

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**TESIS**  
**AUDITORIA AL SISTEMA DE**  
**COMPENSACIÓN REACTIVA ESTÁTICA DE**  
**210 KVAR EN LA CORRECCIÓN DEL FACTOR**  
**DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE**  
**LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA**  
**N°1 DEL CLUB REGATAS LIMA.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO EN ENERGÍA**  
**CAROL MILAGROS MIRANDA UGARTE**

**Callao, 2021**

**PERÚ**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carol Miranda Ugarte'.



**ACTA N° 001-2021 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**LIBRO N° 001-2021, FOLIO N° 38, ACTA N° 001-2021 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

A los 12 días del mes Marzo del año 2021, siendo las 15.10 horas, se reunieron, en la sala: [meet.google.com/hxm-gkzr-jzw](https://meet.google.com/hxm-gkzr-jzw), el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** para la obtención del título profesional de **Ingeniero en Energía** de la **Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía** conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

- |  |                   |
|--|-------------------|
| ▪ <b>Dr. Félix Alfredo Guerrero Roldán</b> | <b>Presidente</b> |
| ▪ <b>Ing. Lucio Carlos Lozano Ricci</b>    | <b>Secretario</b> |
| ▪ <b>Mg. Juan Carlos Huamán Alfaro</b>     | <b>Vocal</b>      |
| ▪ <b>Mg. Jorge Luis Alejos Zelaya</b>      | <b>Asesor</b>     |

Se dio inicio al acto de sustentación de Tesis de la Bachiller, **Miranda Ugarte, Carol Milagros**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero en Energía, sustenta la Tesis titulada **“AUDITORIA DEL SISTEMA DE COMPENSACION REACTIVA ESTÁTICA DE 210 KVAR EN LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA DEL SISTEMA ELECTRICO DE LA SUB ESTACION ELECTRICA DE POTENCIA N°1 DEL CLUB REGATAS LIMA”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADA POR UNANIMIDAD** con la escala de calificación cualitativa **MUY BUENO** y calificación cuantitativa **16 (Dieciséis)**, la presente tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018-CU del 30 de Octubre del 2018.

Se dio por cerrada la Sesión a las **16.05** horas del día **12** del mes y año en curso.



.....  
**Dr. Félix Alfredo Guerrero Roldán**  
Presidente



.....  
**Ing. Lucio Carlos Lozano Ricci**  
Secretario



.....  
**Mg. Juan Carlos Huamán Alfaro**  
Vocal



.....  
**Mg. Jorge Luis Alejos Zelaya**  
Asesor

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**Jurado de Sustentación de Tesis**

**INFORME**

Vista, la Tesis Final titulada **“AUDITORIA DEL SISTEMA DE COMPENSACIÓN REACTIVA ESTATICA DE 210 KVAR EN LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA DEL SISTEMA ELECTRICO DE LA SUB ESTACION ELECTRICA DE PONTENCIA N° 1 DEL CLUB REGATAS LIMA”**, presentado por la bachiller en Ingeniería en Energía, **Miranda Ugarte, Carol Milagros**.

**A QUIEN CORRESPONDA:**

**El Presidente del Jurado de Sustentación de Tesis**, cumple con informar que la sustentación de la mencionada tesis, se realizó el día 12 de marzo del 2021 a las 15.10 horas, no habiendo observaciones ni correcciones que incluir, el mismo que en su oportunidad fue cuidadosamente evaluado por cada uno de los miembros del Jurado, no presentando alguna observación en su estructura metodológica y contenido temático.

Se emite el presente informe favorable para los fines pertinentes.

Bellavista, 12 de marzo del 2021.



---

**Dr. Ing. FELIX ALFREDO GUERRERO ROLDAN**  
**Presidente del Jurado**

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

### **FACULTAD**

Ingeniería Mecánica y de Energía

### **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

**TITULO: “AUDITORIA AL SISTEMA DE COMPENSACIÓN REACTIVA ESTÁTICA DE 210 KVAR EN LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA N°1 DEL CLUB REGATAS LIMA”.**

### **AUTOR**

Bach. Miranda Ugarte Carol Miranda

### **ASESOR**

Mg. Alejos Zelaya Jorge Luis

CIP: 26308

### **LUGAR DE EJECUCIÓN**

Club Regatas Lima

### **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Tecnológica

### **UNIDAD DE ANÁLISIS**

Subestación Eléctrica de Potencia n°1

## **DEDICATORIA**

A mi madre el motivo por lo poco que eh logrado, a mi padre por su sabiduría y guía, hicieron que soslaye los temores más profundos.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por su tolerancia en el desarrollo de mis proyectos, por su unión y solidaridad en los momentos más difíciles. A mi padre por enseñarme a salir por las ventanas cuando una puerta se. A mi hermana compasión y su enorme corazón y por enseñarme que el resentimiento es una pérdida de tiempo y solo oscurece corazones. A mi hermano Alexander por su empatía y su afabilidad al escucharme. A mis amigos que siempre mostraron su confianza y nunca dejaron de creer en mí. A mis mentores por mostrarme la amplitud y humildad del conocimiento. A los docentes por las enseñanzas que me otorgaron durante mi formación universitario.

# ÍNDICE

RESUMEN 7

ABSTRACT 8

INTRODUCCIÓN .....	9
I            PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.1    Descripción de la realidad problemática .....	10
1.2    Formulación del problema .....	11
1.2.1    Problema General .....	11
1.2.2    Problemas Específicos .....	11
1.3    Objetivos.....	12
1.3.1    Objetivo General .....	12
1.3.2    Objetivos Específicos .....	12
1.4    Justificación .....	12
1.4.1    Practica .....	12
1.4.2    Económica .....	13
1.4.3    Ambiental .....	13
1.4.4    Socioeconómico.....	13
1.4.5    Legal .....	13
1.5    Limitantes de la investigación.....	15
II            MARCO TEÓRICO.....	16
2.1    Antecedentes:.....	16
2.1.1    Investigaciones en el ámbito internacional .....	16
2.1.2    Investigaciones en el Ámbito Nacional.....	18
2.2    Bases teóricas .....	20
2.2.1    Auditoria energética .....	20



2.2.2	Auditoria eléctrica.....	20
2.2.3	Metodología de las auditorias .....	21
2.2.4	Etapas de la Auditoría .....	22
2.2.5	Tipos de cargas.....	23
2.2.6	Subestación eléctrica de potencia.....	24
2.2.7	Sistema de compensación de Energía Reactiva .....	24
2.2.8	Tipos de dispositivos de compensación de potencia reactiva 25	
2.2.9	Dispositivos dinámicos de compensación de reactivo.....	26
2.2.10	Dispositivos de compensación estáticos de compensación fija 27	
2.2.11	Dispositivos estáticos de compensación escalonada .....	27
2.2.12	Dispositivos dinámicos de compensación de reactivo .....	29
2.2.13	Dispositivos convertidores de compensación .....	30
2.2.14	Ventajas y desventajas de la compensación .....	31
2.2.15	Componentes principales del Sistema de Compensación.	31
2.2.16	Dimensionamiento de componentes del sistema.....	33
2.3	Conceptual.....	35
2.3.1	Triángulo de Potencias.....	35
2.3.2	Factor de Potencia .....	36
2.3.3	Cálculo de la potencia .....	36
2.3.4	Método para corrección del factor de potencia .....	37
2.3.5	Potencia reactiva del condensador en un sistema trifásico..	38
2.3.6	Sistema de compensación reactiva estática .....	39
2.3.7	Baterías de condensadores o capacitores estáticos .....	39

2.4	Definición de términos básicos: .....	40
III	HIPÓTESIS y VARIABLES .....	42
3.1	Hipótesis .....	42
3.1.1	Hipótesis General.....	42
3.1.2	Hipótesis Específicas .....	42
3.2	Definición Conceptual de la variable.....	43
3.2.1	Variable independiente.....	43
3.2.2	Variable dependiente .....	43
3.3	Operacionalización de la variable .....	44
IV	DISEÑO METODOLÓGICO .....	48
4.1	Tipo y diseño investigación.....	48
4.2	Método de investigación .....	49
4.3	Población y muestra .....	51
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	51
4.5	Técnicas e instrumentación de recolección de datos .....	51
4.5.1	Técnica de análisis documental .....	52
4.5.2	Técnica empírica .....	52
4.6	Análisis y procesamiento de datos .....	53
4.6.1	Análisis situacional del sistema actual .....	53
4.6.2	Contrato de suministro eléctrico.....	54
4.6.3	Ubicación del sistema actual.....	55
4.6.4	Planeamiento del Proyecto .....	55
4.6.5	Campaña de mediciones.....	57
4.6.6	Diagnóstico del sistema actual.....	58
4.6.7	Línea base de consumo actual .....	61

4.6.8	Línea base de consumo supuesto.....	63
4.6.9	Oportunidad de mejora.....	66
4.6.10	Cálculo de la capacidad del Sistema de Compensación ..	66
4.6.11	Dimensionamiento de los componentes principales .....	70
4.6.12	Consideración elección del Regulador de Factor de Potencia	70
4.6.13	Consideración dimensionamiento del transformador de corriente	71
4.6.14	Consideración selección de los condensadores .....	71
4.6.15	Consideración selección de los contactores para condensadores.....	73
4.6.16	Consideración selección de los interruptores.....	73
4.6.17	Consideración dimensionamiento del cableado del sistema	74
4.6.18	Consideración de análisis técnico económico.....	77
V	RESULTADOS.....	78
5.1	Resultados Descriptivos .....	78
5.1.1	Cargos por facturación eléctrica.....	78
5.1.2	Línea base supuesta sin existencia del sistema de compensación .....	78
5.1.3	Dimensionamiento de la capacidad del sistema de compensación .....	80
5.1.4	Dimensionamiento de los componentes del sistema.....	81
5.1.5	Selección de los condensadores.....	81
5.1.6	Selección de los contactores para condensadores .....	85
5.1.7	Selección de las protecciones del sistema .....	86

5.1.8	Dimensionamiento de los conductores.....	87
5.1.9	Dimensionamiento del transformador de corriente.....	88
5.1.10	Análisis técnico económico.....	89
5.2	Resultados Inferenciales.....	90
5.2.1	Línea base supuesta.....	90
5.2.2	Resultados de la campaña de mediciones.....	90
5.2.3	Propuesta de mejora.....	91
VI	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	92
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis y demostración de la hipótesis con los resultados.....	92
6.2	Contrastación de resultados con estudios similares.....	93
6.3	Responsabilidad ética.....	95
	CONCLUSIONES.....	96
	RECOMENDACIONES.....	97
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
	ANEXOS	102

## TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 3. 1 Operacionalización de la variable independiente .....	46
Tabla 3. 2 Operacionalización de la variable dependiente .....	47
Tabla 4. 1 Técnicas e instrumentos de recolección .....	52
Tabla 4. 2 Recopilación de información.....	53
Tabla 4. 3 Información de la factura eléctrica.....	54
Tabla 4. 4 Lista de equipos .....	56
Tabla 4. 5 Sistema de compensación actual .....	58
Tabla 4. 6 Valores principales de los parámetros .....	61
Tabla 4. 7 Consumo de energía mensual .....	62
Tabla 4. 8 Línea base 2019.....	63
Tabla 4. 9 Datos de consumo cada hora.....	64
Tabla 4. 10 Consumo por día .....	65
Tabla 4. 11 Parámetros para capacidad del sistema de compensación .....	69
Tabla 4. 12 Nomenclatura de configuración del regulador.....	70
Tabla 5. 1 Característica del energético .....	78
Tabla 5. 2 Calculo de la energía reactiva anual .....	79
Tabla 5. 3 Línea base supuesta .....	79
Tabla 5. 4 Condiciones para el dimensionamiento .....	80
Tabla 5. 5 Dimensionamiento de QBC en la data del analizador de redes .....	82
Tabla 5. 6 Dimensionamiento de los pasos del sistema. ....	84
Tabla 5. 7 Selección del condensador y configuración del regulador.....	85
Tabla 5. 8 Resumen de las dimensiones de los conductores .....	88
Tabla 5. 9 Resumen de las dimensiones de los conductores .....	89
Tabla 5. 10 Análisis técnico económico .....	89
Tabla 5. 11 Línea base supuesta .....	90
Tabla 5. 92 Parámetros de la campaña de mediciones .....	90
Tabla 5. 13 Características técnicas de la propuesta.....	91

## TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tipos de dispositivos de compensación.....	26
Gráfico 2: Perfil de consumo potencia activa (kW) .....	60
Gráfico 3: Perfil del Factor de Potencia .....	60
Gráfico 4: Representación del kVAr mínimo.....	67
Gráfico 5: Representación del Cos ( $\varphi$ ) ideal y registrado .....	68

## TABLAS DE FIGURAS

Figura 1.	Metodología de las auditorías -----	22
Figura 2.	Etapas de la auditoría -----	23
Figura 3.	Representación de un sistema de compensación reactiva -----	24
Figura 4.	Representación de un banco de condensadores. -----	25
Figura 5.	Compensador dinámico de potencia reactiva -----	27
Figura 6.	Compensación reactiva con batería automática de condensadores -----	28
Figura 7.	Medida de la tensión e intensidad. -----	28
Figura 8.	Esquema simplificado para un SVC -----	29
Figura 9.	Esquema representativo de un Restaurador Dinámico de Tensión -----	30
Figura 10.	Sistema HQ de un condensador -----	34
Figura 11.	Fase entre la corriente y la tensión -----	35
Figura 12.	Triángulo de potencias -----	36
Figura 13.	Compensación de potencia reactiva por condensador. -----	38
Figura 14.	Triángulo de potencia después de la corrección -----	38
Figura 15.	Método de la Investigación -----	50
Figura 16.	Diagrama unifilar del sistema actual -----	55
Figura 17.	Punto azul de medición -----	57
Figura 18.	Muestra de datos en el software. -----	59
Figura 19.	Fuente: Elaboración propia obtenida del analizador de redes. -----	60
Figura 20.	Modelo de condensador a 230 V -----	72
Figura 21.	Cuadro de selección de cables unipolares. -----	74
Figura 22.	Capacidad de corriente en conductores -----	75
Figura 23.	Cuadro de selección de barras de cobre -----	76
Figura 24.	Capacidad de contactores SCHNEIDER -----	85

## TABLAS DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b>	<b>Matriz de consistencia .....</b>	<b>103</b>
<b>Anexo 2.</b>	<b>Instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>104</b>
<b>Anexo 3.</b>	<b>Hoja para pruebas para los condensadores .....</b>	<b>105</b>
<b>Anexo 4.</b>	<b>Check list del Sistema actual.....</b>	<b>106</b>
<b>Anexo 5.</b>	<b>Hoja para pruebas para los condensadores .....</b>	<b>107</b>
<b>Anexo 6.</b>	<b>Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>107</b>
<b>Anexo 7.</b>	<b>Instalación del equipo analizador en el circuito general. ....</b>	<b>108</b>
<b>Anexo 8.</b>	<b>Registro de medición del Analizador de Redes .....</b>	<b>108</b>



## RESUMEN

El Club Regatas Lima actualmente presenta la problemática con su sistema de compensación reactiva estática de 210 kVAR, ocasionando una mala calidad de la energía en su sistema eléctrico y una compensación inadecuada del factor de potencia y al estar próximo el sistema a cumplir con su vida útil ocasiona penalidades en su facturación de consumo eléctrico mensual; por lo que el presente informe final de tesis titulada **“Auditoria al Sistema de Compensación Reactiva Estática de 210 KVAR En La Corrección del Factor de Potencia del Sistema Eléctrico de la Subestación Eléctrica De Potencia N°1 Del Club Regatas Lima”**, tiene como propósito realizar una auditoría al sistema de compensación de energía reactiva de 210 kVAR a fin de proponer una solución alternativa en la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico en la subestación eléctrica de potencia n° 1 del Club Regatas Lima.

El presente informe final de tesis es del tipo tecnológica y nivel aplicada, con un diseño no experimental; el método usado es inductivo- sistémico. La población y muestra se realizan en la subestación eléctrica n° 1 del Club Regatas Lima y el lugar de estudio fue en el Club Regatas Lima de la sede Chorrillos. Utilizando como instrumentos la recolección de datos históricos, con una técnica de análisis documental, cuya información se obtiene de los diagramas unifilares, facturas eléctricas, fichas técnicas entre otros y la técnica empírica se obtiene de la inspección visual, check list, hojas de registro, analizadores de redes, pinzas amperimétricas.

Los resultados obtenidos sugieren el cambio del sistema actual por un **sistema de compensación automático de capacidad 190 kVAR de 10 pasos**, que permitirá mejorar el factor de potencia a 0.98 y logrará obtener más del 9% de ahorros económicos. Se concluye que este tipo de auditorías logra captar la mejor solución técnico-económico que generen ahorros económicos al auditado,

PALABRAS CLAVE: auditoria, energía reactiva, ahorros económicos.

## ABSTRACT

The Club Regatas Lima currently presents the problem with its fixed reactive compensation system of 210 kVAR, causing poor energy quality in its electrical system and inadequate compensation of the power factor and being close to its useful life causes penalties in its monthly electricity consumption billing; so this final thesis report entitled "**Audit to the Static Reactive Compensation System of 210 KVAR In the Correction of the Power Factor of the Electrical System of the Power Substation No. 1 Of the Club Regatas Lima**", It aims to conduct an audit of the 210 kVAR reactive energy compensation system in order to propose an alternative solution in the correction of the power factor of the electrical system in the power substation No. 1 of the Club Regatas Lima.

This final thesis report is of the technological type and applied level, with a non-experimental design; the method used is inductive- systemic. The population and exhibition are held in the electrical substation No. 1 of the Club Regatas Lima and the place of study was in the Club Regatas Lima of the Chorrillos headquarters. Using as instruments the collection of historical data, with a technique of documentary analysis, whose information is obtained from the one-line diagrams, electrical invoices, data sheets among others and the empirical technique is obtained from visual inspection , check list, log sheets, network analyzers, clamps.

The results obtained suggest the change of the current system to an **automatic compensation system of 190 kVAR capacity of 10 steps**, which will improve the power factor to 0.98 and achieve more than 9% economic savings. It is concluded that this type of audit scan achieves the best technical-economic solution that generates economic savings to the audited,

KEY WORDS: audit, reactive energy, economic savings.

## INTRODUCCIÓN

El Club Regatas Lima cuenta en su instalación 01 subestación eléctrica de potencia de 630 KVA que sirve para transformar el nivel de tensión de media a baja tensión (10 kV a 0.23 kV) para su distribución, dentro de la subestación se encuentra el Sistema de Compensación de energía reactiva al cual haremos enfoque.

La lectura de los valores del factor de potencia presentes en el sistema de compensación de energía reactiva, no estaban dentro de lo establecido en la Norma de opciones tarifarias y opciones de condiciones de las tarifas a usuario final, influyendo en la calidad de energía eléctrica y el sistema no se hacía confiable, ocasionando mayores pérdidas por transformación, sobrecarga en los conductores y otros problemas afectos e incitando a generar multas por consumo de energía reactiva en la factura eléctrica.

Por lo que el presente proyecto de tesis titulada “**Auditoria al sistema de compensación de energía reactiva estática de 210 KVAR en la evaluación del factor de potencia del sistema eléctrico de potencia n° 1 del Club Regatas Lima**”, cuyo propósito es subsanar esta problemática, mediante una auditoria al sistema de compensación de energía reactiva a fin de tomar en forma oportuna las medidas correctivas del caso.

El proyecto de tesis por sus características propias y problema objeto-estudio, es del tipo tecnológica y nivel aplicado de diseño no experimental.

Así mismo, se desarrollará en forma ordenada y sistematizada, iniciando de un análisis situacional del sistema de compensación reactiva actual, posteriormente realizar una campaña de mediciones a fin de registrar parámetros eléctricos del sistema de compensación actual para realizar un diagnóstico y proponer un sistema de compensación automático.

El sector beneficiario es el mismo Club Regatas, porque mejorará la calidad de energía, reducirá el consumo de energía eléctrica por perdidas de transformación y evitará multas por exceso de consumo de reactivos.

# **I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Descripción de la realidad problemática**

Actualmente los consumidores de energía eléctrica facturan por punto de suministro cargos de energía activa y potencia y podrían llegar a ser penalizados con multas de energía reactiva si exceden de más de treinta por ciento del consumo de potencia activa. Por ello las empresas compensan ese consumo con un sistema de compensación reactiva diseñado para regular el factor de potencia del sistema eléctrico tal que su consumo no exceda de lo estimado.

El club Regatas de Lima Regatas, actualmente tiene implementando un Sistema de Compensación de energía reactiva estática de 210 kVAr o también conocido como Banco de Condensadores, del cual no se halla registro de su compra, sin embargo, se estima que tiene una antigüedad de más de 15 años, el Club solicitó una auditoría energética a su sistema de compensación de energía reactiva de tal forma que se justifique el cambio del Sistema de Compensación por uno automático que permita corregir el factor de potencia adecuadamente. Para ello se debe evaluar de manera adecuada la justificación del cambio del Sistema de Compensación de energía reactiva.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema General**

¿Cómo la auditoria al sistema de compensación de energía reactiva estática de 210 kVAR permitirá proponer una solución alternativa en la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico en la subestación eléctrica de potencia n° 1 del Club Regatas Lima?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

P1: ¿Cómo el análisis situacional del sistema de compensación reactiva permitirá situar su estado actual?

P2: ¿Cómo realizar la campaña de mediciones de los parámetros eléctricos del sistema de compensación de energía reactiva que permita registrar e identificar el estado de funcionamiento de los componentes del sistema de compensación de energía reactiva?

