

R: 37,562.50

I: 12% (costo de capital).

n: 1.5. Años

$$VAN = 37562.50 \frac{(1 + 0.12)^{1.5} - 1}{0.12(1 + 0.12)^{1.5}} - 45,535.93 = 3398.39 \quad \dots (3.44)$$

Según la regla del VAN:

❖ Si el VAN es positivo el proyecto debe aceptarse.

❖ Si el VAN es negativo el proyecto debe ser rechazado.

En consecuencia, de acuerdo al resultado que se muestra el proyecto es viable económicamente.

**Análisis del TIR.** Igualamos el valor presente de los flujos de entrada de efectivo esperado, con el valor presente de sus costos esperados. .

$$45,335.93 = 19,667.47 \frac{(1 + 0.421)^{10} - 1}{0.421(1 + 0.421)^{10}} \quad \dots (3.45)$$

$$45,335.93 = 45,324.4$$

La inversión resulta rentable toda vez que el TIR obtenido 42.21% supera al costo de capital de 12%.

#### IV. DISCUSIÓN.

**4.1.** La potencia reactiva del banco de condensadores, será 197 KVAR, que inyectará corriente puramente capacitiva al sistema eléctrico del Hospital Víctor Lazarte Echeagaray, mejorando de esta forma el factor de potencia. Con la capacidad reactiva mencionada se ha logrado pasar de un factor de potencia de 0.72 (valor actual) a 0.96 (valor calculado). El nuevo  $\cos \phi$  compensado ha sido determinado analíticamente, utilizando cálculos que se detallan en los cuadros y esquemas en resultados.

Al compensar la potencia reactiva, se ha logrado mejorar el factor de potencia en un 75% (de 0.72 a 0.96). Estos resultados han sido corroborados con la tesis consultada de Enrique Gómez Morales. En dicha tesis se logró mejorar el factor de potencia de 0.79 a 0.95. Comparamos los resultados y verificamos que efectivamente nuestros cálculos tienen concordancia por lo tanto son válidos.

Nos apoyamos también en la norma de Osinergmin en su artículo 17° “Opciones tarifarias y condiciones de aplicaciones de las tarifas a usuario final”, que dice: la energía reactiva inductiva consumida hasta un valor equivalente del 30% de la energía activa total, mensual, no será afecto a pago alguno.

**4.2.** Al realizar los cálculos respectivos obtuvimos una capacidad total de 9,878  $\mu\text{f}$ , dicha capacidad será suministrada por el banco de condensadores mediante 21 condensadores instalados, cuyo valor nos permite analizar la cantidad de corriente puramente capacitiva que se inyectará al sistema eléctrico del hospital Víctor Lazarte Echegaray, compensando de esta forma el factor de potencia y obteniendo una reducción en el costo de facturación debido a que la energía reactiva no estará afecto a pago alguno.

**4.3.** De acuerdo a los cálculos realizados la corriente total del banco de condensadores será 494.51 amperios. A este valor le hemos agregado un 25 % como factor de diseño, obteniendo una corriente de 618.13 amperios. El valor determinado no es comercial para la selección del interruptor termomagnético, por lo tanto tomaremos el valor inmediato superior de 630 amperios (valor comercial).

La corriente en los circuitos de derivación es de 175 amperios por no ser un valor comercial para la selección de los interruptores termomagnético, hemos seleccionado el valor inmediato superior y será de 250 amperios.

Estos interruptores termomagnético deben ser de caja moldeada y regulable, para ser operados en relación a su carga. Los dispositivos de conexión serán mediante contactores, los que deben soportar una corriente nominal de 25 amperios.

**4.4.** El factor “K” calculado es de 0.0874 y la relación de transformación, del transformador de corriente es de 1500/5. Estos valores han sido determinados en los resultados. El regulador de potencia tiene un rango de regulación entre 0.025 – 1, dicho rango nos permite fácilmente posicionarlo en el lugar determinado. Calcular estos valores son de suma importancia, porque permite la conexión y desconexión de los condensadores mediante los contactores magnéticos en relación a la necesidad de potencia reactiva del sistema eléctrico, un resultado equivocado tendríamos conexiones innecesarias.