P3: ¿En qué medida el diagnóstico del sistema de compensación de la energía reactiva actual permitirá mejorar la calidad de energía eléctrica en contraste con los estándares nacionales e internacionales vigentes?

P4: ¿En qué medida la proyección del dimensionamiento y conexionado del sistema de compensación de energía reactiva estática permitirá corregir el factor de potencia?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar una auditoría al sistema de compensación reactiva estático de 210 kVAR a fin de proponer una solución alternativa en la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico en la subestación eléctrica de potencia n° 1 del Club Regatas Lima.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- O1: Realizar el análisis situacional del sistema de compensación de energía reactiva para situar su estado actual.
- O2: Realizar la campaña de mediciones de los parámetros eléctricos del banco de condensadores que permitan registrar e identificar el estado de funcionamiento de los componentes del sistema de compensación de energía reactiva.
- O3: Realizar el diagnóstico del sistema de compensación de la energía reactiva actual para mejorar la calidad de energía eléctrica en contraste con los estándares nacionales e internacionales vigentes.
- O4: Proyectar el dimensionamiento y conexionado del sistema de compensación reactiva estática para corregir el factor de potencia.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Practica**

Según (Bernal, 2010) definió que; “una investigación tiene justificación practica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirán a resolverlo”.

El presente proyecto de tesis presenta una justificación práctica, porque mediante la Auditoria al sistema de compensación de energía reactiva de 210 kVAr y la evaluación del factor de potencia del sistema eléctrico al Club Regatas Lima, se darán pautas de ayuda para futuros auditores que

buscan conseguir mejoras y requieren justificación técnica para conseguirlo.

#### **1.4.2 Económica**

A nivel nacional todos los consumidores de energías se ven multados si su consumo de energía reactiva excede del 30% consumo de energía activa, por tanto, si compensamos ese consumo obtendremos ahorros económicos por dejar de consumir energía reactiva de la red.

#### **1.4.3 Ambiental**

Todos los seres humanos, los objetos, sistemas dejamos huella de carbono, pero si nosotros incidimos en reducir porcentaje de ello como reducir la huella por transformación de energía al corregir el factor de potencia, reduciendo de cierta forma un porcentaje de CO<sub>2</sub>.

#### **1.4.4 Socioeconómico**

Según el autor Carrasco (2009), la socioeconómica radica en los beneficios y utilidades que reporta para la población, constituyendo base esencial y punto de partida para realizar proyectos de mejoramiento social y económico.

Este punto es importante porque el club regatas y los socios inscritos que involucra la sociedad, con las personas, familias que viven alrededor de la industria, el gobierno y entre más, sentirán el efecto lentamente que reduciendo la alta demanda de energía de la propia industria podrá llegar a ser más sostenible en el tiempo.

Los beneficiarios de este proyecto será la industria nacional ya que, mediante esta propuesta de procedimiento, se podrá incentivar a realizar sus propias auditorías y encontrar sus propios ahorros.

#### **1.4.5 Legal**

El presente trabajo cumple ciertos procedimientos y metodologías que ayudan a guiar la auditoría energética, detallándose a continuación:

### Normatividad Peruana:

- Norma de Opciones tarifarias y condiciones de Aplicación de las tarifas al Usuario Final del ente regulador OSINERMIN. (OSINERG, 2001)

Menciona los costos vinculados en la facturación mensual eléctrica, así mismo define el porcentaje de inyección de energía reactiva a la red, en consecuencia, multando por el uso de energía reactiva de la red.

- Norma Técnica de la Calidad de los Servicios Eléctricos. (Ministerio de Energía y Minas, 1997)

Título Quinto: Calidad de Producto

En este título de la norma otorga recomendaciones y límites de calidad de tensión, frecuencia, perturbaciones en el sistema eléctrico de una instalación (Minas, 2016)n.

- Código Nacional de Electricidad Utilización

En la Sección 150 – Instalación de Equipo Eléctrico, se mencionan bajo que requerimientos deben aplicarse los condensadores, su dimensionamiento (Dirección General de Electricidad MINEM, 2006)

### Normatividad Internacional:

- Norma IEEE 519 -1992. Recomendaciones Prácticas y requerimiento de la IEE para el control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia (IEEE, 1992).

Menciona los aspectos de calidad de energía del sistema eléctrico y los límites máximos recomendados respecto a los parámetros eléctricos que presenta el sistema eléctrico.



## **1.5 Limitantes de la investigación**

### **Limitante teórica**

El Club Regatas no cuenta con registros de la fecha de compra del banco de condensadores, tampoco de la ficha técnica del equipo o detalles del conexionado de la instalación sistema de compensación actual. Es posible que por la antigüedad que aparenta el banco y el estimado de año comentado por las personas no se le haya dado la importancia de registrar los datos o solicitar al proveedor del sistema de compensación los planos referentes.

### **Limitante espacial**

El siguiente estudio se limitará a realizar la auditoria al sistema de compensación de energía reactiva del Club Regatas Lima.

Dentro de los sistemas de compensación de energía reactiva se realizará la evaluación a los componentes del banco de condensadores.

### **Limitante tecnológica**

La implementación de sistemas de compensación automáticos, son mucho más costos que un sistema de compensación discreto o fijo. Por lo que no es atractivo su implementación ante el flujo de dinero del inversionista.

### **Limitante social**

Las compensaciones de energía reactiva se dan solo para evitar multas por exceso de consumo energía reactiva según la tarifa eléctrica, pero no se toma en cuenta la mejora completa del factor de potencia para elevar la calidad del sistema eléctrico, mejorar el flujo de la electricidad en los conductores o reducir las pérdidas por transformación.

## **II MARCO TEÓRICO**

Existen una variedad de estudios de investigaciones internacionales y nacionales en relación con el problema objeto estudio, que servirán de soporte teórico en la realización del presente proyecto de investigación; las mismas que permitieron orientar el desarrollo del proyecto de tesis; a continuación, se detallan algunos de ellos.

### **2.1 Antecedentes:**

#### **2.1.1 Investigaciones en el ámbito internacional**

- En la tesis “DISEÑO DE UN BANCO DE CONDENSADORES PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE LA EMPRESA BANCHISFOOD S.A” (Llumiquinga Loya, 2012), cuyo objetivo el diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa BANCHISFOOD S.A. basado en un estudio económico. Se infiere de este estudio que es una investigación tecnológica y se aplicó un diseño aplicativo se desarrollaron en la empresa BANCHISFOOD ubicada en la ciudad de Sangolqui, que refleja un bajo factor de potencia por la presencia de cargas inductivas como transformadores, motores, lámparas fluorescentes, compresores, soldadoras de arco. De esta tesis se concluyó que para corregir el factor de potencia de 0.84 se empleara un banco de condensadores de 9 kVAR y de 3 pasos, colocándose en el lado de baja tensión. Además, al corregir el bajo factor de potencia a 0.98 incrementa la carga al transformado de un 25.23% a 35.93%, es decir que del 100% de la capacidad del transformador se estaría usando un 64.07%. La tesis de Llumiquinga guarda relación con el proyecto porque nos servirá para dimensionar un Sistema de compensación Automática con los parámetros que otorga el Analizador de Redes al tomar datos de los parámetros eléctricos de del sistema.

- En la tesis “METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO ADECUADO DE BANCO DE CAPACITORES PARA CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA EN LA EMPRESA YAMBERSA” (Espinoza Trejos, y otros, 2015), cuyo objetivo es el dimensionamiento de un banco de capacitores para mantener el factor de potencia dentro de las normas establecidas por la empresa distribuidora de energía eléctrica.

En este estudio se infiere que es una investigación tecnológica y se aplicó un diseño aplicativo, cuyos conocimientos teóricos y prácticos se desarrollaron por experiencia en la Empresa Yambersa, en donde concluyó que se evitarán pagar multas por dejar de consumir energía reactiva de la red, en consecuencia, obtendrán 7.4% de ahorro anual corrigiendo el factor de potencia de 0.82 a 0.95. Así mismo, disminuirán las pérdidas por Efecto Joule.

La tesis de Espinoza y Pérez guarda relación con el proyecto porque otorga información teórica en procedimientos de cálculos para sustentar los ahorros obtenidos por la instalación de un Sistema de Compensación de Energía Reactiva frente a la reducción de los costos de energía reactiva según el pliego tarifario de Perú.

- En la tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA, EMPLEANDO UN MÓDULO DCRA” (Arcos López, y otros, 2015), cuyo objetivo es la construcción de un tablero de control automático para una industria metalmecánica San Bartolo, de modo de corregir el factor de potencia sujeta a un banco de condensadores fijo que no logra compensar adecuadamente la energía reactiva que se requiere.

Se infiere de este estudio que es una investigación tecnológica y se aplicó un diseño aplicativo se desarrollaron en la Metal Mecánica San Bartolo, donde se refleja una mala calidad de energía, rendimiento bajo de las máquinas, y elevadas tarifas de consumo eléctrico, eh ahí la importancia de mejorar el factor de potencia. De esta tesis se concluyó que las variaciones de voltaje y pérdidas en las instalaciones eléctricas se ven

influenciadas por el factor de potencia asociando el rendimiento de los equipos, así también la cantidad de corriente de la red es inversamente proporcional al factor de potencia, es decir mayor corriente menor factor de potencia. Otras de las conclusiones son las recomendaciones que otorga en el dimensionamiento del banco de condensadores.

La tesis de Arcos guarda relación con el proyecto porque facilitará consideraciones del dimensionamiento de los elementos que conforman el banco de condensadores, recomienda el dimensionamiento con el mayor número de pasos y justifica que un bajo factor de potencia limita la capacidad de los equipos con el riesgo de incurrir en sobrecargas peligrosas.

### **2.1.2 Investigaciones en el Ámbito Nacional**

- En su tesis titulada “ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO ÓPTIMO PARA LA REDUCCIÓN DEL PAGO POR ENERGÍA REACTIVA DE ACUERDO CON EL PLIEGO TARIFARIO Y NORMAS VIGENTES EN MEDIANAS INDUSTRIAS”, (Cutti Pineda, 2010), cuyo objetivo buscó reducir el pago por energía reactiva para evitar sobre costos bajo normativas vigentes y el pliego tarifario.

En este estudio se infiere que se aplicó un diseño aplicativo, el cual aplica conocimientos teóricos y prácticos desarrollados en su experiencia adquirida en la Planta Envasadora de GLP, REPSOL YPF COMERCIAL DEL PERU S:A – Filial Huancayo, en donde concluyó que los sistemas de compensación de reactivos es una forma de corregir el factor de potencia sobre todo en instalaciones existentes además de ofrecer una serie de ventajas como el aumento de la capacidad de líneas, transformadores y reducción de las pérdidas de energía por elevadas corrientes en las líneas.

- La tesis de Cutti guarda relación con este trabajo porque otorga información teórica en procedimientos de cálculos para sustentar el adecuado dimensionamiento de un banco de condensadores frente a la

reducción de los costos de energía reactiva según el pliego tarifario de Perú.

En la tesis titulada “MODELO PARA SOLUCIONES AVANZADAS DE SISTEMAS DE COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA PARA EL PROYECTO MINERO TAMBOMAYO-AREQUIPA”, (Jaco Torrejon, y otros, 2016), cuyo objetivo fue evaluar la calidad de potencia con el fin de diseñar soluciones avanzadas en sistemas de compensación de energía reactiva.

En este estudio se infiere que se aplicó un diseño aplicativo, el cual aplica conocimientos teóricos y prácticos desarrollados en el proyecto Minero Tambomayo-Arequipa, en donde concluyó que es importante mejorar la calidad de potencia con sistemas de compensación de energía reactiva como soluciones en los puntos analizados con ello se logró mejorar el factor de potencia global teniendo como consecuencia una mejor calidad de potencia.

La tesis de Jaco guarda relación con este trabajo porque brinda información teórica en procedimientos de cálculos y evaluar el mejor modelamiento en el diseño del banco de condensadores para mejorar el factor de potencia.

- En la tesis titulada ““VIABILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA DE UN BANCO DE CONDENSADORES Y SELECCIÓN DE TARIFA EN MT PARA SENCICO- CHICLAYO LAMBAYEQUE”, (Delgado Pérez, 2019). cuyo objetivo es la construcción de un tablero de control automático para una industria metalmecánica San Bartolo, de modo de corregir el factor de potencia sujeta a un banco de condensadores fijo que no logra compensar adecuadamente la energía reactiva que se requiere.

Este estudio que es una investigación tecnológica y se aplicó un diseño aplicativo se desarrolló en SENSICO Chiclayo – Lambayeque donde realizaron la medición de parámetros eléctricos, determinando un factor de potencia de 0.91, eh ahí la importancia de corregir el factor de potencia a 0.97 con un banco de condensadores en la que tenga resultados

financieros viables previamente evaluados. De esta tesis se concluyó que utilizando el analizador de redes por un lapso de 07 días que logró obtener un factor de potencia de 0.91, con el cual se le hace necesario compensar hasta 0.97 el factor de potencia con banco de condensadores de 0.97. La tesis de Delgado guarda relación con el proyecto porque menciona las ventajas de calidad de energía eléctrica y la viabilidad económica de corregir el factor de potencia.

## **2.2 Bases teóricas**

Según (Espinoza Montes, 2010) “las bases teóricas” proporcionan los soportes racionales, de las teorías existentes hasta la actualidad referidas a la problemática por resolver, incluyendo leyes, principios, procesos, etc. principalmente de las variables independientes. (pág. 86)

### **2.2.1 Auditoría energética**

Dentro de las definiciones que hace mención el artículo (Metodologías para auditorías energéticas en edificios, 2012), “la Auditoría energética es el estudio de todas las fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora de energía, de modo de establecer un punto de partida para la implementación de un Programa de Ahorro de Energía, ayudando a determinar dónde y cómo es utilizada la misma.

Por otro lado, en el artículo (¿Qué es una Auditoría Energética?, 1987) la auditoría presenta mecanismos para producir más, consumiendo la misma energía, producir lo mismo consumiendo menos energía, evaluar las posibilidades de sustitución de algún tipo de energía utilizada, por otra más ventajosa.

### **2.2.2 Auditoría eléctrica**

Los conceptos de Auditoría eléctrica (Serrazina), es la que te permite identificar y analizar los diversos aspectos de la situación y bondad del sistema eléctrico en evaluación para dar fe de su precisión. Esta es una herramienta muy valiosa también para evaluar el mejoramiento continuo, así también evaluar el cumplimiento de estándares normalizados.

Algunos de los beneficios de estas auditorías eléctricas es el apoyo al auditado a optimizar sus sistemas e impulsar la excelencia operativa e ir más allá de una auditoría convencional para trabajar en los problemas de la auditoría detectada. Otros beneficios de las auditorías son la reducción de costos operativos, mejora de la productividad y minimiza los costos o compras basadas en conjeturas.

### **2.2.3 Metodología de las auditorías**

La metodología de las auditorías eléctricas permiten desarrollar un programa integral ante ocurrencias de accidentes y pérdida de confiabilidad frente a la energía eléctrica. Las auditorías eléctricas se dividen en 3 fases:

- **Actividades de preauditorías**

Busca lograr el involucramiento y participación de todos los niveles jerárquicos de una empresa u organización. Mediante reuniones, mantendrá informada a la empresa acerca de los trabajos que se realizarán.

El equipo auditor en esta etapa debe recibir la información pertinente por parte de la empresa a auditar y revisar la información, el equipo también definirá las responsabilidades inherentes en la auditoría para confeccionar los listados de verificaciones de acuerdo con las instalaciones y las normas a auditar.

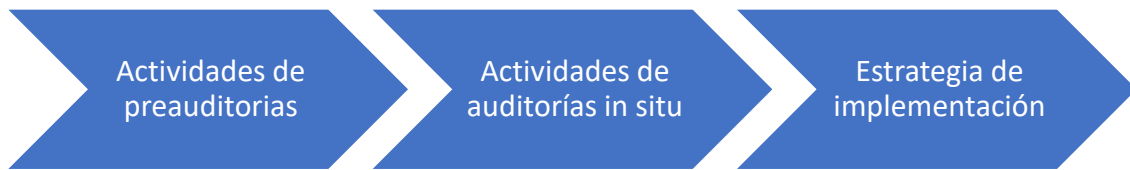
- **Actividades de auditorías in situ**

Después de la revisión de información y definición de las responsabilidades se deben realizar visitas en campo y auditorías, orientadas a desarrollar una evaluación profunda de las actividades que se llevara a cabo.

- **Estrategia de implementación**

Al finalizar la auditoría in situ, se entrega un informe con todas las desviaciones que se hayan detectado, así como estrategias de implementación para cada desviación. El informe muestra la forma en que funciona el programa, conteniendo las mejoras recomendadas y la propuesta de un programa de implementación.

Figura 1. Metodología de las auditorías



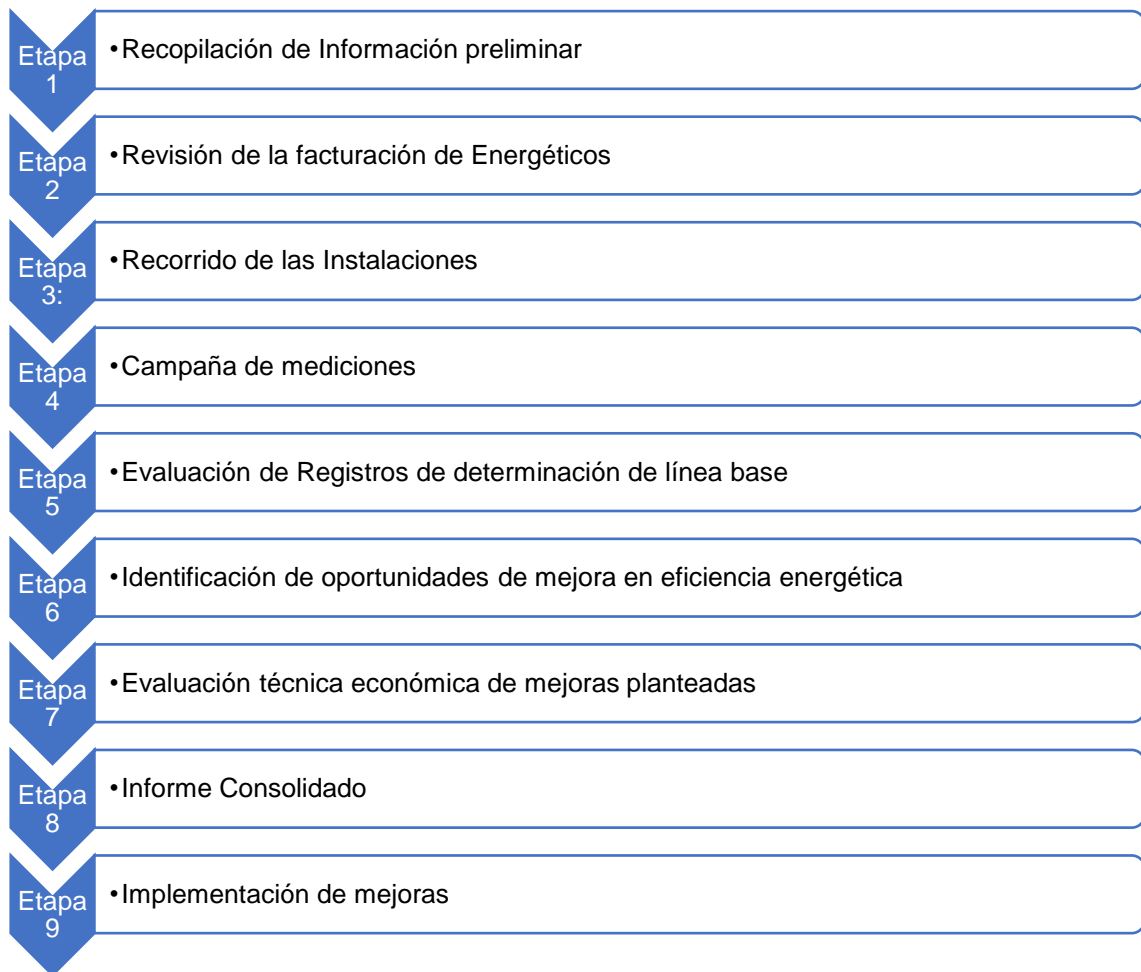
Fuente: Elaboración propia

#### **2.2.4 Etapas de la Auditoría**

Según la RM 186-2016-MEN/DM (Minas, 2016) que aprueba criterios para la elaboración de auditorías energéticas en entidades del sector público, caracteriza estos criterios en “9 etapas” de forma sistematizada, que consiste en lo siguiente como se muestra en la imagen:



Figura 2. Etapas de la auditoría



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.5 Tipos de cargas

Según el artículo de Sistemas de Potencia (Zavala) mencionó:

- Cargas Lineales

Es un tipo de carga habitual y utiliza directamente la potencia eléctrica para la realización de sus funciones, así también, la forma de onda de la corriente es la misma forma que la onda de tensión. Un uso común está en los motores de inducción, las lámparas incandescentes y los calefactores.

- Cargas no Lineales

La forma de onda de corrientes es diferente a la del voltaje, porque requieren de corrientes no sinusoidales a partir de un generador senoidal. Un uso común de estas cargas radica en los dispositivos electrónicos, equipos de control de velocidad de motores, lámparas fluorescentes y lámparas de descarga, ordenadores, elementos de calefacción con control de temperatura, etc.

### 2.2.6 Subestación eléctrica de potencia.

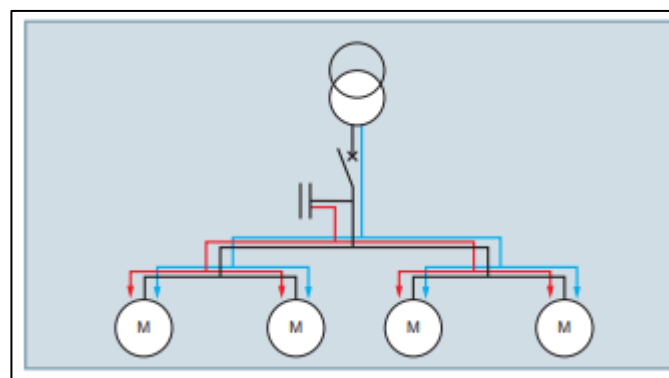
La subestación eléctrica de potencia (Enríquez Harper, 2005) consta de equipamientos que reciben el flujo de energía eléctrica de un punto de red. Además, de otros conceptos (Trashorras Montecelos, 2015), se puede inferir que es el conjunto de equipos compuestos de transformador, equipos de mando y protección, canalizaciones, equipos de medición.

### 2.2.7 Sistema de compensación de Energía Reactiva

Se define como el conjunto de baterías de condensadores y elementos de conmutación que permiten generar potencia reactiva para compensar la potencia reactiva demanda del receptor. Otro nombre por el cual denominan al sistema de compensación es Banco de Condensadores. (Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva, 2005)

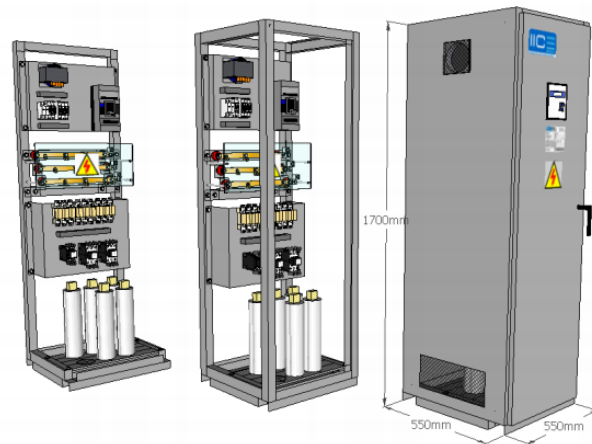
Por otro lado, los bancos de condensadores (IEEE, 1992) permiten controlar el voltaje y mejorar el factor de potencia, pero la conexión de condensadores puede causar condiciones de resonancia y elevar el nivel de armónicos.

Figura 3. Representación de un sistema de compensación reactiva



Fuente: Legrand

Figura 4. Representación de un banco de condensadores.



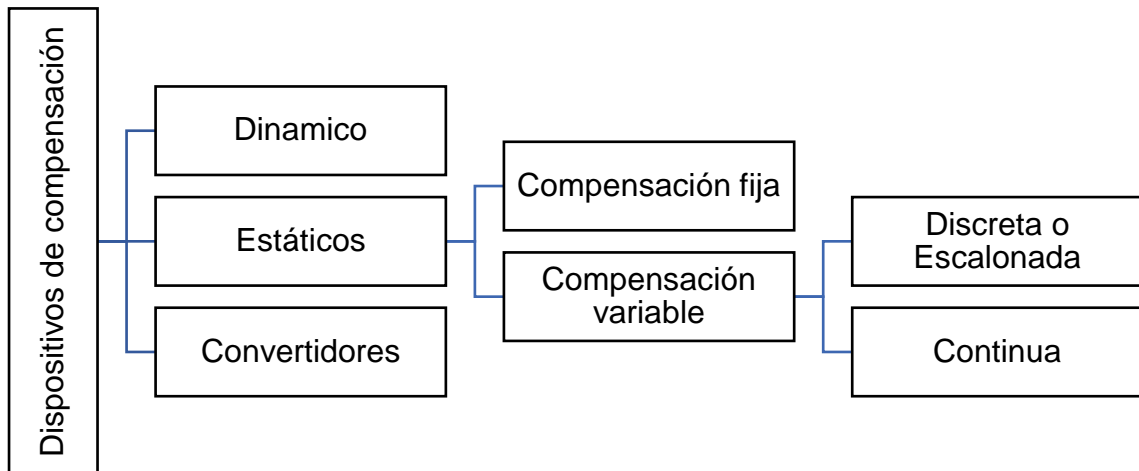
Fuente: (Ingeniería Integral para la calidad de la energía, 2013)

### 2.2.8 Tipos de dispositivos de compensación de potencia reactiva

Los dispositivos de potencia reactiva suministran o descarga corriente reactiva del sistema eléctrico necesaria hasta el punto de la compensación. (Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva, 2005).

En la gráfica 1 se resume los tipos de dispositivos de compensación

Gráfico 1: Tipos de dispositivos de compensación



Fuente: (Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva, 2005)

### 2.2.9 Dispositivos dinámicos de compensación de reactivo

Están formados por compensadores síncronos, que en líneas de transporte esta máquina de corriente alterna cuya excitación se ha regulado de forma que solo generen potencia reactiva “sobree excitada”. (Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva, 2005)

Provee de potencia reactiva consumida en la fase que se encuentra instalado. Proveyendo de forma gradual de potencia reactiva capacita y/o inductiva haciendo variar la tensión sobre un elemento reactivo, capacitor, inductor o capacitor e inductor. En el caso de los compensadores ITB utilizan un transformador monofásico proporcionando 17 niveles de tensión diferentes, en 16 escalones iguales de tensión de esta manera se puede variar de 0 a la potencia reactiva inductiva o capacitiva nominal del equipo o instalación. (ITB, 2017).

Figura 5. Compensador dinámico de potencia reactiva



Fuente: (ITB, 2017)

### **2.2.10 Dispositivos de compensación estáticos de compensación fija**

Están formados por capacitores y/o bobinas estacionarias, por predominar la carga inductiva en las instalaciones (líneas, maquinas eléctricas, etc) se realiza la compensación con banco de capacitores conectados en párelo con el receptor, de tal forma que su comportamiento se aproxime a un resistivo puro.

Estos dispositivos solo entregan una potencia reactiva de compensación única, por lo que no son eficiente; su aplicación debe ser destinada para compensar receptores individuales de carga constante.

### **2.2.11 Dispositivos estáticos de compensación escalonada**

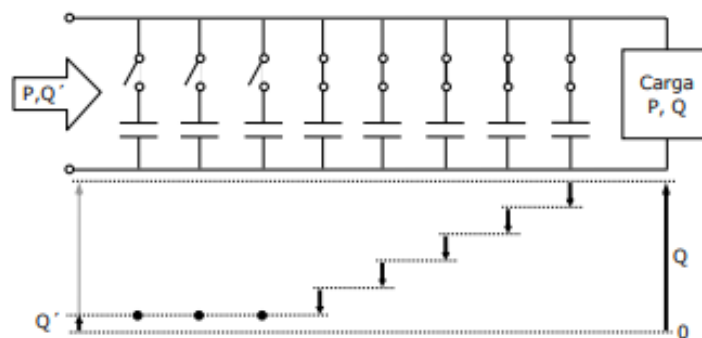
Estos dispositivos son los más difundidos en el sector industrial, porque posibilitan el mejoramiento del factor de potencia al valor deseado con poca intervención en el comportamiento de las cargas.

La compensación del factor de potencia se realiza con baterías individuales de capacitores, estas pueden ser de diferentes potencias que se conectan a

dispositivos de conmutación (contactores, tiristores, IGBT, entre otros) y controlados por un regulador varmétrico.

El factor de potencia ira disminuyendo conforme se incremente la potencia reactiva del receptor, pero el regulador no actúa hasta que vuelve a alcanzar el valor prefijado, es por ello por lo que este tipo de compensación es discreta, porque el factor de potencia no se mantiene absolutamente constante sino varia en determinados límites.

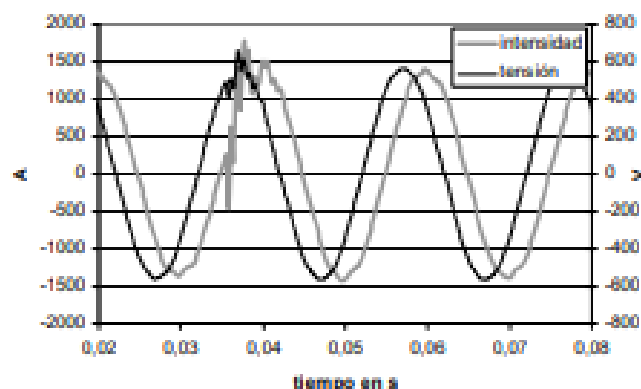
Figura 6. Compensación reactiva con batería automática de condensadores



Fuente: (Carrillo González, y otros, 2003)

A continuación, se podrá observar que al conectar un escalón de una batería de condensadores la medida de la tensión e intensidad se ven también afectadas de forma positiva. Como se ve en la imagen la medida de la tensión e intensidad a la salida de un transformador de 1600 kVA en carga.

Figura 7. Medida de la tensión e intensidad.



Fuente: (Carrillo González, y otros, 2003)

### 2.2.12 Dispositivos dinámicos de compensación de reactivo

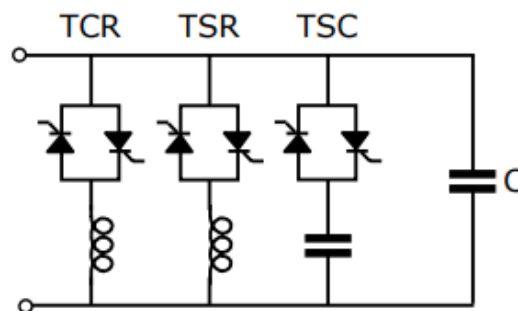
Los dispositivos estáticos de regulación continua de potencia reactiva (SVC). La regulación de estos dispositivos se logra en más de disímiles formas empleando bobinas y/o capacitores estacionarios, combinados con convertidores electrónicos de potencia que permitirán regular la potencia reactiva en las ramas del circuito de compensación.

Se usan variedades de algoritmos para el control y garantizar la variación de la potencia reactiva del dispositivo, e inclusive la variación de las susceptancias en fase.

Este tipo de compensación tiene como objetivo suministrar la potencia reactiva que necesita en cada instante el receptor, para que el factor de potencia tenga siempre el valor prefijado.

Estos dispositivos son muy usados para una gran variabilidad de carga, como en los sistemas eléctricos industriales, sistemas de distribución y transmisión de potencias, sistemas de generación no convencionales (parques eólicos) en sistemas donde la compensación por métodos convencionales resulta ser lenta. (Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva, 2005).

Figura 8. Esquema simplificado para un SVC



Fuente: (Carrillo González, y otros, 2003)

Donde:

TCR: Thyristor controlled reactor

TSR: Thyristor switched reactor

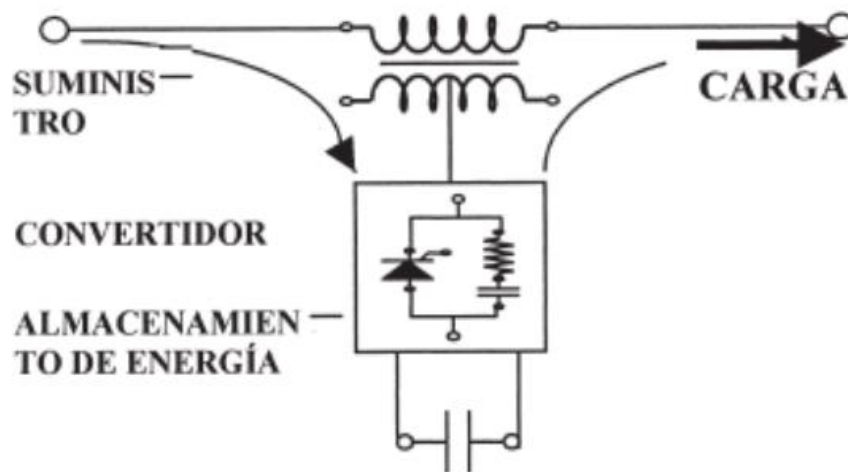
TSC: Thyristor switched capacitors

### 2.2.13 Dispositivos convertidores de compensación

Estos dispositivos sin tener presencia de bobinas y/o capacitores estacionarios, pueden a través de un control censar la demanda de potencia reactiva en la carga, proporcionando una misma corriente reactiva equivalente.

Los elementos que emplea como inversores de fuente de tensión, restauradores de tensión dinámica, DVR, convertidores AC-DC o AC-AC, filtros de corriente, inversores PMW, convertidores PMW como fuentes de potencia reactiva, convertidores AC-fed PMW, entre otros. Estos dispositivos compensan de manera continua, pero ocasionan gran distorsión al sistema, además de tener un costo de inversión elevado.

Figura 9. Esquema representativo de un Restaurador Dinámico de Tensión



Fuente: (Hernández Rey, 2013)



## **2.2.14 Ventajas y desventajas de la compensación**

### Ventajas

La comisión de regulación de Energía y Gas (Miembros de la comisión de regulación de Energía y Gas, 2005) el control de los reactivos en el sistema permitirá:

- Garantizar que las tensiones en terminales de todos los equipos estén dentro de los límites aceptables en un régimen normal y evitar efectos adversos a su desempeño para evitar daños en el sistema.
- Maximizar la utilización del sistema de transmisión y mejorar la estabilidad.
- Reducir las pérdidas de potencia activa y reactiva al mínimo, asegurando que el sistema de transmisión opere eficientemente para transferencias de potencia activa.

### Desventajas

- En Sistemas de compensación reactiva discreta o escalona los costos suelen ser altos para pequeños saltos de potencia porque debe cubrir la necesidad de incrementos de unidades de compensación. (Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva, 2005)

## **2.2.15 Componentes principales del Sistema de Compensación.**

Para un sistema de compensación automático se requiere tener dispositivos de conmutación y un regulador de potencias automático. A continuación, se describen los componentes principales:

- Banco de Capacitores:

Está compuesta de la agrupación de condensadores idénticos, siendo los que almacenan energía eléctrica y está compuesta dos conductores que están separadas por un material aislante o dieléctrico. Este genera un campo estático en el dieléctrico, representando la energía almacenada. Esta característica de almacenamiento es denominada capacitancia denominada en unidades farad. (Anonimo)

Pero uno de los problemas de los condensadores es que al ser conectados a la red para corregir el factor de potencia causando un transitorio de sobrecorriente que provienen de un transitorio de sobretensión. Y al ser desconectados generan una tensión residual incierta, porque puede ser cero si estaba totalmente descargado, o puede tener un valor residual si aún no llegó a cargarse por completo después de su última desconexión., por lo que hay una diferencia de tensión residual de carga del capacitor y la tensión instantánea de la red, lo que conlleva a equiparlos junto con contactores. (Garrido, 2014)

- Dispositivos de conmutación

Contactores: Son dispositivos que amortiguan los picos de corriente de desconexión de las baterías de condensadores y tienen dos contactos por fase, que se denominan precontacto auxiliar de cierre anticipado con respecto a otro. Estos atenúan los transitorios de conexión por el tiempo de su duración hasta cerrar el contacto principal para que toda la corriente circule a través del contacto principal. (Garrido, 2014)

Interruptores: Protegen ante sobrecargas y cortocircuito del circuito. (Schneider Electric, 2010)

Fusibles: Protegen la instalación, colocándose un fusible en serie con cada contactor para ajustar mejor el valor de corriente del fusible con el de la rama que protege. Sin embargo, al colocar el fusible por cada rama, hace que sea necesario incrementar la corriente del fusible perdiendo eficacia en la protección. (Rectificadores GUASCH S.A.)

- Regulador de factor de potencia

Conocido también como regulador varimétrico, es el que se encarga de detectar a cada instante el factor de potencia de la red eléctrica y lo compara con el valor deseado. Actuando, automáticamente con los dispositivos de conmutación, quienes a la vez conectan o desconectan las unidades o baterías de capacitores independientes a fin de alcanzar el valor de factor de potencia más cercano al

prefijado. (Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva, 2005)

### **2.2.16 Dimensionamiento de componentes del sistema**

Según el Libro técnico de Schneider Electric (Schneider Electric, 2010) recomienda una adecuada selección de los componentes del banco de condensadores.

Para la elección de la protección contra cortocircuito y sobrecargas se pueden elegir entre interruptores termomagnéticos

- Selección del Interruptor termomagnético.

El interruptor debe ser termomagnético de protección CN/H o C120N/H cuyo calibre sea igual a 1.43 veces la corriente nominal del condensador. La curva de disparo de esos interruptores debe ser del tipo "D" para la protección contra cortocircuito con corrientes al menos 10 veces el valor nominal del condensador en todos los casos.

Además, que en el Código Nacional de Electricidad (CNE) en la sección 150 de condensadores, se menciona que los medios de desconexión deben tener una capacidad nominal mayor que el 135% de la corriente nominal del condensador (Dirección General de Electricidad MINEM, 2006)

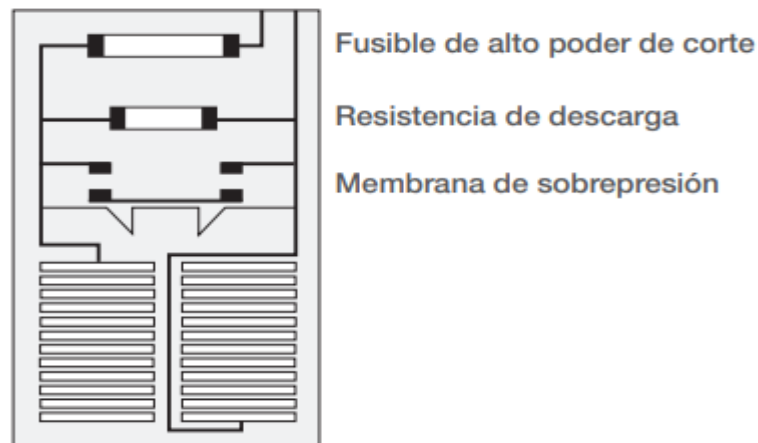
- Selección del contactor.

Se deben elegir contactores que estén implementados con resistencias de inserción en paralelo con cada polo principal y en serie con un contacto de precierre que se desconecte en servicio, de esta manera se estará limitando la corriente de cierre a 80 veces la corriente nominal como máximo, además de reducir riesgos contra incendios. Su elección es de acuerdo con la capacidad del contactor. A continuación, se muestra una ficha de contactor y su elección de acuerdo con los en relación con los kVAr del condensador. (Schneider Electric, 2010)

- Selección de condensador

Se recomienda la elección de condensadores secos, cuya característica es impregnante por ello se le denomina del tipo secos, además debe ser dieléctricos de film de propileno metalizado y debe tener sistema de protección HQ para garantizar el funcionamiento y evitar la explosión de los elementos capacitivos. El sistema de HQ consta de una membrana de sobrepresión protegiendo defectos pequeños, un fusible interno de alto poder de ruptura que protege a cada uno de los capacitivos cuando las intensidades son altas. (Schneider Electric, 2010)

Figura 10. Sistema HQ de un condensador



Fuente: (Schneider Electric, 2010)

- Dimensionamiento de los Conductores para los condensadores

La capacidad de corriente de los conductores de alimentadores y circuitos derivados que alimenten a condensadores no debe ser menor que el 135 % de la corriente nominal del condensador.

Cuando se tenga un circuito derivado que alimenta a dos o más condensadores, se debe considerar que el dispositivo de sobre corriente, que protege el conductor del circuito derivado, protege igualmente la derivación para alimentar a los condensadores individuales. (Dirección General de Electricidad MINEM, 2006).

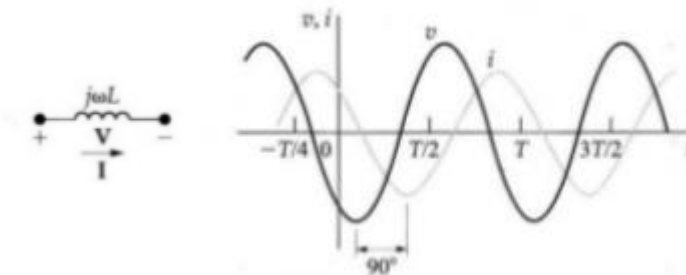
## 2.3 Conceptual

En el libro de Metodología de investigación tecnológica (Espinoza Montes, 2010) la definición conceptual proporciona los soportes racionales, que dan definición adecuada a las variables de investigación tanto conceptual como operacionalmente, las definiciones se realizarán para cada variable, sea independiente o dependiente. (págs. 86,87).

### 2.3.1 Triángulo de Potencias

Describe el factor de potencia para motores y otras cargas lineales, no se aplica a cargas no lineales. Este triángulo se puede expresar usando un ramo R-X como se muestra en la figura siguiente, sin el voltaje es una sinusoidal perfecta entonces la corriente deberán estar desfasada con respecto al voltaje un ángulo de " $\theta$ " como se hace mención u " $\varphi$ " como otros autores hacen mención. (ELEMTECHENERGY, 2015)

Figura 11. Fase entre la corriente y la tensión



Fuente: (Nilsson, y otros, 2005)

Las componentes de potencia activa (P) expresada en unidades "Watts (W)" y potencia reactiva (Q) expresada en unidades de "Voltamper reactivo (VAR)" tienen diferentes significados y no pueden sumarse aritméticamente, por lo que la suma de ambas se denomina potencia aparente o potencia compleja (S) expresada en unidades de "Volamper (VA)" que define:

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.1)$$

Figura 12. Triángulo de potencias



Fuente: (Sanjurjo Navarro, y otros, 1997)

La figura anterior muestra la ubicación de las potencias y el valor de las potencias en función de resistencia (R), Impedancia (Z), admitancia (X) y corriente (I). (Sanjurjo Navarro, y otros, 1997)

### 2.3.2 Factor de Potencia

Según la comisión de regulación de Energía y Gas (Miembros de la comisión de regulación de Energía y Gas, 2005), el factor de potencia es la relación entre la potencia activa y reactiva que necesita el equipo, o que está fluyendo por la red. Este se define por el coseno del ángulo de fase formado por la potencia aparente y la potencia activa, medidas en el cruce por ceros de las ondas de voltaje y corriente. El factor de potencia es adelantado si la onda de corriente adelanta al voltaje y atrasado en caso contrario.

$$\cos(\varphi) = \frac{P(KW)}{S(KVA)} \quad (2.2)$$

También se puede expresar en función de la tangente del ángulo de fase.