Para encontrar estos valores nos hemos apoyado en las fórmulas que nos han proporcionado la empresa Schneider [3], facilitándonos con ejemplos de aplicación, dando validez a los resultados obtenidos

**4.5.** Se ha diseñado un diagrama de conexión del banco de condensadores, donde se puede visualizar las conexiones de los dispositivos como son los condensadores (conexión delta), los dispositivos de conexión (contactores) y los de protección (interruptores magnéticos), todos ellos monitoreados por el regulador de potencia reactiva, este esquema se encuentra en el anexo A11.

**4.6.** Los cálculos efectuados demuestran, un mejor rendimiento de la energía eléctrica en las instalaciones eléctricas. Esto implica que mejoró la eficiencia en las redes eléctricas producto de la reducción de la Intensidad de corriente en un 25% de 860.65 amperios a 645.49 amperios, reducción de la temperatura en 27.2% de 66.27° a 48.2°, reducción de caída de tensión en los conductores del 25% de 0.5223 voltios a 0.391 voltios, así como una reducción de pérdidas por efecto Joule producido en los hilos de cobre del transformador ( $P_{CU}$ ) un 78.39%, pasando de 5,780 W a 1248.69 W.

En nuestro caso, la caída de tensión es pequeña debido a que este parámetro depende de la distancia entre la salida del transformador y el tablero general.

En una de la tesis consultadas, de Gabriel Estrada Soria, este muestra resultados de mejoramiento con una mejor eficiencia en la red de energía eléctrica mediante la compensación reactiva. Los métodos empleados tienen concordancia con los resultados que mi tesis utiliza. Dicho resultado tienen relación con los valores aquí obtenidos, los cuales se encuentran dentro del rango esperado, dando confiabilidad al desarrollo del presente estudio.



## V.

### CONCLUSIONES.

Mediante los cálculos realizados se obtuvo una reducción del 15.27% en el costo de facturación eléctrica, por lo que es viable la inversión e instalación del banco de condensadores de compensación reactiva.

**5.1.** La potencia reactiva necesaria para compensar el factor de potencia del Hospital Víctor Lazarte Echegaray es de 197 KVAR; de esta manera la potencia reactiva consumida no estará afecto a pago alguno.

**5.2.** La capacidad total calculada del banco de condensadores es de 9,878  $\mu$ f.

**5.3.** El interruptor termomagnético principal (aguas arriba) será de 630 amperios, los interruptores termomagnético de los circuitos derivados serán de 250 amperios, los contactores de conexión deben soportar una corriente nominal de 25 amperios. Estos interruptores termomagnético deben ser de caja moldeada y regulable, para ser operados en relación a su carga.

**5.4.** El factor C/K del regulador de potencia de acuerdo al resultado será regulado en 0.0874. El transformador de corriente tendrá una relación de transformación 1500/5.

**5.5.** El diagrama de conexión del banco de condensadores se muestra en el capítulo anexo A13 (diagrama N° 3).

**5.6.** La reducción de la corriente es de 25%, la reducción de la temperatura es de 28%, la caída de tensión mejoró en 25% y una reducción de pérdidas en el cobre del transformador de potencia del 78.39%, y una reducción en el costo de facturación de consumo de energía eléctrico del 15.27 %, el monto de inversión será S/. 45,335.93 nuevo soles, y un retorno de la inversión en un plazo de 1 año y 2 meses.

## **VI.**

### **RECOMENDACIONES.**

**6.1.** Se recomienda hacer un análisis más detallado de los factores que pueden afectar al Sistema Eléctrico, al momento de conectar a la red el banco de capacitores, teniendo en cuenta el comportamiento de los armónicos y los fenómenos de resonancias. Deberá tomarse medidas correctivas para mitigar los efectos antes señalados.