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{Q(kVAr)}{P(KW)} \quad (2.3)$$

$$\cos(\varphi) = \cos\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{Q(kVAr)}{P(KW)}\right)\right) \quad (2.4)$$

### 2.3.3 Cálculo de la potencia

Para suministros trifásicos (LEGRAND, 2007) las potencias se calculan bajo las fórmulas siguiente, deducida del triángulo de potencia.

- Potencia Aparente: Es el producto del Voltaje (V) y la Corriente (I), cuyas unidades es voltamper (VA).

$$S = \sqrt{3} VI \quad (2.5)$$

- Potencia Activa: Es el producto del Voltaje (V), la corriente (I) y el coseno del ángulo de fase, cuya unidad es el vatio (W).

$$P = \sqrt{3} VI \cos(\varphi) \quad (2.6)$$

- Potencia Reactiva: Es el producto del Voltaje (V), la corriente (I) y el seno del ángulo de fase, cuya unidad es el volt amper reactivo (VAR).

$$Q = \sqrt{3} VI \sin(\varphi) \quad (2.7)$$

#### 2.3.4 Método para corrección del factor de potencia

En el cuaderno técnico Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas (ABB, 2006), el método para hallar la potencia reactiva necesaria para pasar de un factor de potencia  $\cos(\varphi_1)$  a un factor de potencia  $\cos(\varphi_2)$  se expresa en las siguientes ecuaciones.

La potencia reactiva necesaria será:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (2.8)$$

$$Q_c = P \cdot (\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2)) \quad (2.9)$$

Donde:

$Q_c$ : Potencia reactiva necesaria para compensar.

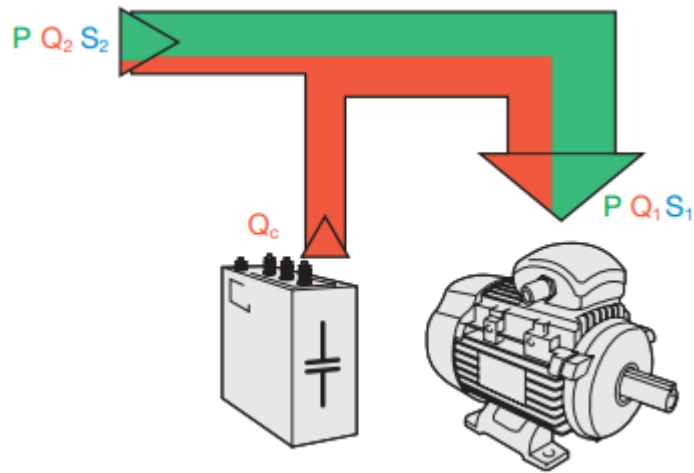
$P$ : Potencia activa instalada.

$Q_1, (\varphi_1)$  son la potencia reactiva y el ángulo de desfase antes de la corrección.

$Q_2, (\varphi_2)$  son la potencia reactiva y el ángulo de desfase tras la corrección.

En la figura posterior la imagen muestra que el condensador entregará parte de la energía reactiva a la carga que en este caso es un motor que requiere de los dos tipos de potencia activa y reactiva.

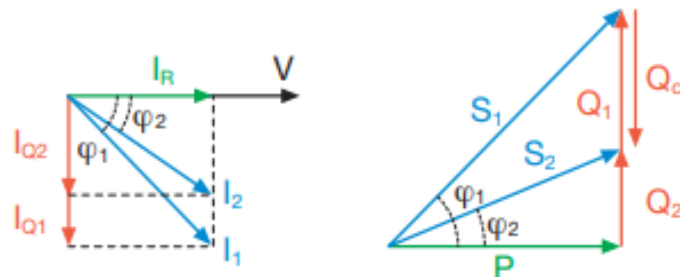
Figura 13. Compensación de potencia reactiva por condensador.



Fuente: (ABB, 2006)

Al corregir el factor de potencia, el triángulo de potencia cambia como se muestra en la siguiente figura.

Figura 14. Triángulo de potencia después de la corrección



Fuente: (ABB, 2006)

### 2.3.5 Potencia reactiva del condensador en un sistema trifásico.

Las baterías de condensadores para compensar la energía reactiva inductiva pueden conectarse en triángulo o en estrella. De acuerdo con ello, se decidirá la ecuación a elegir. Es recomendable la conexión en triángulo de la batería de condensadores para instalaciones de baja tensión, porque los problemas de aislamiento son menos relevantes, ya que permite un dimensionamiento inferior de las capacidades de cada fase. (ABB, 2006)



$$Q_{CY} = Q_{CA} \quad (2.10)$$

$$C_Y = 3 \cdot C_A \quad (2.11)$$

### 2.3.6 Sistema de compensación reactiva estática

La compensación del (OSINERMING, 2017) se realiza con baterías individuales de capacitores, estas pueden ser de diferentes potencias que se conectan a dispositivos de conmutación (contactores, tiristores, IGBT, entre otros) y controlados por un regulador varométrico.

El factor de potencia ira disminuyendo conforme se incremente la potencia reactiva del receptor, pero el regulador no actúa hasta que vuelve a alcanzar el valor prefijado, es por ello por lo que este tipo de compensación es discreta, porque el factor de potencia no se mantiene absolutamente constante sino varia en determinados límites. (Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva, 2005)

### 2.3.7 Baterías de condensadores o capacitores estáticos

Es un condensador formado por armaduras de bipolo pasivo por dos superficiales, llamadas armaduras, el condensador está sometido a ciclos de carga y descarga durante los cuales acumula energía reactiva (carga del condensador) e inyectarlo al circuito al que va conectado (descarga del condensador). (ABB, 2006)

Así como expresa la siguiente relación:

$$E_c = 1/2 \cdot C \cdot U^2 \quad (2.12)$$

Donde:

C es la capacidad del condensador

U es la tensión aplicada en los extremos del condensador

## 2.4 Definición de términos básicos:

- **Baja tensión:** Denominado así a la tensión de utilización inferior a 1KV. (MEM-DGE, 1982)
- **Condiciones de Resonancia:** Son factores que afectan los niveles de armónicos, relacionadas con el flujo de corriente armónica. Cuando esto no es problema el sistema eléctrico tiene la capacidad de absorber cantidades significativas de corrientes armónicas. Así existen dos tipos de resonancia, la paralela y la de serie; la primera ocurre si la combinación de bancos de condensadores y la inductancia del sistema resultan en una resonancia paralela provocando amplificación de la armónica que oscilara entre la energía almacenada en la inductancia y la capacitancia, ocasionando distorsión de voltaje e interferencia telefónica; la segunda resulta de la combinación en serie de los banco de condensadores y las líneas o inductancias de trasformadores por presentar baja impedancia tienden a atrapar la corriente armónica. (IEEE, 1992)
- **Capacidad de corriente:** Valor de la corriente en Amperes que un conductor es capaz de transportar bajo condiciones de operación preestablecidas. (MEM-DGE, 1982)
- **Diagrama unifilar:** Es el diseño de ingeniería que incluyen detalles de la fuente de alimentación o puntos de conexión a red; así como, el tamaño de los conductores, cables, barras, transformadores, voltajes, dispositivos de protección (fusibles, interruptores). (Trashorras Montecelos, 2015)
- **Energía:** Capacidad de un sistema de producir una actividad externa o de realizar un trabajo. (MEM-DGE, 1982)
- **Energía activa:** Energía eléctrica transformable en otra forma de energía.
- **Energía reactiva:** En un sistema de corriente alterna, la energía eléctrica almacenada que se intercambia continuamente entre los diferentes campos eléctricos y magnéticos asociados con la operación de la red eléctrica y de todos los aparatos conectados.
- **Sobrecarga:** Es el exceso de carga sobre el valor nominal de plena carga de un equipo o el exceso de capacidad de corriente de un conductor. (MEM-DGE, 1982)

- **Sobrecorriente:** Es el exceso de corriente sobre el valor de corriente a plena carga, pudiendo ocasionar sobrecarga, cortocircuito o fallas a tierra. (MEM-DGE, 1982)
- **Tensión:** Viene a ser la diferencia de potencial eficaz entre dos conductores cualesquiera o entre un conductor y la tierra.
- **Sistema trifásico:** Un sistema trifásico está conformado por tres fases principales, la fase R es de conductor rojo, la fase S es de conductor negro y la fase T es de conductor azul. Y si se requiere de un conductor neutro el color del conductor puede ser blanco o gris oscuro. (Dirección General de Electricidad MINEM, 2006)
- **Contrato de Cliente Libre:** Los contratos de clientes libres pueden llevarse a cabo si la demanda máxima anual mayor a 200 kW hasta 2500 KW y es deficitivo si su demanda máxima es mayor a 2500 kW.

Reglamento de Usuarios Libres de Electricidad DECRETO SUPREMO  
Nº 022-2009-EM ; Ministerio de energía y minas ; 2009

## **III HIPÓTESIS y VARIABLES**

### **3.1 Hipótesis**

#### **3.1.1 Hipótesis General**

Sí se realiza una auditoria al sistema de compensación reactiva fijo de 210 kVAR se podrá evaluar una solución alternativa para corregir el factor de potencia del sistema eléctrico en la subestación eléctrica n° 1 del Club Regatas Lima.

#### **3.1.2 Hipótesis Específicas**

H1: Si se realiza el análisis situación del sistema de compensación reactiva actual se podrá situar el estado de banco de condensadores.

H2: Si se realiza la campaña de mediciones de los parámetros eléctricos del banco de condensadores se podrán registrar e identificar el estado de funcionamiento de los componentes del sistema de compensación de energía reactiva.

H3. El diagnóstico del sistema de compensación de la energía reactiva actual permitirá mejorar la calidad de energía eléctrica en contraste con los estándares nacionales e internacionales vigentes.

H4: Si se proyecta el dimensionamiento adecuado y conexasión del banco de condensadores automático se logrará la corrección del factor de potencia.

## 3.2 Definición Conceptual de la variable

El Proyecto de tesis titulado: “Auditoria al sistema de compensación de energía reactiva de 210kvar en la evaluación del factor de potencia del sistema eléctrico de potencia n° 1 del Club Regatas Lima”, contará con las siguientes variables:

### 3.2.1 Variable independiente

- X: Sistema de compensación de energía reactiva

En el artículo (Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva, 2005), está definido conceptualmente el **Sistema de compensación de Energía Reactiva** como el conjunto de baterías de condensadores y elementos de conmutación que permiten generar potencia reactiva para compensar la potencia reactiva demanda del receptor.

### 3.2.2 Variable dependiente

- Y: Factor de potencia del sistema eléctrico

Según la comisión de regulación de Energía y Gas (Miembros de la comisión de regulación de Energía y Gas, 2005), el factor de potencia es la relación entre la potencia activa y reactiva que necesita el equipo, o que está fluyendo por la red. Este se define por el coseno del ángulo de fase formado por la potencia aparente y la potencia activa, medidas en el cruce por ceros de las ondas de voltaje y corriente. El factor de potencia es adelantado si la onda de corriente adelanta al voltaje y atrasado en caso contrario.

### 3.3 Operacionalización de la variable

La ecuación funcional de regresión lineal simple corresponde a la investigación problema objeto de estudio, es:

$$Y=f(X)$$

La variable Sistema de compensación de energía reactiva se disgrega en dimensiones o aglutinantes:

$X_1$ : Análisis situacional del sistema de compensación de energía reactiva.

$X_2$ : Campaña de mediciones de parámetros eléctricos.

$X_3$ : Diagnóstico al sistema actual.

$X_4$ : Propuesta del Banco de Condensadores Automático.

Por lo que la ecuación funcional correspondiente, es:

$$Y=f(X_1, X_2, X_3, X_4)$$

Cada una de las dimensiones correspondientes a la variable Sistema de compensación de energía reactiva presenta indicadores que nos sirvió para el dimensionamiento adecuado del sistema de compensación de energía reactiva adecuada para la instalación.

**Tabla 3. 1 Operacionalización de la variable independiente**

Variable	Dimensiones	Indicadores	Índice	Método	Técnica
<b>Independiente</b>  Sistema de compensación de energía reactiva	Análisis situacional del sistema de compensación reactiva actual.	Registros de facturas eléctricas	Soles/kVar	Inductivo Sistémico	Documental
		Diagrama unifilar	Corriente eléctrica		
		Historial de mantenimiento.	Frecuencia de mantenimientos		
		Levantamiento de información técnica.	Potencia eléctrica reactiva, corriente eléctrica		
		Descripción del banco de condensadores.	Fijo		
	Campaña de mediciones de parámetros eléctricos.	Check list de los componentes del sistema.	Estado de funcionamiento	Inductivo Sistémico	Empírica
		Pruebas de funcionamiento	Corriente eléctrica, tensión eléctrica		
		Registro de parámetros eléctricos	Corriente eléctrica, tensión eléctrica, numero de pasos		
	Diagnostico al sistema actual.	Calidad de energía eléctrica.	Desfase de tensión, corriente, factor de potencia.	Inductivo Sistémico	Documental
		Verificación del estándar de recomendación.	Factor de potencia standard (FP)		Documental
		Conceptualización de mejoras.	Banco de condensadores Automático y $0.9 < FP < 1$		Documental
	Propuesta de mejora	Parámetros de diseño	Potencia reactiva, corriente eléctrica, tensión eléctrica de la red	Inductivo Sistémico	Documental
		Diseño del sistema de compensación de energía reactiva estática	$FP \geq 0.9$		Empírica
		Plan de puesta en funcionamiento	VAN positivo y TIR rentable		Documental
		Evaluación económica	Costo del proyecto		Empírica

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 2 Operacionalización de la variable dependiente**

Variable	Dimensiones	Indicadores	Índice	Método	Técnica
<b>Dependiente.</b>  Factor de potencia del sistema eléctrico	Potencia sistema eléctrico	Potencia Activa.	KW	Inductivo Sistémico	Documental
		Potencia Aparente.	KVA		Documental
		Potencia Reactiva.	KVAR		Documental
	Tipo de Factor de Potencia global	Factor de potencia capacitivo.	FPc		Documental
		Factor de potencia inductivo.	FPI		Documental

Fuente: Elaboración propia



## IV DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1 Tipo y diseño investigación.

#### 4.1.1 Tipo de investigación

Según (Espinoza Montes, 2010), la investigación tecnológica tiene como propósito aplicar los conocimientos científicos en la solución de los diferentes problemas que se presentan en la sociedad y un nivel aplicado puesto que permite diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de los múltiples problemas con eficiencia y productividad.

Por lo que el presente proyecto de investigación será del tipo “**Tecnológica**” y nivel “**Aplicada**”, ya que al realizar una auditoría enfocada a un sistema de compensación de energía reactiva podremos tener una herramienta de evaluación para evaluar el factor de potencia del sistema eléctrico existentes en cualquier instalación.

#### 4.1.2 Diseño de la Investigación

Por las características propias de las variables contenida en el presente proyecto de investigación el diseño corresponde al descriptivo simple no experimental, porque recoge información para diagnosticar y realizar procedimientos sistematizados en la solución del problema objeto de estudio. Este diseño simple se basa en este diagrama:



Donde:

M: Muestra del estudio

O: Observación de la variable de la muestra

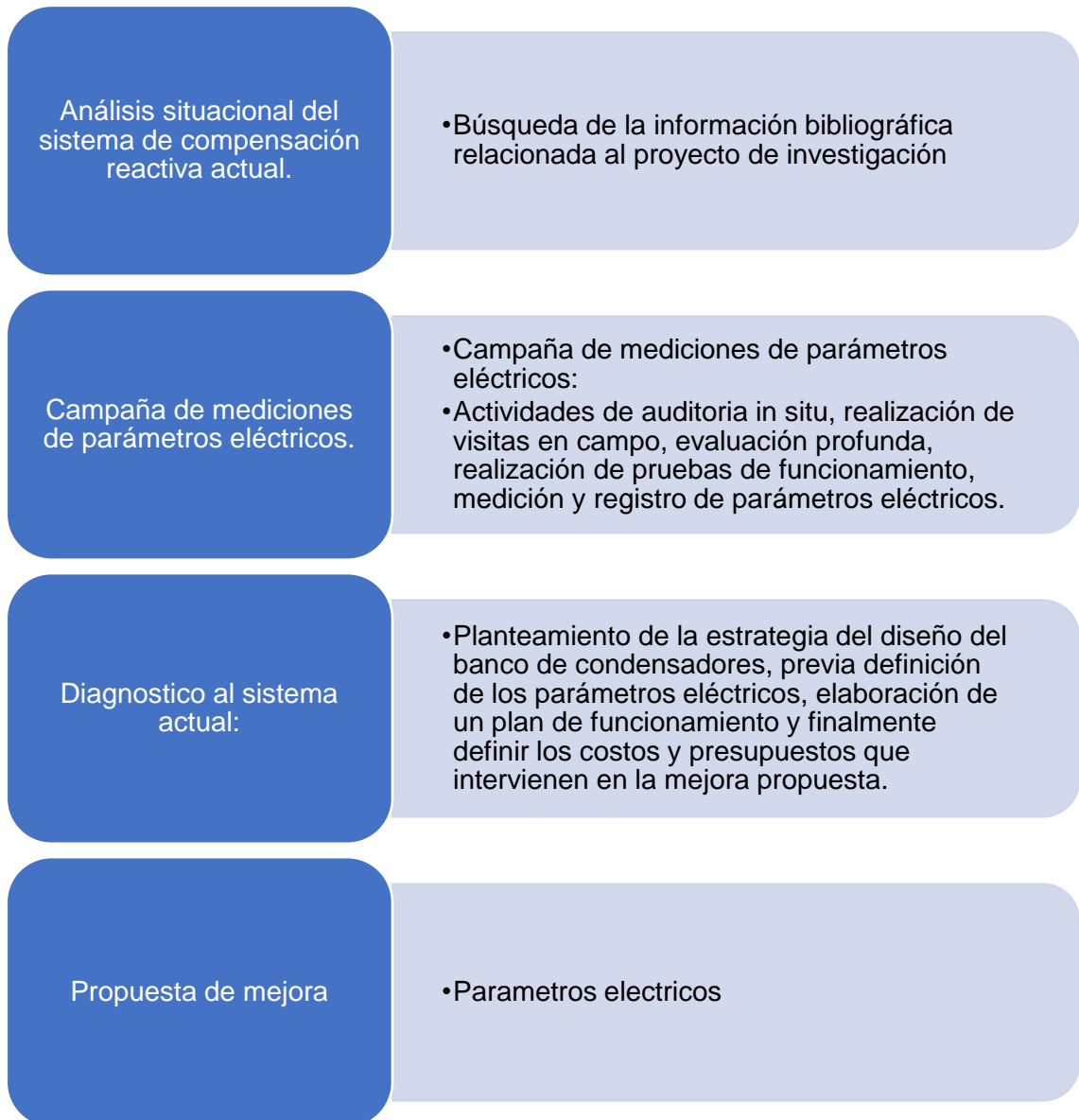
Según Hernández (2014), la investigación no experimental, se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no

hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables (p.149).

## **4.2 Método de investigación**

En el presente proyecto se utilizó un método inductivo sistémico esto es avalado por (Espinoza Montes, 2010), que sustenta que este método “se utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general” (P.12).

Figura 15. Método de la Investigación



Fuente: Elaboración propia

### **4.3 Población y muestra**

Según Hurtado y Toro (1998) define la población como el total de los individuos o elementos a quienes se refiere la investigación, es decir, todos los elementos que vamos a estudiar, por ello también se le llama universo. (p.79).

Así mismo Barrera (2008), señala que la muestra se realiza cuando la población es tan grande o inaccesible que no se puede estudiar toda, entonces el investigador tendrá la posibilidad seleccionar una muestra. El muestro no es un requisito indispensable de toda investigación, eso depende de los propósitos del investigador, el contexto, y las características de sus unidades de estudio. (p. 141)

Por su parte Hernández citado por Castro (2003), expresó que la población si es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra" (p.69).

Por lo que la población y la muestra es la misma; siendo esta la subestación eléctrica de potencia n° 1 del Club Regatas Lima.

### **4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado**

El desarrollo de la auditoria del sistema de compensación de energía reactiva se llevará a cabo en la subestación eléctrica número 1 del Club Regatas de la sede de Chorrillos en Lima – Perú. La duración de la auditoría energética será de 4 semanas abarcando del 17 de julio al 23 agosto del 2019.

### **4.5 Técnicas e instrumentación de recolección de datos**

En el libro de metodología de la investigación tecnológica (Espinoza Montes, 2010), las técnicas de recolección de datos organizan la investigación para obtener el nuevo conocimiento, ordenando etapas, elaborando instrumentos, efectuando control de datos y guiar la obtención de conocimientos. (p.110)

Existen dos técnicas generales de recolección de datos que continuación se definen:

#### 4.5.1 Técnica de análisis documental

Permite la recopilación de evidencias para demostrar la hipótesis de la investigación.

#### 4.5.2 Técnica empírica

Permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonios que permitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad, aplicando:

Observación

Es una técnica que permite recolectar datos, acumular y sistematizar información sobre el objeto de investigación que tiene relación con el problema de investigación.

Por lo que para el presente proyecto las técnicas e instrumentación de recolección con del tipo documental y empírica observacional.

**Tabla 4. 1 Técnicas e instrumentos de recolección**

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN
DOCUMENTAL	Diagramas unifilares Facturas eléctricas Ficha técnica Memorias de cálculos Registros de mantenimiento
EMPÍRICA	Inspección visual Check list Hojas de registro Cámaras fotográficas Analizador de redes Pinzas amperimétricas

Fuente: Elaboración propia

## 4.6 Análisis y procesamiento de datos

Por ser una investigación del tipo tecnológica con nivel aplicada y además de presentar una muestra igual a la población no amerita realizar un análisis estadístico, sino un análisis de los resultados por cada etapa, siendo estas:

Para el análisis y evaluación los lineamientos mencionados en la RM 186-2016-MEN/DM (Minas, 2016) servirán de guía para el presente proyecto.

### 4.6.1 Análisis situacional del sistema actual

Este análisis agrupará dos etapas de la RM 186-2016 y una planificación como parte de esta preauditoria. Consiste en dos etapas: **etapa 1 recopilación de información preliminar y la etapa 2 revisión de la facturación eléctrica.**

En la etapa de recopilación de Información preliminar es necesaria porque nos permite conocer todos los parámetros que involucran en el sistema además de conocer al sistema a evaluar. Para el caso se solicita información que se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4. 2 Recopilación de información**

ITEM	INFORMACIÓN	PERIODO /ESTADO	SE DISPONE
1	FACTURAS ELÉCTRICAS	Mes de febrero 2019	SI
2	DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELÉCTRICO	SIN ACTUALIZACIÓN ANTE CAMBIOS	SI
3	DIAGRAMA UNIFILAR DEL BANCO DE CONDENSADORES	-	NO
4	-REGISTROS DE MANTENIMIENTO	-	NO
5	FICHA TÉCNICA DEL BANCO DE CONDENSADORES	-	NO

Fuente: Elaboración propia

En la etapa de la revisión de la facturación de energéticos se revisa la información que se obtiene de la tabla anterior, para el caso de Regatas solo se contó con las facturas eléctricas y el diagrama unifilar de la instalación eléctrica.

**Facturas eléctricas:** permiten evidenciar datos como:

- Tipo de cliente: El club es cliente libre, lo que significa que su potencia contrata es mayor a 200 KW (Osinerming, Gerencia de Asesoría Jurídica, 2009)
- Potencia contratada:
- Nivel de voltaje al punto de suministro: 10kV/0.22kV
- Tarifa eléctrica: Cliente Libre

**Diagrama unifilar:** Para la auditoría es necesario saber la ubicación del sistema de compensación actual y su configuración técnica.

#### 4.6.2 Contrato de suministro eléctrico

La sede de Chorrillos del Club Regatas dispone de un suministro en media tensión proveniente de la empresa distribuidora de energía eléctrica ENEL.

La sede dispone de una potencia contrata de 1300W en media tensión con opción tarifaria de Cliente Libre. En la tabla siguiente se muestran los datos del suministro.

A continuación, se muestra el resumen de la información.

**Tabla 4. 3 Información de la factura eléctrica**

Datos Contrato	
<b>Empresa distribuidora</b>	ENEL
<b>Tipo de cliente</b>	Cliente Libre
<b>Potencia contratada</b>	1300 KW
<b>Suministro</b>	1295874
<b>Código SICLI</b>	CL1381
<b>Punto de suministro y medición</b>	SED 103685
<b>BRG</b>	Lima 220 KV

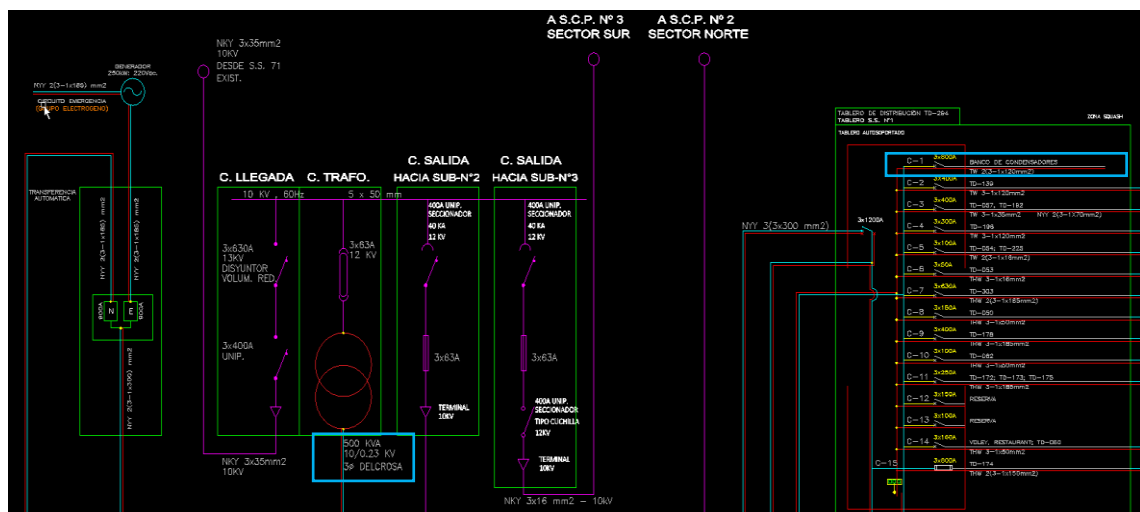
Fuente: Elaboración propia

### 4.6.3 Ubicación del sistema actual

En el club regatas solo se tiene este tipo de esquema que indica de la existencia de un sistema de compensación de energía reactiva en el lado de baja tensión en la barra principal de la subestación 1.

En la figura siguiente el sistema de compensación de compensación de energía reactiva se deriva del transformador trifásico DELCROSA cuya capacidad es 500 kVA 10/0.36 kV. Y distribuyéndose a lo largo de todos los circuitos mediante el interruptor termomagnético de 800 A del C-1.

Figura 16. Diagrama unifilar del sistema actual



Fuente: Elaboración propia

### 4.6.4 Planeamiento del Proyecto

El planeamiento debe realizarse cuando se haya realizado las dos primeras etapas según RM 186 (Minas, 2016), porque nos permitirá tener mayor alcance al energético a intervenir, de esa manera medir los tiempos adecuados del proyecto con un cronograma de actividades, los equipos de medición necesarios que se necesitarán llevar, los equipos de protección necesarios.

Los equipos de medición que se elijan para la acción de la campaña de mediciones deben asegurar que los registros de medición sean confiables, una forma de garantizarlos es que los equipos estén correctamente calibrados y presenten su certificado de calibración.



A continuación, la lista de instrumentos que se usaran en la campaña de mediciones.

**Tabla 4. 4 Lista de equipos**

Herramienta	Parámetro para medir
<b>Pinza Amperimétrica</b>	Voltaje, Corriente
<b>Analizador de Redes</b>	Potencias, energías, factor de potencia, voltajes, corrientes.

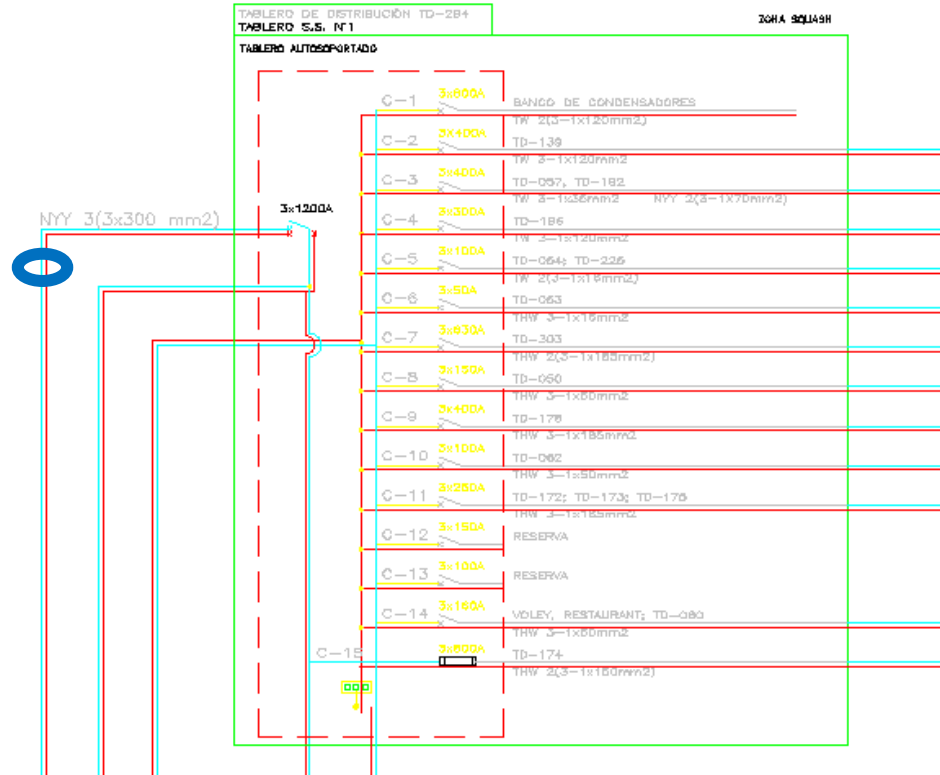
Fuente: Elaboración propia

En el caso del Club Regatas estamos evaluando el comportamiento del sistema de compensación actual, por lo cual será necesario instalar 01 analizador de redes, previamente cerrando el circuito del banco de condensadores, en el circuito principal que entrega la energía a las cargas.

La imagen a continuación muestra el comportamiento de la corriente de un sistema de compensación, todo ello se infiere del comportamiento del triángulo de potencias

Entonces los siguientes puntos a medir, son los que se muestra en el diagrama unifilar. Los días de medición de la cantidad de inversión que se tenga. Puesto, que el equipo Analizador de Redes es un instrumento que tiene un costo elevado. Para el caso del club, se tiene previsto en el plan una medición de 1 un periodo de 7 días.

Figura 17. Punto azul de medición



Fuente: Diagrama unifilar del Club Regatas

#### 4.6.5 Campaña de mediciones

Luego de la interpretación de la información y el plan de auditoría realizado en la preauditoría, se recomienda llevar la información pertinente como la capacidad del sistema actual, los diagramas unifilares y el plan de auditoría impresa. Por lo cual con estas actividades se realizarían las etapas 3 y 4: Recorrido de las instalaciones y Campaña de mediciones.

#### Registro de parámetros eléctricos

Consiste en la instalación del Analizador de Redes en el circuito general, previamente localizado, de esta forma se percibirá el consumo en tiempo real de la instalación, previamente a la instalación se debe dejar inoperativo el sistema de compensación del Club Regatas con el fin de detectar el consumo actual de

energía capacitiva del sistema eléctrico para posterior dimensionar un sistema de compensación adecuado.

Luego de la instalación se deja conectado el analizador de redes de tal forma guardemos el registro de información durante el periodo de medición.

#### 4.6.6 Diagnóstico del sistema actual.

Luego del trabajo en campo se prosigue con un trabajo de gabinete que consiste en la evaluación del estado actual y abarca la etapa 5 según la RM 186 (Minas, 2016) que es “Evaluación de Registros de determinación de línea base”.

### Caracterización inicial del sistema de compensación

**Tabla 4. 5 Sistema de compensación actual**

DATOS DEL EQUIPO	
Potencia nominal .....	<b>210 kVAR</b>
Cantidad de pasos.....	<b>07</b>
Voltaje nominal .....	<b>230 V</b>
Marca de capacitores.....	<b>NOKIA</b>
Tipo de capacitor.....	<b>KDP</b>
Frecuencia .....	<b>60 Hz</b>
Potencia c/capacitor.....	<b>30 KVAR</b>
Corriente c/capacitor.....	<b>78,7 A</b>
Ubicación .....	<b>SEP</b>
<b>1</b>	
Operación .....	<b>90 KVAR</b>
<p><b>OBSERVACIONES: El equipo es antiguo y solo entrega 90 kVAR de potencia reactiva, según las pruebas realizadas.</b></p>	



Banco de condensadores- SEP 1

Evaluación de las pruebas de funcionamiento y los perfiles de consumo registrado.

De las pruebas de funcionamiento hechas durante la campaña de mediciones.

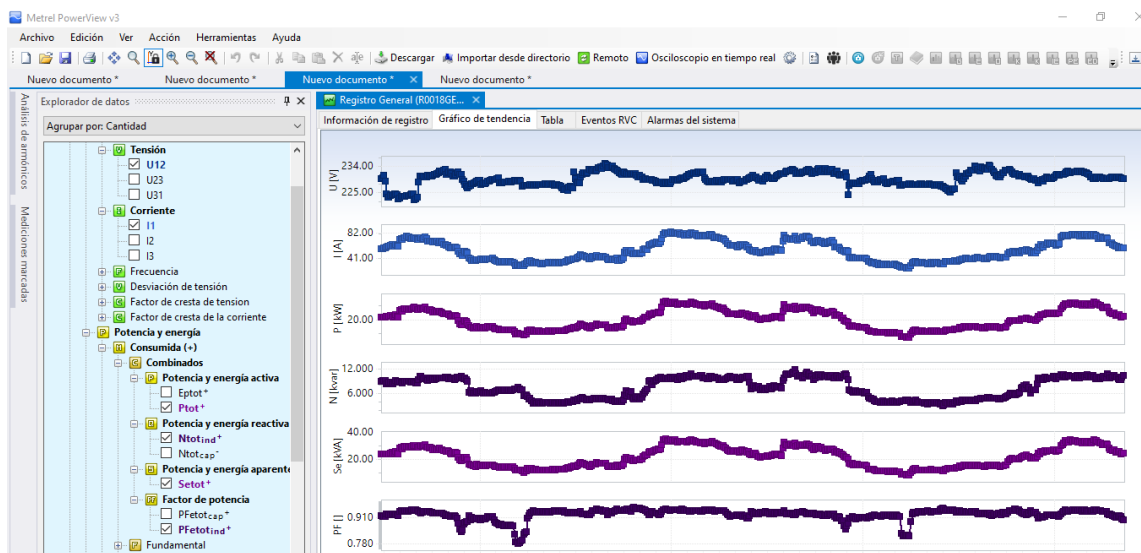
Se determina que el total de la capacidad del banco que es la suma de cada condensador instalado es el resultado de 90 kVAr.

La potencia de cada condensador es de 30 kVAr.

### Descarga de la data de los parámetros eléctricos

La descarga de datos del analizador redes por sus características de fabricante, brinda un SOFTWARE llamado METREL POWER VIEW, software que permite la descarga de datos en hojas Excel o la visualización de la data en el propio en el mismo.

Figura 18. Muestra de datos en el software.

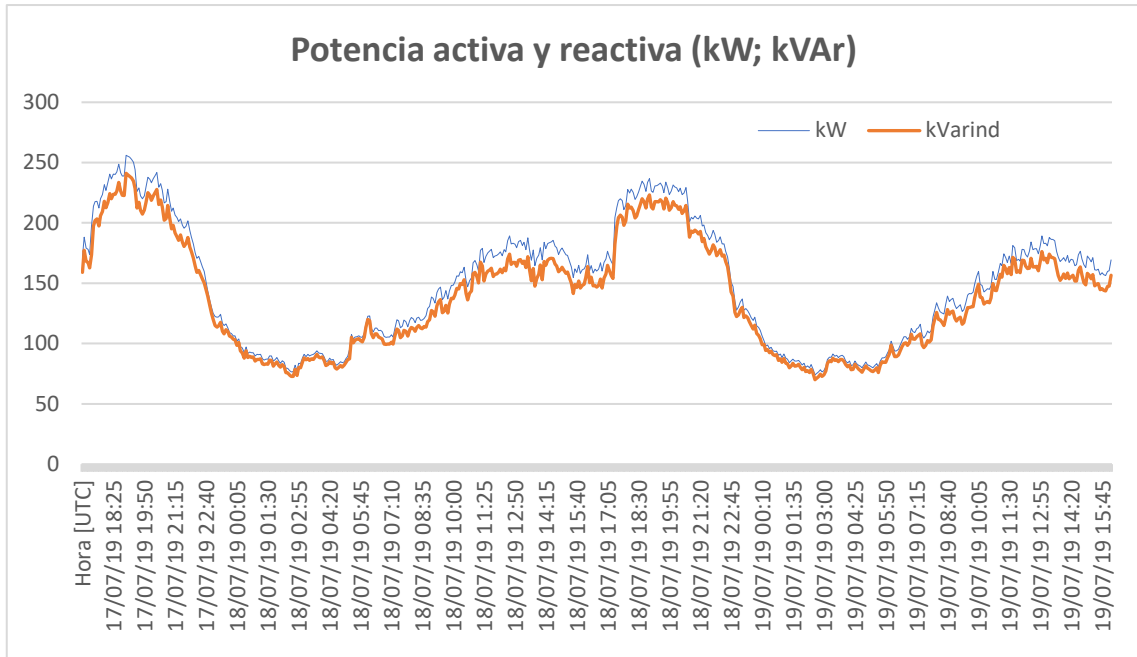


Fuente: Software Power View

Para procesar la información y manejarla de forma más flexible se importa los datos a un Excel. Esta información exportada a la hoja Excel, nos ayuda a cruzar gráficos en función del tiempo de medición.

Las siguientes figuras muestran el perfil de consumo de potencia activa (kW) y potencia reactiva (kVAr).

Gráfico 2: Perfil de consumo potencia activa (kW)



Fuente: Elaboración propia obtenida del analizador de redes.

Gráfico 3: Perfil del Factor de Potencia

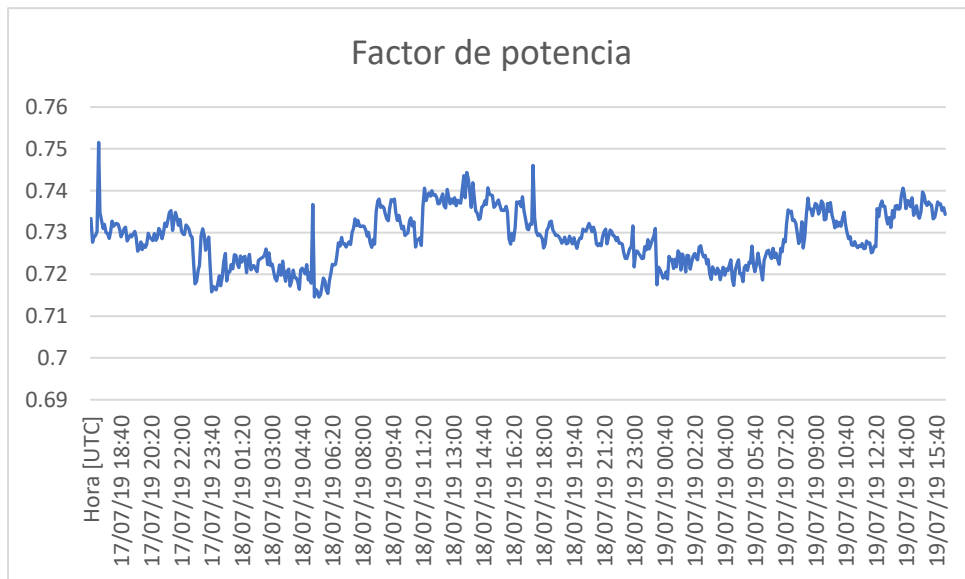


Figura 19. Fuente: Elaboración propia obtenida del analizador de redes.

**Tabla 4. 6 Valores principales de los parámetros**

Valores	Preg(kW)	Qreg(kVAr)	FPregis
<b>Máximo</b>	256.05	241.13	0.728
<b>Promedio</b>	148.85	139.37	0.730
<b>Mínimo</b>	74.04	70.02	0.727

Fuente: Data de los parámetros en Excel

Donde:

- Preg (kW): Es la potencia activa registrada
- Qreg (kVAr): Es la potencia reactiva inductiva registrada
- FPreg: Es el factor de potencia inductivo-registrada

De los valores principales se evidencia un factor de potencia bajo con la desactivación del sistema de compensación evidencia un factor de potencia bajo

#### **4.6.7 Línea base de consumo actual**

De los datos obtenidos del equipo analizador de redes y los consumos de la factura eléctrica se puede interpolar y prorratear mediante ratios un estimado del consumo anual.

Para los costos se considera el tipo de cambio de 3.39 Soles/USD.

#### **Consumo mensual**

Tomando de referencia la factura eléctrica del mes de febrero del 2019 proporcionada por Regatas. El consumo de energía en dicho mes es de 114,066 kWh /mes por lo que tiene una facturación solo de energía de 5,064.52 soles, en la factura no se evidencia ninguna penalidad por consumo de energía reactiva.

Esta penalización por energía reactiva no se fija porque según las Opciones Tarifarias por la cual se rigen las facturas eléctricas, mencionó que “el consumo de energía reactiva inductiva hasta el 30% de energía activa total mensual es sin cargo alguno, De lo contrario, si el consumo de energía reactiva inductiva excede del 30% de la energía activa total mensual, entonces la facturación se rige por la fórmula. (OSINERG, 2001)

$$\text{Factura} = \text{kVAR.h en exceso} \times \text{CER} \quad (4.1)$$

Donde:

CER = Cargo por energía reactiva, expresado en S./kVARh o USD/KVarh.

Por lo que si la energía reactiva inductiva se excediera del 30% de 114,066 se tendría que pagar una multa de por consumo de energía reactiva en el mes.