**6.2.** Al conectar los condensadores mediante los contactores, ocurren los llamados efectos transitorios. Estos efectos pueden alterar en algunos casos a los dispositivos electrónicos que pudieran estar conectados en las líneas eléctricas. Por lo que es recomendable utilizar supresores de pico para amortiguar los trasientes.

**6.3.** Se recomienda hacer un análisis, mediante el uso de algún software o un analizador de redes, para verificar la calidad de energía eléctrica y realizar una simulación que permita monitorear los armónicos y las resonancias en la línea, ya que los cálculos efectuados sobre la compensación del factor de potencia son en términos ideales.

**6.4.** Elaborar un plan de mantenimiento preventivo programado para alargar la vida útil del equipo (Banco de Condensadores). Para la implementación del mantenimiento preventivo se recomienda tomar como referencia lo calculado en el análisis de costos, el indica un 25% para mano de obra y un 75% para materiales. Mantener un equipo al 100% de operatividad nos asegura una reducción de costo de facturación, de parte de la concesionaria, por un periodo de 20 años como vida útil y una buena calidad de energía en los receptores.

## VII.

### BIBLIOGRAFÍAS

#### Libros.

- [1] Jhon J. GRAIGER y William D. STEVENSON Jr. "Análisis de sistema de Potencia, S.A. Primera Edición, [s. n. ], México 1996.
- [2] Enríquez Harper, Gilberto, "La calidad de energía en los sistema de eléctricos", Editorial Limusa SAC de C.V., Primera edición, México 2006.
- [3] Schneider Electric- Perú "Manual y catálogo del electricista", [s. n. ], Buenos Aires, 6 de Diciembre del 2002.
- [4] Córdova Chávez, Cesar "Mejora el Factor de Potencia", [s. n. ], [s. l. ], 1993.
- [5] Robert Rosenberg, B.S "Reparación de Motores Eléctricos" Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 7° edición ampliada, Méjico 1994.
- [6] Salvador Peralta Tupia, "Electricidad IV", Editorial Escuela Nueva S.A., Primera Edición, Perú 1980.
- [7] Sampieri Hernández, "Metodología a la Investigación", Editorial Mc GRAW – HILL/ Interamericana de Editores S.A. 5° edición 2010 Méjico.
- [8] Santillán Chumpitaz, Ricardo, "Reducción del Consumo de Energía Reactiva de Maquinas Eléctricas de Inducción", [s. n. ], [s. l. ] 1987.
- [9] Enríquez, Gómez Morales "Compensación de Potencia Reactiva" Tesis para obtener el título de ingeniero electricista, Instituto Politécnico Nacional, Octubre del 2009. 94p
- [10] Milla Lostaunau, Luis, "Circuitos Eléctricos 1", editorial San Marcos, Jesús María – Lima, fecha probable [2000].

#### Páginas web.

1. Corrección del factor de potencia, [fecha consultada : 15 de febrero 2015]. Disponible en: [www.monografias.com/.../correccion-factor-potencia/correccion-factor-potencia.shtml](http://www.monografias.com/.../correccion-factor-potencia/correccion-factor-potencia.shtml).
2. Corrección del factor de potencia, [fecha consultada: 17 de febrero 2015]. Disponible en: [www.weg.net/.../WEG-correccion-del-factor-de-potencia-50034873-catalogo-espanol.pdf](http://www.weg.net/.../WEG-correccion-del-factor-de-potencia-50034873-catalogo-espanol.pdf).
3. Sistemas de potencia, [fecha consultada: 10 de Marzo de 2015]. Disponible en: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/potencia-electrica.html>.
4. Condensadores de potencia reactiva, [fecha consultada: 18 de marzo 2015]. Disponible en: [www.schneider-electric.com/...capacitores/7549-bancos-de-capacitores-para-corrección-de-factor-de-potencia](http://www.schneider-electric.com/...capacitores/7549-bancos-de-capacitores-para-corrección-de-factor-de-potencia).

5. Potencia reactiva, [*fecha consultada: 20 de Enero 2015*],  
Disponible en: <http://quintoarmonico.es/2010/11/24/reactiva-compensacion-fija-y-automatica/>
6. Conductores eléctricos, [*fecha consultada 20 de marzo 2015*],  
Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos71/conductores-electricos/conductoreselectricos.shtml>. Sobre conductores eléctricos.
7. Transformadores de potencia [*fecha consultada 10 de Abril 2015*]. Disponible en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1136&tip=7>. sobre el rendimiento de los transformadores.
8. Norma de opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicaciones de las tarifas a Usuarios Final [*fecha consultada 10 de setiembre 2015*], Disponible en <http://www2.osinerg.gob.pe./resol>.  
Sobre las normas técnicas de consumo de potencia reactiva.
9. Sistema eléctrico [*fecha consultada 8 de Febrero 2016*], Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos73/sistema-electrico/sistema-electrico.shtml>.
10. Sistema eléctrico [*fecha consultada 8 de Febrero 2016*], Disponible en <http://www.tuveras.com/lineas/sistemaelectrico.htm>.
11. Determinación de costos [*fecha consultada 8 de Febrero 2016*] Disponible en,  
[http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/lima/03\\_Ing.%20Carlos%20Carhuavilca%20Mechato\\_02.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/lima/03_Ing.%20Carlos%20Carhuavilca%20Mechato_02.pdf)

**Anexos.**

En este capítulo de anexos se muestran cuadros, figuras y diagramas que nos ayudarán a entender el tema de la presente tesis.

**Anexo A1.** Se muestran valores obtenidos en el analizador de redes en hora punta perteneciente al mes de Enero del 2015, registrados en el analizador de redes PM 710, en donde se puede visualizar la potencia activa y el factor de potencia.

Tabla A1. Resultado del factor de potencia registrado en el analizador mes de Enero hora punta

Fecha	Hora	Potencia activa (KW)	Coseno $\phi$
02/01/2015	10:00	236.45	0.77
02/01/2015	11:00	244	0.76
02/01/2015	12:00	235.09	0.78
05/01/2015	10:00	236.45	0.75
05/01/2015	11:00	240.78	0.78
05/01/2015	12:00	235.9	0.77
06/01/2015	10:00	238.69	0.75
06/01/2015	11:00	241.89	0.76
06/01/2015	12:00	236	0.77
07/01/2015	10:00	238	0.76
07/01/2015	11:00	236.79	0.77
07/01/2015	12:00	236.9	0.76
08/01/2015	10:00	236.89	0.74
08/01/2015	11:00	239.89	0.75
08/01/2015	12:00	237	0.77
09/01/2015	10:00	239	0.76
09/01/2015	11:00	241	0.75
09/01/2015	12:00	235.08	0.77

**Anexo A2.** Se muestran valores obtenidos en el analizador de redes en hora punta perteneciente al mes de Febrero del 2015, registrados en el analizador de redes PM 710, en donde se puede visualizar la potencia activa y el factor de potencia

Tabla A2. Resultado del factor de potencia registrado en le analizador de redes mes de Febrero en hora punta

Fecha	Hora	Potencia activa (KW)	Coseno $\phi$
02/02/2015	10:00	236	0.77
02/02/2015	11:00	243	0.76
02/02/2015	12:00	235.09	0.78
03/02/2015	10:00	236.45	0.75
03/02/2015	11:00	240.78	0.78
03/02/2015	12:00	236	0.77
04/02/2015	10:00	238.69	0.75
04/02/2015	11:00	242.89	0.76
04/02/2015	12:00	236	0.75
05/02/2015	10:00	239	0.76
05/02/2015	11:00	236.79	0.77
05/02/2015	12:00	236.9	0.76
06/02/2015	10:00	236.89	0.74
06/02/2015	11:00	239.89	0.75
06/02/2015	12:00	237.9	0.77
07/02/2015	10:00	239	0.78
07/02/2015	11:00	241.6	0.75
07/02/2015	12:00	235.08	0.76

**Anexo A3.** Se muestran valores obtenidos en el analizador de redes en hora punta perteneciente al mes de Marzo del 2015, registrados en el analizador de redes PM 710, en donde se puede visualizar la potencia activa y el factor de potencia