**Tabla 4. 7 Consumo de energía mensual**

Energía mes de febrero 2019	Unidad	Consumo
Energía activa	MWh	114.07
Energía capacitiva	MVARh	0

Fuente: Data de los parámetros en Excel

Entonces:

Consideración según Osinermin para para facturar energía reactiva

$$30\% \times 114.07 = 34.22$$

$$0 \text{ MVARh} < 34.219 \text{ (No se paga por energía reactiva)}$$

### Consumo anual

La factura eléctrica del mes de febrero nos ayudará en establecer un consumo de energía por un año, de manera simple se asume un consumo similar en los próximos meses. Por lo que, la línea base de consumo anual de energía no será tan preciso, ello se corrige si se tuvieran 12 facturas eléctricas.

Entonces para realizar un estimado de consumo actual, tomamos como base un consumo mensual del mes de febrero, multiplicando dicho mes por 12 para tener el consumo anual.

El precio final de cliente libre del Club Regatas considerando la factura de cliente libre es 81 USD/MWh este es el precio final de facturación en función de la energía que incluyen los cargos de energía, peajes, LEER, FISE, cargos por potencia, mantenimiento y otros.

**Tabla 4. 8 Línea base 2019**

<b>Año base</b>	<b>Energía (MWh/año)</b>	<b>Costo USD/año</b>
<b>2019</b>	1,369	110,889

Fuente: Elaboración propia

#### **4.6.8 Línea base de consumo supuesto.**

En el supuesto que el sistema de compensación actual cumpla con su tiempo de vida total, por tanto, ya no inyectaría energía reactiva capacitiva a la red.

Entonces ENEL en su facturación añadirá al CLUB la multa por el consumo de energía reactiva.

#### **Cálculo de la Energía reactiva anual supuesta**

La tabla Excel de la figura 18 descargada del Software Power View proporciona datos cada 5 min por lo cual realizamos la suma de las energías por cada hora.

En la tabla siguiente se muestra una porción de datos de consumo por cada hora desde el 14/07/19 al 23/07/19.



**Tabla 4. 9 Datos de consumo cada hora**

Dia	Hora	Energía	
		Energía activa (KWh)	Energía reactiva inductiva (kVArh)
<b>Martes</b>	17	197.30	183.13
<b>Martes</b>	18	237.06	221.44
<b>Martes</b>	19	239.29	225.06
<b>Martes</b>	20	231.55	217.67
<b>Martes</b>	21	206.31	191.87
<b>Martes</b>	22	167.01	157.20
<b>Martes</b>	23	118.64	113.03
<b>Miércoles</b>	0	97.61	94.07
<b>Miércoles</b>	1	88.50	84.52
<b>Miércoles</b>	2	81.42	77.76
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
<b>Lunes</b>	13	216.09	114.56
<b>Lunes</b>	14	213.07	112.62
<b>Lunes</b>	15	202.36	103.47

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener la data por hora, es mucho más sencillo obtener el consumo por día.

$$\sum_0^{23} \text{Energía} = \text{Consumo día} \quad (4. 2)$$

En el caso del martes y el lunes no se completó el registro de un día completo por lo que la suma solo será en el intervalo de tiempo obtenido.

$$\sum_{17}^{23} \text{Energía martes (17/07)} = \text{Consumo día}$$

$$\sum_0^{15} \text{Energía lunes (23/07)} = \text{Consumo día}$$

Es así como se obtiene el siguiente cuadro el consumo por día en un total de 143 horas. Como se quiere saber el consumo de un año de 365 día las 24 horas; es decir, el consumo de 8736 horas.

Se procede realizando un aspa simple, proporcionando la ecuación

$$\text{Energía de un año} = \frac{\text{Energía de un periodo}}{\text{periodo (horas)}} * 8736 \text{ horas} \quad (4.3)$$

**Tabla 4. 10 Consumo por día**

Fecha	Día	Horas	Energía activa (KWh)	Energía reactiva inductiva (kVArh)
17/07/2019	Martes	7	1,397.15	1,309.41
18/07/2019	Miércoles	24	3,594.65	3,364.11
19/07/2019	Jueves	24	3,740.40	2,826.11
20/07/2019	Viernes	24	3,923.72	2,084.48
21/07/2019	Sábado	24	3,389.52	1,842.71
22/07/2019	Domingo	24	3,869.16	2,000.06
23/07/2019	Lunes	16	2,384.35	1,251.17
<b>Total</b>		<b>143</b>	<b>22,298.95</b>	<b>4,678.05</b>

Fuente: Elaboración propia

Este dato de energía reactiva inductiva se puede interpretar como el consumo qque obtiene de la red en el supuesto que el sistema de compensación no entre en funcionamiento.

Entonces ENEL estaría penalizando al club por el exceso de consumo establecido por OSINERMINING.

La energía reactiva en exceso o energía reactiva factura se calcula de la siguiente manera.

$$KVArh \text{ exceso} = Er \text{ consumido} - 30\% \text{ Energía activa} \quad (4.4)$$

$$KVArh \text{ exceso} = 912.80 - 30\%1,369$$

$$KVArh \text{ exceso} = 502.16$$

El CER o cargo por energía reactiva que ENEL establece para el club es de:

$$CER= 44 \text{ S./MVAR.h}$$

$$CER=13 \text{ USD/MVAR.h}$$

El costo anual por el consumo excesivo de energía reactiva o penalización por exceso de energía anual es:

$$\text{Costo KVARh exceso} = \text{KVARh exceso} \times \text{CER} \quad (4.5)$$

$$\text{Costo KVARh exceso} = 502.16 \text{ MVARh} \times 13 \text{ USD/MVARh}$$

$$\text{Costo KVARh exceso} = 6,697 \text{ USD}$$

#### **4.6.9 Oportunidad de mejora**

Aquí la etapa 6 identificación de oportunidades de mejora en eficiencia energética, en esta etapa se determina la solución adecuada.

El sistema compensación del club Regatas actualmente no funciona de la manera adecuada, además de ser un equipo antiguo con más de 10 años de vida. Por lo que se vio que no todos los condensadores están funcionando y requiere un redimensionamiento para evitar penalidades por ENEL ante el supuesto que el sistema de compensación se vea inhabilitado.

#### **4.6.10 Cálculo de la capacidad del Sistema de Compensación**

El valor necesario del sistema de compensación se dará en kVAr (kilo voltamperios reactivos) y el valor del voltaje con el que trabajará el sistema de gestión se definirá con voltaje de la salida de la barra principal secundaria.

Para dimensionar adecuadamente el valor del kVAr del sistema que en adelante llamaremos "Q<sub>BC</sub>" por razones prácticas; se deben tener algunos puntos claros:

- ✓ Dimensionar el Q<sub>BC</sub> adecuado con tal de evitar cobros por consumo de energía reactiva en la factura eléctrica. Para ello el kVAr dimensionado debe ser mayor o igual a la diferencia de la potencia reactiva inductiva registra por el analizador de redes y el 30% de la potencia activa o el Q facturado como la llamamos en la figura 12 es la potencia reactiva inductiva que se

factura y se emite un cobro por dicho consumo tal como se especifica en OSINERMIN. (OSINERG, 2001) según la siguiente fórmula.

$$Q_{facturado} = Q_{reg} - 30\%P_{reg} \quad (4.6)$$

Por lo que se sugiere que la siguiente ecuación sea una condición de dimensionamiento.

$$Q_{BC} \geq Q_{reg} - 30\%P_{reg} \quad (4.7)$$

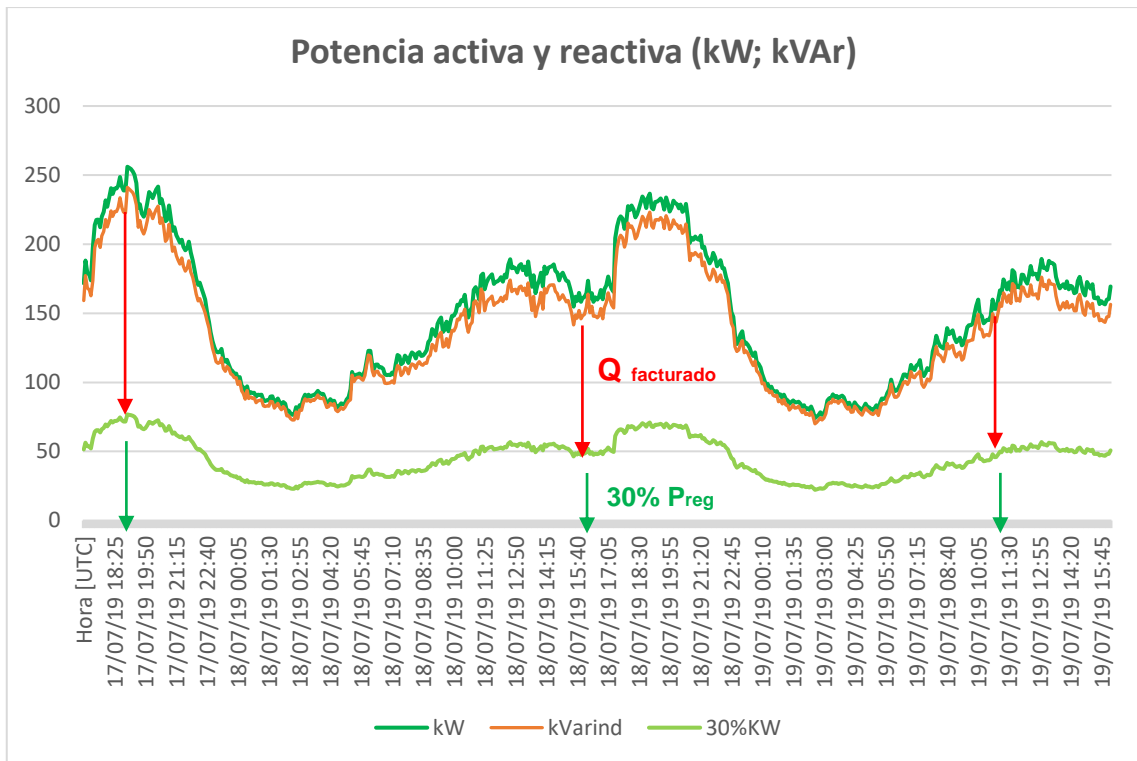
Donde:

$Q_{BC}$ : Potencia del Sistema de Compensación de Energía reactiva (kVAr).

$Q_{reg}$ : Potencia reactiva registrada por el analizador de redes (kVAr).

$P_{reg}$ : Potencia reactiva registrada por el analizador de redes (kW).

Gráfico 4: Representación del kVAr mínimo.



Fuente: Elaboración propia obtenida de data del Analizador de Redes.

- ✓ Dimensionar el  $Q_{BC}$  de manera que se pueda alcanzar a un factor de potencia óptimo. OSINERMIN en una resolución menciona que el FP para

evitar penalizaciones debería estar en 0.95 (OSINERMINING, 2017) no obstante otros autores recomiendan que el factor de potencia ideal debería estar entre 0.90 a 0.99.

$$FP = \text{Cos}(\text{Arctg}\left(\frac{Q}{P}\right)) \quad (4.8)$$

Entonces para el caso del Factor de potencia ideal se tiene:

$$FP_i = \text{Cos}[\text{Arctg}((Q_{reg} - Q_{BC})/P_{reg})] \quad (4.9)$$

Donde:

FP i= Factor de potencia ideal o Cos (φ) ideal

Gráfico 5: Representación del Cos (φ) ideal y registrado



Fuente: Elaboración propia obtenida de data del Analizador de Redes

### Parámetros para el dimensionamiento

Para el dimensionamiento del sistema de compensación de Energía Reactiva, se debe tomar la data del analizador de redes, el cual ya se había procesado en la tabla 4.8. Estos parámetros permitirán seleccionar la capacidad adecuada del sistema y corregir el factor de potencia.

Tomaremos solo los máximos valores como se muestra en el siguiente cuadro, además de establecer un FP ideal para compensar.

**Tabla 4. 11 Parámetros para capacidad del sistema de compensación**

Valores	Preg (kW)	30%Preg(kW)	Qreg (kVAr)	FPreg
<b>Máximo</b>	256.05	76.82	241.13	0.728
<b>Mínimo</b>	74.04	22.21	70.02	0.727

Fuente: Elaboración propia obtenida de data del Analizador de Redes.

### **Dimensionamiento de la capacidad del sistema de compensación**

El dimensionamiento del sistema de compensación de energía reactiva se realizará bajo las siguientes condiciones.

**Condición 1:** la capacidad del QBC debe ser mayor igual a los siguientes valores resultados.

**Condición 2:** la capacidad del QBC deberá ser compensado de acuerdo con el FP ideal el cual debe estar dentro de los valores 0.9 a 1, el valor ideal del FP por la condición anterior debe ser mayor o igual a 0.958; podríamos elegir un FP de 0.958, 0.96, 0.97, 0.98, 0.99 debido a que se encuentran en el rango de 0.9 a 1 a medida que el FP de potencia se acerque a 1, se tendrá un mejor FP, por tanto un mejor beneficio respecto a calidad de energía por los conductores eléctricos, pero este incremento de FP aumentará proporcional al QBC, por lo que los costos se verán incrementados.

El dimensionamiento del sistema de compensación se adecuada a la siguiente expresión:

$$Q_{BC} = P[\text{tg}(j)_{reg} - \text{tg}(j)_{ideal}] \quad (4. 10)$$

Donde:

$$\tan(j) = \text{Tg}(\arccos(j)) \quad (4. 11)$$

Y debe cumplir lo siguiente:

$$Q_{BCmin} \leq Q_{BC} < Q_{BCmax} \quad (4. 12)$$

#### 4.6.11 Dimensionamiento de los componentes principales

El dimensionamiento de los componentes principales se realizará con las siguientes consideraciones:

- Elección del Regulador de Factor de Potencia
- Dimensionamiento del transformador de corriente
- Selección de los condensadores
- Selección de los interruptores
- Dimensionamiento del cableado del sistema
- Análisis técnico económico

#### 4.6.12 Consideración elección del Regulador de Factor de Potencia

Los reguladores existentes en el mercado para baja tensión tienen dos características principales:

- La cantidad de pasos pueden ser 6 o 12, este número es un indicar de la cantidad de condensadores en serie que pueden configurarse al regulador.
- Nomenclatura de configuración es característica propia de los reguladores de factor de potencia.

Las marcas de ABB y Schneider tiene la siguiente configuración automática

**Tabla 4. 12 Nomenclatura de configuración del regulador**

Marca	Marca	Nomenclatura de configuración típica			
		Conf. N°1	Conf. N°2	Conf. N°3	Conf. N°4
SCHNE	ABB	1	2	3	3
SCHNE	ABB	1	4	8	8
SCHNE	ABB	1	1	2	3
SCHNE	ABB	1	2	3	6

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo; los reguladores de factor de potencia pueden configurarse con distinta nomenclatura de forma manual ya sea: [1,1,1,1]; [1,2,2,2]; entre otros.

Es de observarse de la tabla 4.12 que solo existe 4 configuraciones ya sea para un regulador de 6 o 12 pasos, por lo que los 4 cuatro pasos primeros son

múltiplos respectivos con cada configuración; los otros siguientes pasos serán múltiplos de la configuración número 4.

Deduciendo la siguiente formula:

Para los 4 primeros pasos: Si  $j \leq 1 ; 4 \geq$

$$kVAr\ i = kVAR_0 \times i \quad (4.13)$$

Para los siguientes pasos: Si  $i < 4; 12 \geq$

$$kVAr\ i = kVAR_4 \quad (4.14)$$

La capacidad del sistema de compensación es la suma de todos los pasos.

$$kVAr\ compensar = \sum_{i=1}^{i \leq 12 \text{ ó } 6} (kVAr\ i) \quad (4.15)$$

Donde:

$kVAR_0$  : Capacidad del primer capacitor (paso 1)

i: Número del paso

$kVAr\ i$  : Capacitor ubicado de paso i.

$kVAr\ compensar$ : Capacidad de los condensadores que entran a compensar el sistema eléctrico.

#### **4.6.13 Consideración dimensionamiento del transformador de corriente**

De la tesis Diseño y construcción de un tablero control automático para la corrección del factor de potencia, empleando un módulo DCRA podemos,

$$I_{tc} = \frac{S}{\sqrt{3}xV} \quad (4.16)$$

Donde:

$I_{tc}$ : Corriente de dimensionamiento del transformador.

#### **4.6.14 Consideración selección de los condensadores**

De la data obtenida del analizador se realizará cálculos por cada lectura y el QBC se calculará según la ecuación 4.10 para luego realizar el filtrado de la data. De tal forma, que muestre los valores mínimos a compensar para asegurar adecuadamente la compensación por cada valor.



La dimensión de cada capacitor está en función de la configuración del regulador de factor de potencia, logrando hacer ingresar en orden los condensadores según la potencia reactiva que requieran las cargas.

La capacidad del condensador es múltiplo del primer capacitor por el número de configuración del regulador.

La suma de todos los condensadores se llama “**Banco de condensadores**”.

Por tanto, esta es la capacidad de QBC es 189 kVAr.

Se realizarán los cálculos de las capacidades iniciales para el primer paso ( $kVAR_0$ ). Tomando de referencia el fabricante SCHNEIDER. Cuyas capacidades que tiene a la venta para voltajes de 230 V son de 4.6 kVAr, 6.9 kVAr, 9.2 kVAr, 11.9 kVAr, 14.4 kVAr.

Figura 20. Modelo de condensador a 230 V



Fuente: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2017)

#### **Cálculo de la corriente capacitiva.**

$$I_c = \frac{Q \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \quad (4.17)$$

Donde:

$I_c$ : Corriente capacitiva en amperios (A)

$Q$ : Potencia reactiva del condensador (kVAr)

$V$ : El voltaje de trabajo en voltios (V)

#### **4.6.15 Consideración selección de los contactores para condensadores**

Los contactores elegidos deben ser específicamente diseñados para el mando de condensadores, debe proteger al banco de condensadores de las corrientes transitorias y de las frecuencias elevadas al momento del encendido.

Su elección es de acuerdo con la capacidad del condensador (kVAr) por cada paso y el nivel del voltaje, el contactor debe cubrir la capacidad de kVAr por cada paso.

#### **4.6.16 Consideración selección de los interruptores**

##### **Selección de los interruptores para los condensadores**

Los interruptores están colocados entre la fuente y los contactores, cuyo dimensionamiento no debe ser menor que el 135% de la corriente nominal del condensador y no exceder el 250% de la corriente nominal del condensador. (Dirección General de Electricidad MINEM, 2006)

$$1.35I_c < I_n \text{ interruptor} < 2.5 I_c \quad (4. 18)$$

Donde:

In: Corriente nominal del interruptor.

Luego se elige de acuerdo con las capacidades del fabricante el interruptor que más se aproxime al rango.

##### **Selección del interruptor principal fuente**

El interruptor fuente es un interruptor termomagnético que funciona como un dispositivo de conexión y desconexión.

La selección del interruptor fuente debe considerar datos del fabricante que indiquen que deben ser operados para cargas capacitivas. Por lo que su corriente nominal debe ser mayor al 135% de la corriente nominal de los condensadores. (Dirección General de Electricidad MINEM, 2006)

$$I_n \text{ interruptor fuente} > \sum_{i=1}^{i=12} I_{ci} - I_{ci \text{ max}} + 1.35 \times I_{ci \text{ max}} \quad (4.19)$$

#### 4.6.17 Consideración dimensionamiento del cableado del sistema

Para el dimensionamiento del calibre del conductor se realizará en función de la corriente y selección según el CNE. (Dirección General de Electricidad MINEM, 2006)

Figura 21. Cuadro de selección de cables unipolares.

**Capacidad de corriente en A de conductores aislados unipolares – Al aire libre  
Alternativa para calibres AWG (\*)**

Basada en temperatura ambiente del Aire de 30 °C

AWG	Sección [mm <sup>2</sup> ]	TW, TWF	THW, THHW, THHWF, XHHW	THWN-2, XHHW-2
		Temperatura		
		60 °C	75 °C	90 °C
16	1,31	-	-	24
14	2,08	25	30	35
12	3,31	30	25	40
10	5,26	40	50	55
8	8,37	60	70	80
6	13,30	80	95	105
4	21,15	105	125	140

Fuente: Código Nacional de Electricidad

Figura 22. Capacidad de corriente en conductores

**Capacidad de corriente en A de conductores aislados – Al aire libre**

Basada en temperatura ambiente: 30 °C al aire y 20 °C en tierra

Sección nominal del conductor [mm <sup>2</sup> ]	Cables unipolares									
	Método de instalación de acuerdo a la NTP 370.301 (IEC 60364-5-523)						Conductores con aislamiento mineral a 85 °C y conductores con aislamiento a temperaturas mayores a 90 °C			
	Tres conductores de carga, en un plano									
	Al contacto	Espaciado								
Horizontal		Vertical								
	Método F		Método G		Método G					
Aislamiento /Tipo	PVC	XLPE o EPR	PVC	XLPE o EPR	PVC	XLPE o EPR	Aislamiento mineral MI	AI AIA	A, AA FEP, FEPB	TFE *
Temperatura	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C	85 °C	125 °C	200 °C	250 °C
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1,5	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-
2,5	-	-	-	-	-	-	34	43	498	67
4	-	-	-	-	-	-	46	57	63	93
6	-	-	-	-	-	-	60	75	80	120
10	-	-	-	-	-	-	83	105	115	170
16	-	-	-	-	-	-	115	140	150	235
25	114	141	146	182	130	161	150	185	200	320
35	143	176	181	226	162	201	185	230	250	400
50	174	216	219	275	197	246	230	290	310	500
70	225	279	281	353	254	318	290	360	390	625
95	275	342	341	430	311	389	355	435	470	770
120	321	400	396	500	362	454	405	500	545	905
150	372	464	456	577	419	527	480	590	-	-
185	427	533	521	661	480	605	540	655	-	-
240	507	634	615	781	569	719	635	785	-	-
300	587	736	709	902	659	833	740	910	-	-
400	689	868	852	1085	795	1008	880	1090	-	-
500	789	998	982	1253	920	1169	1000	1235	-	-
630	905	1151	1138	1454	1070	1362	-	-	-	-

\* Solamente Níquel y Níquel con recubrimiento de Cobre.