Tabla A3. Resultado del factor de potencia registrado en el analizador de redes mes de Marzo en hora punta

Fecha	Hora	Potencia activa (KW)	Coseno $\phi$
02/03/2015	10:00	238.45	0.77
02/03/2015	11:00	246.86	0.76
02/03/2015	12:00	245	0.78
03/03/2015	10:00	236.45	0.75
03/03/2015	11:00	239.78	0.78
03/03/2015	12:00	236.9	0.77
04/03/2015	10:00	238.69	0.75
04/03/2015	11:00	240.8	0.76
04/03/2015	12:00	237.79	0.75
05/03/2015	10:00	238.58	0.76
05/03/2015	11:00	246.79	0.77
05/03/2015	12:00	236.9	0.76
06/03/2015	10:00	230	0.72
06/03/2015	11:00	239.89	0.75
06/03/2015	12:00	237.9	0.77
09/03/2014	10:00	239.5	0.78
09/03/2014	11:00	240.4	0.75

09/03/2014	12:00	235.5	0.76
------------	-------	-------	------

#### Anexos A4

. Tabla de datos técnicos de conductores eléctricos, en relación capacidad (amperios), para selección del conductor eléctrico THW. El conductor seleccionado es **50 mm<sup>2</sup>**.

Tabla A4. Tabla de selección de conductor para cable THW. Fuente. Internet  
<http://hogar.yoreparo.com/electricidad/1000743.html>

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm <sup>2</sup> )								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

(\*) NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO / TEMPERATURA AMBIENTE 30°C.

## Anexos A5

. Tabla de datos técnicos de conductores eléctricos, en relación capacidad (amperios), para selección del conductor eléctrico NYN. El conductor seleccionado es **3x1x120 mm<sup>2</sup>**

Tabla A5. Tabla de datos técnicos para selección de conductor, cable NYN. Fuente tabla: <http://www.electrofenix.net/conductores.html>

Especificaciones Cables NYN Triple									
Calibre Cable Nº x mm <sup>2</sup>	Numero Hilo	Espesores		Dimensiones		Peso Kg/Km	Capacidad de Corriente (*)		
		Aislamiento mm	Cubierta mm	Alto mm	Ancho mm		Enterrado A	Aire A	Ducto A
3 x 1 x 6	1	1,0	1,4		23	327	72	54	58
3 x 1 x 10	1	1,0	1,4		25	460	95		
3 x 1 x 16	7	1,0	1,4	7,5 8,3 9,8 11,5	29		127		
3 x 1 x 25	7	1,2	1,4		35		163		
3 x 1 x 35	7	1,2	1,4	12,6	38		195		
3 x 1 x 50	19	1,4	1,4	14,3	43		230		
3 x 1 x 70	19	1,4	1,6	16,5	50		282		
3 x 1 x 95	19	1,6	1,6	18,7	56			74	77
								100	102
								131	132
								161	157
								196	186
								250	222
								306	265
								356	301
								408	338
								470	367
								562	426
								646	480
							336	790	555

**Anexos A6**

3 x 1 x 120	37	1,6	1,8	20,7	62	688	382		
						1020			
						1331			
						1746			
						2440			
						3297			
						4097			
						4977			
						5160			
						3020			
						3930			
						2619			
3 x 1 x 150	37	1,8	1,8	22,6	68		428		
3 x 1 x 185	37	2,0	1,8	24,8	74		483		
3 x 1 x 240	61	2,2	2,0	28,2	85		561		
3 x 1 x 300	61	2,4	2,0	31,0	93		632		
3 x 1 x 400	61	2,6	2,2	34,7	104		730		
3 x 1 x 500	61	2,8	2,2	38,2	115	15705	823	895	567

(\*) - No más de tres conductores por ducto  
 - Temperatura ambiente 30°C

. Tabla de retorno de la inversión de 1 año 2 meses, los valores que se muestran han sido

**Anexos A7**

extraídos de los recibos de Energía Eléctrica. Lo que se deja de pagar mensualmente y el costo de adquisición del banco de condensadores.