Fuente: Código Nacional de Electricidad

Figura 23. Cuadro de selección de barras de cobre

INTENSIDAD ADMISIBLE. DIN 43671																									
Temperatura ambiente 35°C • Temperatura final barras 65°C • Conductividad 56 M/Ωmm2(ρ= 0,0178Ωmm2/m)																									
Ancho x Espesor	Corriente alterna hasta 60 Hz								Corriente continua y alterna 16 2/3 Hz								CARACTERISTICAS ESTATICAS								
	Pintado				Brillante				Pintado				Brillante												
	Número de Barras		Número de Barras		Número de Barras		Número de Barras		Número de Barras		Número de Barras		Número de Barras												
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	Jx cm²	Wx cm²	Ix cm	Jy cm²	Wy cm²	ly cm
12 x 2	123	202	228		108	182	216		123	202	233		108	182	220		0,0288	0,0480	0,346	0,000800	0,00800	0,0577			
15 x 2	148	240	261		128	212	247		148	240	267		128	212	252		0,0563	0,0750	0,433	0,00100	0,0100	0,0577			
15 x 3	187	316	381		162	282	361		187	316	387		162	282	365		0,0844	0,113		0,00338	0,0225	0,0866			
20 x 2	189	302	313		162	264	298		189	302	321		162	266	303		0,133	0,133		0,00133	0,0133	0,0577			
20 x 3	237	394	454		204	348	431		237	394	463		204	348	437		0,200	0,200	0,577	0,00450	0,0300	0,0866			
20 x 5	319	560	728		274	500	690		320	562	729		274	502	687		0,333	0,333		0,02080	0,0833	0,1440			
20 x 10	497	924	1320		427	825	1180		499	932	1300		428	832	1210		0,667	0,667		0,16700	0,3330	0,2890			
25 x 3	287	470	525		245	412	498		287	470	536		245	414	506		0,391	0,313	0,722	0,00563	0,0375	0,0866			
25 x 5	384	662	869		327	586	795		384	664	841		327	590	794		0,651	0,521		0,02600	0,1040	0,1440			
30 x 3	337	544	593		285	476	564		337	546	608		286	478	575		0,675	0,450		0,00675	0,0450	0,0866			
30 x 5	447	760	944		379	672	896		448	766	950		380	676	897		1,130	0,750	0,866	0,03130	0,1250	0,1440			
30 x 10	676	1200	1670		573	1060	1480		683	1230	1630		579	1080	1520		2,250	1,500		0,25000	0,5000	0,2890			
40 x 3	435	692	725		366	600	690		436	696	748		367	604	708		1,60	0,800		0,00900	0,0600	0,0866			
40 x 5	573	952	1140		482	836	1090		576	966	1160		484	848	1100		2,67	1,330	1,15	0,04170	0,1670	0,1440			
40 x 10	850	1470	2000	2580	715	1290	1770	2280	865	1530	2000		728	1350	1880		5,33	2,670		0,33300	0,6670	0,2890			
50 x 5	697	1140	1330	2010	583	994	1260	1920	703	1170	1370		588	1020	1300		5,21	2,08	1,44	0,0521	0,208	0,144			
50 x 10	1020	1720	2320	2950	852	1510	2040	2600	1050	1830	2360		875	1610	2220		10,40	4,17		0,4170	0,833	0,289			
60 x 5	826	1330	1510	2310	688	1150	1440	2210	836	1370	1580	2060	696	1190	1500	1970	9,00	3,00	1,73	0,0625	0,250	0,144			
60 x 10	1180	1960	2610	3290	985	1720	2300	2900	1230	2130	2720	3580	1020	1870	2570	3390	18,00	6,00		0,5000	1,000	0,289			
80 x 5	1070	1680	1830	2830	885	1450	1750	2720	1090	1770	1990	2570	902	1530	1890	2460	21,30	5,33	2,31	0,0833	0,333	0,144			
80 x 10	1500	2410	3170	3930	1240	2110	2790	3450	1590	2730	3420	4490	1310	2380	3240	4280	42,70	10,70		0,6670	1,330	0,289			
100 x 5	1300	2010	2150	3300	1080	1730	2050	3190	1340	2160	2380	3080	1110	1810	2270	2960	41,70	8,33	2,89	0,1040	0,417	0,144			
100 x 10	1810	2850	3720	4530	1490	2480	3260	3980	1940	3310	4100	5310	1600	2890	3900	5150	83,30	16,70		0,8330	1,670	0,289			
120 x 10	2110	3280	4270	5130	1740	2860	3740	4500	2300	3900	4780	6260	1890	3390	4560	6010	144,00	24,00	3,46	1,0000	2,000				
160 x 10	2700	4130	5360	6320	2220	3590	4680	5530	3010	5060	6130	8010	2470	4400	5860	7110	341,00	42,70	4,62	1,3300	2,670	0,2890			
200 x 10	3290	4970	6430	7490	2690	4310	5610	6540	3720	6220	7460	9730	3040	5390	7150	9390	667,00	66,70	5,77	1,6700	3,330				

En el caso de varias barras en paralelo, la distancia entre las barras se toma igual al espesor. Para corriente alterna la distancia neta entre las fases se toma > 0,8 la distancia entre ejes de fases.

Fuente: Proveedor de cables eléctricos INDECO

### Cable del conductor principal de baja tensión al interruptor fuente

El interruptor debe proteger al cable por lo que la selección del calibre del conductor será

$$\frac{1}{3} * I_{total} < I_{n interruptor fuente} < I_{n cable} \quad (4. 20)$$

### Cable del interruptor de protección del condensador.

$$I_{n interruptor para el condensador} < I_{n cable} \quad (4. 21)$$

### **Cable del condensador al contactor.**

$$1.35 \times I_{ci} < I_n \text{ cable} \quad (4. 22)$$

### **Dimensionamiento del transformador de corriente (TC)**

El dimensionamiento del transformador de corriente estará en función del consumo de potencia aparente máxima del sistema eléctrico, este parámetro se determina de la data registra de la data del analizador de redes.

El sistema eléctrico del Club Regatas consta de un transformador de 500 kVA 10kV/0.23kV, sin embargo; el consumo real del Club se mostrará en la data registra del analizador de redes.

$$I_k = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (4. 23)$$

Donde:

$I_k$ : capacidad de corriente del transformador de corriente

Por tanto, el dimensionamiento del sistema de compensación se seleccionará en función de la relación de " $I_k/5$ ".

Donde 5 es el nivel de la transformación desde el  $I_k$  a 5 A que es la corriente que recibe el Regulador de Factor de potencia.

#### **4.6.18 Consideración de análisis técnico económico**

El análisis del técnico económico se realizar para saber la viabilidad del proyecto, los términos de inversión, ahorros económicos nos darán resultados del tiempo de retorno de recuperación de la inversión.

La forma más simple para obtener el TIR (Tiempo de retorno de la inversión) también conocido como PAYBACK indica cuanto es el tiempo en el que se recupera el dinero invertido con el ahorro que se obtiene por la implementación del proyecto.

$$PAYBACK = \frac{\text{Inversión(USD)}}{\text{ahorros (USD)}} \quad (4. 24)$$

## V RESULTADOS

### 5.1 Resultados Descriptivos

#### 5.1.1 Cargos por facturación eléctrica

Los cargos obtenidos de la facturación eléctrica se muestran a continuación en la tabla.

**Tabla 5. 1 Característica del energético**

Cargo de Energía	Unidad	Precio
Cargo por Energía React. Ind. (CER)	USD/ MVARh	13
Precio monómico de energía	USD / MVARh	37
Precio final de energía	USD / MWh	81

Fuente: Elaboración propia obtenida de la factura eléctrica feb 19

El precio monomico es el precio por todos los cargos que involucran energía como el precio de energía, los peajes, el FISE; LEER.

#### 5.1.2 Línea base supuesta sin existencia del sistema de compensación

De la ecuación (4.3) y el registro de los parámetros eléctricos durante 143 horas, se puede obtener el consumo anual. Solo reemplazando los valores en la ecuación, así como se muestra a continuación.

$$\text{Energía activa (KWh)} = \frac{22,298.95}{143} * 8736 \text{ horas}$$

$$\text{Energía activa (KWh)} = 1,362,263.35$$

$$\text{Energía reactiva(KVArh)} = \frac{4,678.05kVAr}{143 h} * 8736 \text{ horas/año}$$

$$\text{Energía reactiva (KVArh)} = 896,695.33 \text{ kVAr/año}$$

No obstante, estos valores deberían ser lo más reales a la factura eléctrica y como ya se tiene el consumo energético anual de la tabla 4.10. En base a ese

valor hacemos la regla de tres simple para obtener el consumo de energía reactiva más cercana.

**Tabla 5. 2 Calculo de la energía reactiva anual**

Dia	Horas	Energía activa (MWh)	Energía reactiva inductiva (MVARh)
Total, registrado	143	22.299	14.678
Línea base (Obtenida de la facturación)	8736	1,369	Er consumido

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la regla de tres simple es posible hallar el valor de la energía reactiva inductiva.

$$Er\ consumido = \frac{1,369}{22.299} * 14.868$$

$$Er\ consumido = 912.80\ MVARh/año$$

Por tanto, la línea base supuesta se resume en:

La línea base supuesta que se estable solo si el banco no entra en funcionamiento.

**Tabla 5. 3 Línea base supuesta**

Descripción	Consumo	Energía reactiva inductiva
<b>Consumo anual de energía</b>	1,369 MWh	912.80 MVARh
<b>Facturación anual (USD)</b>	110,889	11,866

Fuente: Elaboración propia

Con esta nueva línea supuesta se tiene una facturación de 122,765 USD que es la facturación de los consumos sin facturar energía reactiva inductiva y el consumo de energía reactiva inductiva.



### 5.1.3 Dimensionamiento de la capacidad del sistema de compensación

**Condición 1:** Para evitar la penalización en la facturación:

La capacidad del sistema de compensación como máximo debe ser:

$$Q_{BC \max} \geq 241.13 - 30\% \times 76.82$$

$$Q_{BC \max} \geq 164.31$$

$$FP_{\max} \geq \cos\left(\arctg\left(\frac{214.13 - 164.31}{76.82}\right)\right)$$

$$FP \geq 0.958$$

La capacidad del sistema de compensación como mínimo debe ser:

$$Q_{BC \min} \geq 74.04 - 30\% \times 22.21$$

$$Q_{BC \min} \geq 47.81$$

$$FP_{\min} \geq \cos\left(\arctg\left(\frac{74.04 - 47.81}{22.21}\right)\right)$$

$$FP \geq 0.958$$

**Condición 2: De acuerdo con el factor ideal**

Para un:

$$FP = 0.9 \text{ se tiene un } Q_{BC \min}$$

$$FP = 1 \text{ se tiene un } Q_{BC \min}$$

Los valores del sistema de compensación deben estar dentro de los valores que se muestra en el siguiente cuadro.

**Tabla 5. 4 Condiciones para el dimensionamiento**

Valores	REGISTRO	CONDICIÓN 1		CONDICIÓN 2	
	Qreg (kVAr)	QBC ≥ (kVAr)	FP ≥	QBC min a FP=0.9	QBC max a FP=1
<b>Máximo</b>	241.13	164.31	0.958	117	241
<b>Mínimo</b>	70.02	47.81	0.958	34	70

Fuente: Elaboración propia

### **Capacidad del sistema de compensación de energía reactiva.**

La capacidad del sistema de compensación debe compensar el consumo máximo que requieren las cargas del sistema eléctrico al factor de potencia ideal  $FP= 0.98$  elegido por el Club Regatas.

Entonces;

La tangente registrada en el consumo máximo es:

$$\tan(j)_{\text{máx reg}} = Tg(\arccos(0.728))$$

$$\tan(j)_{\text{máx reg}} = 0.942$$

La tangente ideal a un  $FP=0.98$

$$\tan(j)_{\text{ideal}} = Tg(\arccos(0.98))$$

$$\tan(j)_{\text{ideal}} = 0.2$$

Por lo que la capacidad máxima a compensar es:

$$Q_{BC} = P[0.942 - 0.2]$$

$$Q_{BC} = 189 \text{ kVAr}$$

El valor del QBC debe asegurar que la instalación mantenga un valor adecuado de factor de potencia en el punto máximo de consumo de potencia reactiva inductiva, además; que su valor sea mayor igual a la condición 1 y menor a la condición 2 cuando el FP es 1.

$$169.31 \text{ kVAr} \leq 189 < 241 \text{ kVAr} \text{ (Si CUMPLE).}$$

Por tanto, se dimensionará un Sistema de Compensación de Energía Reactiva Capacitiva de 189 kVAr.

#### **5.1.4 Dimensionamiento de los componentes del sistema**

Para el dimensionamiento de los componentes principales del sistema de compensación se seleccionan con las consideraciones mencionadas en el capítulo 4.

#### **5.1.5 Selección de los condensadores**

Se resuelve en el siguiente cuadro el QBC a compensar y se eligen los mínimos.

**Tabla 5. 5 Dimensionamiento de QBC en la data del analizador de redes**

Hora [UTC]	kWreg	kVarind reg	30%KW	Angulo	FPreg	Tg reg	QBC
18/07/19 02:35	77.48	73.81	23.24	0.76	0.72	0.95	58.07
18/07/19 02:40	76.48	72.73	22.94	0.76	0.72	0.95	57.20
18/07/19 02:45	76.78	72.72	23.03	0.76	0.73	0.95	57.13
18/07/19 02:50	82.08	78.59	24.62	0.76	0.72	0.96	61.92
18/07/19 02:55	77.54	73.63	23.26	0.76	0.73	0.95	57.89
18/07/19 03:00	83.53	80.03	25.06	0.76	0.72	0.96	63.07
18/07/19 03:05	83.43	79.85	25.03	0.76	0.72	0.96	62.91
18/07/19 04:05	91.46	88.88	27.44	0.77	0.72	0.97	70.31
18/07/19 04:40	83.18	79.95	24.95	0.77	0.72	0.96	63.06
18/07/19 04:45	82.14	78.83	24.64	0.76	0.72	0.96	62.15
18/07/19 04:50	83.42	80.25	25.03	0.77	0.72	0.96	63.31
18/07/19 05:40	105.74	103.53	31.72	0.77	0.71	0.98	82.06
18/07/19 05:45	106.33	103.94	31.90	0.77	0.72	0.98	82.35
18/07/19 05:50	105.32	102.46	31.60	0.77	0.72	0.97	81.07
18/07/19 05:55	105.02	101.49	31.51	0.77	0.72	0.97	80.16
18/07/19 06:45	110.90	104.59	33.27	0.76	0.73	0.94	82.07
18/07/19 08:30	121.79	114.84	36.54	0.76	0.73	0.94	90.11
18/07/19 23:45	121.36	115.01	36.41	0.76	0.73	0.95	90.36
18/07/19 23:55	121.75	115.31	36.53	0.76	0.73	0.95	90.59
19/07/19 00:50	93.45	89.93	28.04	0.77	0.72	0.96	70.95
19/07/19 00:55	93.75	90.65	28.13	0.77	0.72	0.97	71.61
19/07/19 02:00	84.54	80.42	25.36	0.76	0.72	0.95	63.25
19/07/19 02:05	82.18	78.20	24.65	0.76	0.72	0.95	61.51
19/07/19 02:15	80.29	76.79	24.09	0.76	0.72	0.96	60.49
19/07/19 02:20	81.42	77.50	24.43	0.76	0.72	0.95	60.96
19/07/19 02:25	80.03	76.02	24.01	0.76	0.73	0.95	59.77
19/07/19 02:30	82.47	78.59	24.74	0.76	0.72	0.95	61.84
19/07/19 02:35	78.94	75.33	23.68	0.76	0.72	0.95	59.30
19/07/19 02:40	74.04	70.02	22.21	0.76	0.73	0.95	54.99
19/07/19 02:45	75.17	71.03	22.55	0.76	0.73	0.94	55.77
19/07/19 02:50	76.33	72.46	22.90	0.76	0.73	0.95	56.96
19/07/19 02:55	78.23	74.50	23.47	0.76	0.72	0.95	58.62
19/07/19 03:00	76.48	72.75	22.94	0.76	0.72	0.95	57.22
19/07/19 03:05	77.51	74.18	23.25	0.76	0.72	0.96	58.44
19/07/19 03:10	81.08	77.35	24.32	0.76	0.72	0.95	60.88
19/07/19 04:50	79.88	76.23	23.96	0.76	0.72	0.95	60.01
19/07/19 05:10	81.84	78.52	24.55	0.76	0.72	0.96	61.90
19/07/19 05:15	80.75	77.34	24.23	0.76	0.72	0.96	60.95
19/07/19 05:20	79.90	76.80	23.97	0.77	0.72	0.96	60.58
19/07/19 05:35	80.32	75.92	24.10	0.76	0.73	0.95	59.61
19/07/19 07:30	116.07	108.02	34.82	0.75	0.73	0.93	84.45

Fuente: Elaboración propia

El valor mínimo que debemos compensar con mínimo 54.99 kVAr a un voltaje de 230V y como máximo 189 kVAr.

Otros pasos para compensar están entre los valores de 55kVAr, 57kVAr, 62kVar, 84kVAr, 90kVAr, 115kVAr, 120kVAr, 160kVAr, 170kVAr, 189kVAr.

La elección del capacitor inicial debe al menos acercarse a los pasos a compensar mínimos y máximos, cumpliendo con la multiplicidad de la configuración del regulador como muestran las ecuaciones 4.12, 4.13 y 4.14.

Con la configuración [1,1,1,1] con un  $kVAR_0 = kVAR_1 = 19$

$$kVAR_1 = kVAR_1 = 19 \times 1 = 19$$

$$kVAR_3 = kVAR_4 = 19 \times 1 = 19$$

$$kVAR_4 = kVAR_5 = kVAR_6 = kVAR_7 = kVAR_8 = kVAR_9 = 19$$

Por lo que, con esta configuración a modo de ejemplo, 3 pasos compensaran es:

$$kVar \text{ compensar} = \sum_{i=1}^{i=3} (kVAR_1 + kVAR_2 + kVAR_3)$$

$$kVar \text{ compensar} = 19 + 19 + 19 = \mathbf{57 \text{ kVAr}}$$

Luego la potencia máxima que compensará con 10 pasos es:

$$kVar \text{ compensar} = 19 * 10$$

$$kVar \text{ compensar} = \mathbf{190 \text{ kVAr}}$$

De la misma forma se obtienen valores para capacidades que se muestra en el siguiente cuadro y su elección se dependerá del mínimo paso que se quiere compensar es 54.99 kVAr saltando escalones de 4kvar, 7 kvar, 10kVAr, 20kVAr.

**Tabla 5. 6 Dimensionamiento de los pasos del sistema.**

REGULADOR DE FACTOR DE POTENCIA				$kVAR_0$	PASOS DEL SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA (kVar)								TOTAL				
Configuración				Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10	Paso 11	Paso 12	QBC (KVAR)	
1	2	2	2	9.2	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4		193.2	
kVar compensar				9.2	27.6	46	64.4	82.8	101.2	119.6	138	156.4	174.8	193.2			
1	2	3	3	9.2	18.4	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6					193.2		
kVar compensar				9.2	27.6	55.2	82.8	110.4	138	165.6	193.2						
1	2	4	4	6.9	13.8	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6					186.3		
kVar compensar				6.9	20.7	48.3	75.9	103.5	131.1	158.7	186.3						
1	2	3	3	6.9	13.8	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7			186.3		
kVar compensar				6.9	20.7	41.4	62.1	82.8	103.5	124.2	144.9	165.6	186.3				
1	1	2	2	11.9	11.9	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8				190.4		
kVar compensar				11.9	23.8	47.6	71.4	95.2	119	142.8	166.6	190.4					
1	1	2	3	11.9	11.9	23.8	35.7	35.7	35.7	35.7					190.4		
kVar compensar				11.9	23.8	47.6	83.3	119	154.7	190.4							
1	1	1	1	19	19	19	19	19	19	19	19	19			190		
kVar compensar				19	38	57	76	95	114	133	152	171	190				

Fuente: Elaboración propia

Por tanto; se observa de la tabla anterior las 3 posibilidades de elección se acercan a 54.99 kVar, sin embargo; solo una configuración proporciona escalones cortos por cada paso que entra. En la siguiente tabla se observa que la elección de la configuración [1,1,1,1] con un  $KVA_0 = 19KVAR$  que es la suma del paso 14.4 + 4.6 kVar; se observa que cada escalón entra al siguiente paso con un aumento de 19kVar.

**Tabla 5. 7 Selección del condensador y configuración del regulador**

Configuración				Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10	Paso 11	Paso 12	QBC (KVAR)
1	1	1	1	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19			190
kVAr compensar				19	38	57	76	95	114	133	152	171	190			

+19 +19

Fuente: Elaboración propia

Por tanto; se requerirán 10 condensadores de 14.4kVAr y 10 condensadores de 4.6 kVAr.

### 5.1.6 Selección de los contactores para condensadores

Cantidad de pasos: 10

KVAr por cada paso: 19 kVAr

Nivel de Voltaje: 230 V

Del fabricante SCHNEIDER elegiremos el contactor que más se acerque a los valores establecidos.