Tabla A6. Tabla de retorno de inversión

Banco de Condensadores Instalada (Mes)	Monto que se deja de pagar por Potencia Reactiva (S/.)	Monto de Inversión (Valor de adquisición) S/.
		45,535.39
1	2,803.83	42,731.56
2	2,457.81	40,273.75
3	2,522.99	37,750.76
4	2,564.70	35,186.06
5	2,707.31	32,478.75
6	2,939.06	29,539.69
7	2,978.39	26,561.30
8	3,481.60	23,079.70
9	3,782.57	19,297.13
10	3,782.58	15,514.55
11	3,864.47	11,650.08
12	3,680.18	7,969.90
13	3,690.45	4,279.45
14	3,659.90	619.55
15	3,360.63	-2,741.08

## Anexos A8

## Anexos A

7. En la figura se muestra el regulador de potencia reactiva marca Circutor, programado para un factor de potencia de 96% y un factor C/K regulado en 0.0874 y la ubicación del analizador de redes PM 710 en el tablero de distribución general.



Figura A7.1. Regulador de potencia reactiva



Figura A7.2. Tablero general

## Anexos A

8. En la figura se muestra el transformador de potencia de 500 KVA del hospital Víctor Lazarte Echegaray, ubicado en sub estación, donde se puede visualizar los fusibles de protección tipo HH3.



Figura A8. Transformador de fuerza del H.V.L.E.

Anexos A

9. Tabla de selección de los contactores en relación a la potencia reactiva del condensador

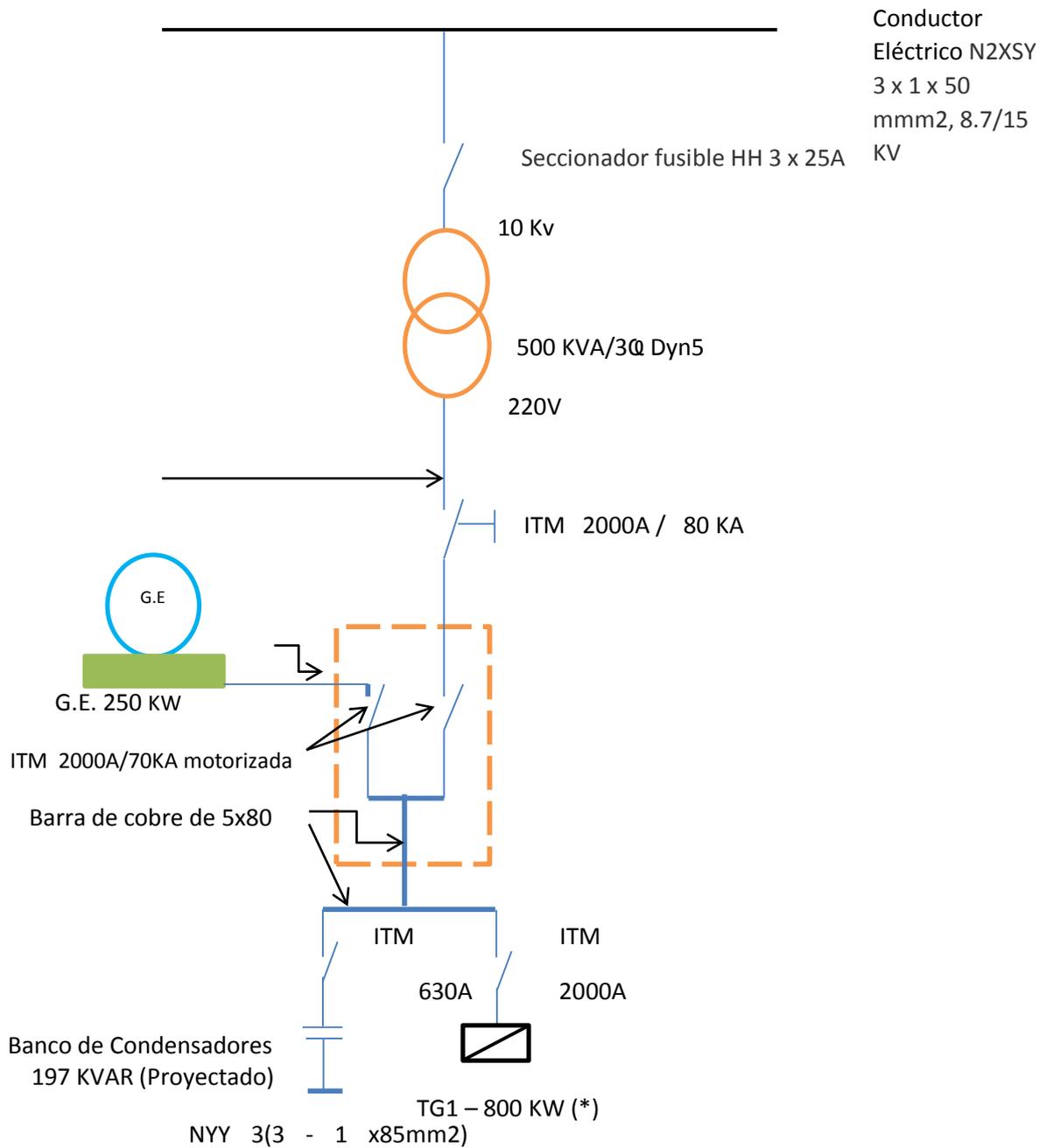
e interruptor termomagnético con curva tipo D. Tabla proporcionada por Schneider.

Tabla A9. Tabla de selección de contactores tripolares

<b>CONTACTORES TRIPOLARES ESPECIFICOS PARA MANDO DE CONDENSADORES</b>						
<b>Potencia del condensador en KVAR 3x400V</b>	<b>Modelo y calibres según la Icu a 380V y 40°C</b>					<b>Contactador</b>
	<b>10 KA</b>	<b>10 KA</b>	<b>15 KA</b>	<b>15 KA</b>	<b>25 KA</b>	
	<b>C60N curva D</b>	<b>C120N curva D</b>	<b>C60H curva D</b>	<b>C120H curva D</b>	<b>NG125N curva D</b>	
5	24674		25202	18505		LC1DFK11M7
10	24676		25205	18507		LC1DFK11M7
15	24677		25207	18508		LC1DGK11M7
20	24679		25209	18510		LC1DLK11M7
25	24680		25210	18511		LC1DGM11M7
30	24680	18367	25210	18511	18669	LC1DPK12M7
40		18388		18511	18670	LC1DTK12M7
50		18389		18513	18671	LC1DWK12M7
60				18514	18671	LC1DWK12M7

## Anexos A

Anexo A10. Diagrama unifilar del sistema eléctrico del hospital Víctor Lazarte Echegaray.



T.T.A.

## Diagrama N° A10. Diagrama unifilar

(\*) Capacidad de potencia, indicada en las especificaciones técnicas de los tableros de distribución.

Anexos A11. Se muestra el diagrama N°3, en el cual se puede visualizar el modo de conexión de los condensadores de potencia reactiva, asimismo la regulación de los pasos o escalones que ha sido programado el regulador de potencia reactiva (1.2.2.2), la protección termomagnética por etapas aguas abajo y el interruptor termomagnético general.

Para que el regulador de potencia reactiva funcione adecuadamente se instalará un transformador de corriente, instalándose en la entrada principal del tablero general, donde se encuentra la carga total de hospital.

Anexos A12. Se muestra el recibo de energía eléctrica, en donde se ha generado el factor de potencia más bajo.

Recibo N° 501-30930070

Trujillo/Trujillo

Facturación: Setiembre-2013

Recibo por Consumo del 01/09/2013 al 30/09/2013



Código: 47318302  
Client: Seguro Social de Salud - ESSALUD  
Dirección: Proel. Unión 1350 Urb. Andres Razuri  
R.U.C: 20131257750

HOSPITAL DE RAZURI  
Ruta Reparto 13-118-582

Tarifa: MT3  
Medición: Media Tension  
Tensión: 10 kV  
SED: E-300672  
Tipo Suministro: Trifásica-Aérea(C5.2)

Serie Medidor: 00000012944713 - Electrón.  
N° Hilos Medidor: 4  
Modalidad: Potencia Variable  
Inicio Contrato: 01/05/2000  
Termino Contrato: 30/04/2014

Promedio Maxima Demanda	Potencia Contratada
310.1451	255.0000

Magnitud Leida

Energía activa Total (kWh)  
Energía activa Hora Punta (kWh)  
Energía activa Fuera Punta (kWh)  
Energía reactiva (kVam)  
Potencia hora Punta (kW)  
Potencia Fuera Punta (kW)

Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia
10,467.7088	11,146.5026	678.7938
1,816.8449	1,534.8670	118.0221
8,550.8639	9,211.6356	560.7717
9,272.2730	9,890.5394	618.2664
1.1313	1.2006	1.2006
1.4019	1.4526	1.4526

Calificación Horas Punta  
Horas Punta 12:  
Demanda

Factor Calificación: 0.6500

Factor Medición: 181.8180

Cargo Fij  
Cargo de Reposición y Mantenimiento de la Conexión  
Energía activa HP  
Energía activa FP  
Energía reactiva  
Pot. Uso Fieles Distrib. HP  
Pot. Activa Generación HP  
Suministro Público (Alícuota: SI, 0.3352)  
IUB TOTAL  
Imp. Gral a las Ventas  
Imp. por redondeo  
Imp. de redondeo  
Imp. de Ivo. 25749 0.0074

Concepto

Consumo

Precio Unitario

Total

Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Cargo Fij		5.1550	
Cargo de Reposición y Mantenimiento de la Conexión			
Energía activa HP	21456.5422	0.1516	3262.15
Energía activa FP	101598.3690	0.1387	14081.45
Energía reactiva	76477.7869	0.0354	2707.31
Pot. Uso Fieles Distrib. HP	310.1451	6.8100	2112.30
Pot. Activa Generación HP	264.1088	26.0400	6875.43
Suministro Público (Alícuota: SI, 0.3352)			
IUB TOTAL			10
Imp. Gral a las Ventas			307
Imp. por redondeo	1.0000	0.0300	55
Imp. de redondeo		0.0500	
Imp. de Ivo. 25749 0.0074	123416.9312	0.0074	912.61
<b>TOTAL RECIBO DE SETIEMBRE-2013</b>			<b>371</b>

El total a pagar incluye Aporte FOSE(Ley N°27510) SI, 732.27

Su AMT es: A3011 - TSU004 de SE de Potencia: S.E. TRUJILLO SUR

TRICENTA Y SIETE MIL CIENTO OCHENTA Y UNO Y 2/100 NUEVOS SOLES (\*) El importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de Setiembre-2013. Comprobante emitido según RS-007-99 SUNAT, Cap. I, Art. 4 Inciso 6.1.d

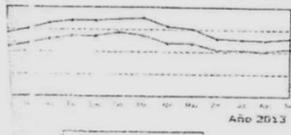
US\$ 4710/2013

VENCIMIENTO 19/10/2013

DISTRILUZ promoviendo una cultura de puntualidad

\*\*\*\*\*37,181.20

HISTORICO DE CONSUMOS REGISTRADOS



Si realiza el pago vía transferencia bancaria debe enviar un correo a: pagos@dn@distriluz.com.pe  
Revise el estado de cuenta de su recibo en: <http://www.distriluz.com.pe/ConsultaRecibos/ConsultaRecibo.aspx?empresa=3>

Hidrandina R.U.C. 20130223540

Facturación: Setiembre-2013

Seguro Social de Salud - ESSALUD

Código: 47318302

Dirección: Proel. Unión 1350 Urb. Andres Razuri

Ruta: 13-118-582

Inicio: 04/10/2013

Fin: 19/10/2013

Recibo N° 501-30930070

Trujillo/Trujillo

TOTAL A PAGAR \*\*\*\*\*37,181.20