Figura 24. Capacidad de contactores SCHNEIDER

Operational power at 50/60 Hz <sup>(1)</sup> θ ≤ 55 °C <sup>(2)</sup>			Instantaneous auxiliary contacts		Tightening torque on cable end	Basic reference, to be completed by adding the voltage code <sup>(3)</sup>	Weight
kVAR	kVAR	kVAR	N/O	N/C	N.m		kg
6.7	12.5	18	1	2	1.7	LC1 DFK**	0.430
8.5	16.7	24	1	2	1.7	LC1 DGK**	0.450
10	20	30	1	2	2.5	LC1 DLK**	0.600
15	25	36	1	2	2.5	LC1 DMK**	0.630
20	33.3	48	1	2	5	LC1 DPK**	1.300
25	40	58	1	2	5	LC1 DTK**	1.300
40	60	92	1	2	9	LC1 DWK12**	1.650

Switching of multiple-step capacitor banks (with equal or different power ratings)

Fuente: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2017)

Por tanto; se requerirán 10 contactores de 20 kVar de voltaje 220V a 240V.

### Cálculo de la corriente capacitiva.

- Corriente capacitiva por condensador.

$$Q=Q1+Q2$$

$$Q=14.4+4.6 =19 \text{ kVAr}$$

Entonces la corriente capacitiva de Q1=4.6 kVAr resulta de la ecuación 12 kVAr.

$$I_{cq1} = \frac{4.6 \times 1000}{\sqrt{3} \times 230} = 12 \text{ A}$$

La corriente capacitiva de 14.4 kVAr resulta de la ecuación 37 kVAr.

$$I_{cq2} = \frac{4.6 \times 1000}{\sqrt{3} \times 230} = 37 \text{ A}$$

- Corriente capacitiva por paso

Dado que los pasos son iguales, entonces el Q= 19 kVAr y el V=230 v

$$I_{ci} = \frac{19 \times 1000}{\sqrt{3} \times 230}$$

$$I_{ci} = 48 \text{ A}$$

- Corriente capacitiva total

Como la configuración de los pasos son iguales la corriente capacitiva que pasará por cada paso será de 48 A y la corriente total capacitiva que pasará por los 10 pasos será la suma de las corrientes

$$I_{ct} = 48 \times 10$$

$$I_{ct} = 480 \text{ A}$$

### 5.1.7 Selección de las protecciones del sistema

#### Selección del interruptor por cada paso

De la ecuación 4.18 la corriente nominal del interruptor a selección debe de estar entre.

$$1.35 \times 48 < I_{\text{interruptor}} < 2 \times 48$$

$$65 \leq I_{\text{interruptor}} \leq 96$$

Del fabricante SCHNEIDER elegimos el interruptor de corriente nominal 80 A:  
*INTERR.TERMO.3X80A 10KA 415V C DIN*

### **Selección del interruptor fuente**

El interruptor elegido deberá ser mayor a 506 A como se resuelve la ecuación.

$$I_{\text{interruptor fuente}} > 1.35 \times 48 + 480 - 48$$

$$I_{\text{interruptor fuente}} > 506$$

Debido a que su capacidad es grande se elegirá un interruptor termomagnético regulable de la marca SCHNEIDER: *INTERR.AUTOMATICO 600 A*

### **5.1.8 Dimensionamiento de los conductores**

#### **Dimensionamiento de los conductores en la línea del paso**

Al ser los pasos iguales, bastará con dimensionar solo para una línea del paso.

- Conductor para entrada del condensador Q1= 4.6 kVAr

$$I_{p1} > 1.35 * 12$$

$$I_{p1} > 16 \text{ A}$$

- Conductor para entrada del condensador Q2= 14.4 kVAr

$$I_{p2} > 1.35 * 37$$

$$I_{p2} > 50 \text{ A}$$

- Conductor de entrada y salida del interruptor de 80 A.

$$I_{\text{cable (interr i)}} \leq 80 \text{ A}$$

- Conductor de entrada y salida del interruptor fuente > 506 A

$$I_{\text{cable (interr fuente)}} \leq 600 \text{ A}$$

De las tablas del CNE podremos determinar el calibre del conductor mediante la capacidad, considerando que los conductores están sometidos a una temperatura máxima de 70 °C.



**Tabla 5. 8 Resumen de las dimensiones de los conductores**

<b>Descripción</b>	<b>Corriente nominal</b>	<b>Tipo de cable</b>	<b>AWG</b>	<b>Sección</b>
Conductor para entrada del condensador Q1	25	THW, THHW, THHWF, XHHW (75°C)	14	1.31 mm <sup>2</sup>
Conductor para entrada del condensador Q2	70	THW, THHW, THHWF, XHHW (75°C)	8	8.37 mm <sup>2</sup>
Conductor de salida del interruptor de 80 A al contactor	70	THW, THHW, THHWF, XHHW (75°C)	8	8.37 mm <sup>2</sup>
Conductor de entrada del interruptor fuente	521	Conductor aislado PVC con espaciado horizontal del método G	-	185 mm <sup>2</sup>
Barra de cu pintado de la salida del interruptor puente	573			5x40

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.9 Dimensionamiento del transformador de corriente

La potencia aparente del sistema es 351.7 kVA a un voltaje de 230 V.

$$Ik > \frac{351.7}{\sqrt{3} \times 230}$$

$$Ik > 883 \text{ A}$$

Por tanto, se elegirá un transformador de barra pasante de 1000/5.

### 5.1.10 Análisis técnico económico

La inversión del Sistema de compensación de 190 kVAr se detalla en el siguiente cuadro.

**Tabla 5. 9 Resumen de las dimensiones de los conductores**

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO S/. UNIDAD	PRECIO S/. TOTAL
<b>CAPEX DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA DE 190 KVAR (10 pasos),220V, TRIFÁSICO</b>			<b>S/. 32,633.08</b>
01 UND.	REGULADOR DE FACTOR DE POT.12 PASOS 230V 144X144MM	S/. 2,650.40	S/. 2,650.40
10 UND.	CONDENSADOR P/POTENCIA TUBULAR 4.6KVAR 230V	S/. 414.73	S/. 4,147.30
10 UND.	CONDENSADOR P/POTENCIA TUBULAR 14.4 KVAR 230 V	S/. 611.18	S/. 6,111.80
01 UND.	INTERR.TERMO.REG.3X252-630A 85/40KVA 220/440V	S/. 2,728.95	S/. 2,728.95
10 UND.	CONTACTOR P/CONDENSAD. 22 KVAR 230/440V	S/. 1,213.09	S/. 12,130.90
01 UND.	INTERR.TERMO.3X80A 230V	S/. 464.43	S/. 464.43
01 UND.	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE NÚCLEO CERRADO 1000/5A DD 0.5 10VA	S/. 229.06	S/. 229.06
15 Mts.	CABLE THW 14 AWG	S/. 1.05	S/. 15.76
18 Mts.	CABLE THW 8 AWG	S/. 3.90	S/. 70.17
08 Mts.	CABLE THW 185MM2	S/. 75.33	S/. 602.61
03 Mts.	BARRA DE COBRE DE 5X40 MM	S/. 66.11	S/. 198.32
01 UND.	BARRAS DE COBRE PARA TIERRA10X60 MM-	S/. 345.78	S/. 345.78
01 UND.	ARMARIO AUTOSOPOORTADO TS8 600X1000X2000 IP55	S/. 2,949.30	S/. 3,644.78

Fuente: Elaboración propia

La inversión total del CAPEX estimada y redondeada es: 32,633.00 soles.

**Tabla 5. 10 Análisis técnico económico**

<b>Análisis técnico – económico del sistema de compensación reactiva 190 kVAr</b>	
Inversión total (USD)	9,626.30
Ahorros anuales de energía reactiva inductiva (MVARh / año)	912.80
Ahorros anuales monetarios (Soles/ año)	11,866
Playback	0.81 años

Fuente: Elaboración propia

En 0.81 años (10 meses) se recupera la inversión del CAPEX de componentes principales del Banco de condensadores.

El ahorro económico es 9.6% con respecto al total de la facturación de los cargos energéticos.

$$\frac{11,866}{110,899} \times 100\% = 9.6\%$$

## 5.2 Resultados Inferenciales

### 5.2.1 Línea base supuesta.

La facturación anual es de 122,765 USD por cargos energéticos y se desglosa en la siguiente tabla.

**Tabla 5. 11 Línea base supuesta**

Descripción	Consumo de Energía activa	Consumo de Energía reactiva inductiva
<b>Consumo anual</b>	1,369 MWh	912.8 MVarh
<b>Facturación anual (USD)</b>	110,889	11,866

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2 Resultados de la campaña de mediciones

**Tabla 5. 92 Parámetros de la campaña de mediciones**

Valores	Preg (kW)	Qreg (kVAr)	Sreg (kVA)	FPreg
<b>Máximo</b>	256.05	241.13	351.72	0.728
<b>Mínimo</b>	74.04	70.02	101.90	0.727

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3 Propuesta de mejora

Se ha propuesto un sistema de compensación de energía reactiva de 190 kVAr para obtener un FP de 0.98 y evitar las penalizaciones de la red.

**Tabla 5. 13 Características técnicas de la propuesta**

Capacidad Banco	190 kVAr
Capacidad del Sistema	190 kVAr
Numero de pasos	10 pasos
Capacidad del condensador de cada paso	19 kVAr
Capacidad del Contactor para banco de condensadores	22 kVAr
Interruptor fuente	600 A
Interruptor de protección de los condensadores	80 A
Regulador de factor de Potencia	12 pasos

Fuente: Elaboración propia

## **VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1 Contratación y demostración de la hipótesis y demostración de la hipótesis con los resultados.**

#### **Hipótesis General**

De acuerdo con los resultados se pudo dar una solución alternativa para corregir el factor de potencia de 0.75 a 0.98 que es el factor de potencia ideal, para evitar penalización en las facturas eléctricas y dar mejor calidad de energía eléctrica.

#### **Hipótesis Específico 1**

Al realizar el análisis situación del sistema de compensación reactiva actual se pudo situar el estado en el que se encuentra el sistema de compensación actual.

#### **Hipótesis Específico 2**

La campaña de mediciones de los parámetros eléctricos del sistema de compensación de energía reactiva logró registrar mediante un analizador de redes los parámetros eléctricos del circuito eléctrico principal, esta actividad se llevó a cabo desconectando el circuito principal del sistema de compensación de energía reactiva con el fin de registrar el consumo real de potencia reactiva inductiva de todas las cargas derivadas del circuito de salida de la subestación eléctrica de potencia de 500 kVA 10kV/0.23KV.

#### **Hipótesis Específico 3**

Se comprobó que el diagnóstico del sistema de compensación de la energía reactiva logra mejorar la calidad de energía eléctrica, porque al corregir el factor de potencia, se mejora el nivel de tensión y el nivel de corriente reduciendo el esfuerzo que hacen los conductores al llevar la corriente eléctrica.

#### **Hipótesis Específico 4**

La auditoría eléctrica mediante una propuesta técnica logra dar solución para la corrección del factor de potencia de un valor de 0.75 a 0.98 con un sistema de compensación automático de 190 KVAR.

### **6.2 Contratación de resultados con estudios similares**

Los resultados obtenidos guardan relación con las investigaciones indicadas en los antecedentes, las cuales se indican a continuación:

- De acuerdo con Llumiquiga Loya en su estudio a la empresa BANCHISFOOD (2012) mencionó en una de sus conclusiones que logró corregir el factor de potencia de 0.84 a 0.98 utilizando 03 pasos con condensadores de 9 kVAr.

En esta investigación también se planteó la corrección del factor de potencia de 0.75 a 0.98, teniendo énfasis en los problemas ya detectados por Llumiquiga y enfocadas a la realidad del Club Regatas

- En concordancia con Espinoza Trejos y otros de la Universidad Nacional de Ingeniería de Managua (2015), enunciaron en unas de sus conclusiones que al corregir el bajo factor de potencia de 0.82 a 0.95 se disminuyen las corrientes que circulan por los conductores y se logran ahorros anuales de 7.40 % al evitar las penalizaciones mensuales en la facturación.

En esta investigación se planteó en una de las conclusiones que al corregir el factor de potencia se logrará mejorar la calidad del sistema eléctrico, además de reducir el esfuerzo de los conductores que llevan corrientes altas. Con la propuesta de mejora de un sistema de compensación automático de 190 kVA se logrará 9.6% ahorros anuales.

- Con respecto al estudio realizado por Arcos López y otros de la Escuela Politécnica Nacional de España (2015), mencionaron en una de sus conclusiones que las variaciones de voltaje y pérdidas en las instalaciones eléctricas, rendimiento de los equipos, así como también la cantidad de corriente de la red y las sobrecargas eléctricas, estas se ven influenciadas inversamente proporcional con el factor de potencia.

En esta investigación se comparte las características de la conclusión del Arcos con respecto a la calidad de la energía eléctrica, ya que la calidad de la energía eléctrica se ve influenciada negativamente ante un bajo factor de potencia, incidiendo posiblemente a sobrecargas peligrosas, tal como mencionaron Arcos y otros.

- De acuerdo con Cutti Pineda de la Universidad Nacional del Centro del Perú (2010), enunció en una de sus conclusiones que la implementación de sistemas de compensación de reactivos resulta ventajosa porque mejora el nivel de voltaje en la red eléctrica, eleva la confiabilidad del sistema por tanto mejora la calidad de la energía, además de incrementar la capacidad disponible de los equipos conectados.

En esta investigación se comparte la conclusión del Cutti con respecto a mejorar la regulación del voltaje, elevar la confiabilidad del sistema y la calidad de la energía eléctrica, el cual se planteó de forma similar al realizar esta investigación.

- En concordancia con Jaco Torrejon y otros de la Universidad Nacional del Callao (2015), mencionó en una de sus conclusiones la importancia de mejorar la calidad de potencia en el sistema eléctrico del lugar evaluado que en su estudio fue una mina, el mejorar la calidad de potencia se opta para implementar soluciones avanzadas en sistemas de compensación de energía reactiva.

En esta investigación comparte la conclusión de Jaco con respecto a mejorar la calidad de potencia eléctrica del Club Regatas con un Sistema de Compensación de Energía Reactiva de 190 kVAr con una inyección de potencia reactivas capacitivas en coordinación con la necesidad de las cargas eléctricas del club regatas, de esta forma se optimiza el factor de potencia de forma automática.

- En concordancia con Delgado Pérez de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (2019), enunció en una de sus conclusiones que realizó el estudio con un analizador de redes por un periodo de 07 días obteniendo un valor del

factor de potencia de 0.91, el cual lo corrige a 0.97 con banco de condensadores de 27 kVAr.

En esta investigación se comparte la similitud de la conclusión, porque al igual que Delgado se realizó el registro de parámetros eléctricos por un periodo de 07 días, que es el periodo mínimo que indica OSINERMING para hacer mediciones. De esta forma se logró registrar un factor de potencia de 0.75 para luego corregirlo con un banco de condensadores automático de 190 kVAr a un factor de potencia de 0.98.

### **6.3 Responsabilidad ética**

El siguiente proyecto de tesis se elaboró siguiendo como guía la resolución ministerial

Los datos registrados del sistema de compensación se realizaron con un equipo analizador de redes debidamente calibrado, por lo que los parámetros eléctricos registrados son fiables.



## CONCLUSIONES

- La auditoría al sistema de compensación reactiva fijo de 210 kVAR encuentra una alternativa en la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico en la subestación eléctrica de potencia n° 1 del Club Regatas Lima. Por lo que se hace necesario que este tipo de auditorías logren captar oportunidades que permitan mejorar el sistema auditando y proponga proyectos cuya inversión se logre pagar con los ahorros que se estiman.
- Se realizó el análisis del sistema de compensación de energía con la información recibida de las facturas eléctricas, el diagrama unifilar y el estado de la información referente al sistema auditado.
- Se realizó la campaña de mediciones para registrar los parámetros eléctricos, con la instalación de un analizador de redes por el periodo de 07 días, esta actividad se llevó a cabo desconectando el circuito principal del sistema de compensación de energía reactiva con el fin de registrar el consumo real de potencia reactiva inductiva de todas las cargas derivadas del circuito de salida de la subestación eléctrica de potencia de 500 kVA 10kV/0.23KV. Además, se logró registrar e identificar el estado de funcionamiento de los componentes del sistema de compensación de energía reactiva
- Los resultados del diagnóstico del sistema de compensación de la energía reactiva lograron mejorar el factor de potencia de 0.75 a 0.98, de esta forma indirectamente se mejora la calidad de energía eléctrica, se mejora el nivel de tensión y reduce el esfuerzo que hacen los conductores al pasar la corriente.
- El dimensionamiento del sistema de compensación reactiva debe ser de 190 kVAr tal que, que logra corregir el factor de potencia a 0.98. Además, los componentes del sistema de compensación hacen que este sea automático, ya que cada paso de 19 kVAr ingresará de acuerdo con la necesidad de consumo de energía reactiva del sistema eléctrico del Club Regatas Lima.

## RECOMENDACIONES

- Se sugiere implementar el sistema de compensación automático de energía reactiva inductiva de 190kVAr a 230V para corregir los factores de potencia bajo hasta alcanzar un valor de 0.98, por lo que la capacidad de cada condensador y los contactores deben ser dimensionados adecuadamente.
- Realizar y organizar carpetas que organicen y registren la información referente del sistema de compensación de energía reactiva, así como, facturas eléctricas, planes de mantenimiento, las acciones de mantenimiento y protocolos, fichas técnicas de los componentes, diagrama unifilar del sistema, detalle de ingeniería del sistema.
- Los equipos que se usen en la campaña de mediciones deben estar previamente calibrados por empresas certificadas por INACAL para obtener datos fiables.
- Realizar el diagnóstico del sistema con toda la información obtenida antes de la campaña de mediciones y después de la campaña, de esta manera obtener la suficiente información que permita el diagnóstico y la solución que debe llevarse a cabo.
- Realizar el dimensionamiento con todos los parámetros obtenidos durante las fases de la auditoria energética, este dimensionamiento se debe considerar las recomendaciones según estándares internacionales y nacionales, además de las consideraciones del fabricante respecto a los componentes del sistema de compensación de energía reactiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*¿Qué es una Auditoría Energética?* **Cárdenas, Sara Catalina y Perláez, Gustavo Alberto. 1987.** Colombia : s.n., 1987.

**ABB. 2006.** *Cuaderno de aplicaciones técnicas - Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en instalaciones eléctricas.* 2006.

Academia. [En línea] [Citado el: 31 de Agosto de 2019.]  
[https://www.academia.edu/24070820/COMPENSACION-REACTIVA\\_OK](https://www.academia.edu/24070820/COMPENSACION-REACTIVA_OK).

**Anonimo.** *Electronica Aplicada.* [En línea] [Citado el: 14 de 09 de 2019.]  
<https://www.electricaplicada.com/banco-de-condensadores/>.

**Arcos López, Esteban Ricardo y Chicaiza Díaz, Diego Moisés. 2015.** *Diseño y construcción de un tablero de control automático para la corrección del factor de potencia, empleando un módulo DCRA.* Quito : s.n., 2015.

**Bolaños Baca, Juan Carlos. 2010.** *Diseño de un banco de condensadores automático en baja tensión para un sistema eléctrico industrial con presencia de cargas no lineales.* 2010.

**Carrillo González, Camilos José y Cidrás padre, José. 2003.** *Compensadores Estáticos de Potencia REactiva (SVC).* 2003.

**Cutti Pineda, Roberto. 2010.** *Análisis técnico-Económico óptimo para la reducción del pago por energía reactiva de acuerdo al pliego tarifario y normas vigentes en medianas industrias.* Huancayo : s.n., 2010.

**Delgado Pérez, Milthon Jeiner. 2019.** *VIABILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA DE UN BANCO DE CONDENSADORES Y SELECCIÓN DE TARIFA EN MT PARA SENSICO - CHICLAYO - LAMBAYEQUE*". Lambayeque : s.n., 2019.

**Dirección General de Electricidad MINEM. 2006.** *CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD UTILIZACIÓN.* 2006.

**ELEMTECHENERGY. 2015. FACTOR DE POTENCIA. 2015.**

**Enríquez Harper, Gilberto. 2005. Subestaciones eléctricas.** México : Editorial LIMUSA S.A, 2005.

**Espinoza Montes, Ciro. 2010. Metodología de investigación tecnológica.** Huancayo : Imagen Gráfica SAC, 2010.

**Espinoza Trejos, Carlos José y Pérez Suazo, Mauricio José. 2015. Metodología para el diseño y dimensionamiento adecuado de Banco de Capacitores para corrección del Factor de Potencia en la empresa Yambersa.** Managua : s.n., 2015.

*Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva.*  
**Borges, Davel y León, Vicente. 2005. 2/2005, s.l. : Energética, 2005, Vol. XXVI.**

**FIGUEROA. 2006. Auditorias Energeticas. 2006.**

**Garrido, Ricardo. 2014. Contactores para capacitores que atenúan las corrientes de inserción. 2014.**

**Hernández Rey, Arcy. 2013. Restaurador Dinámico de Tensión.** Cuba : s.n., 2013.

**IEEE. 1992. Recomendaciones Prácticas y requerimiento de la IEE para el control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia. 1992.**

**Ingeniería Integral para la calidad de la energía. 2013. Catalogo 2013 de Banco de Capacitores. 2013.**

**ITB. 2017. ITB IND. [En línea] 2017. <https://itb.ind.br/es/>.**

**Jaco Torrejon, Jhames Maycon y Blas Agüero, Jhon Edward. 2016. Modelo para soluciones avanzadas de sistemas de compensación de energía reactiva para el proyecto minero Tambomayo-Arequipa.** Arequipa : s.n., 2016.

**Juárez Cervantes, José Dolores. 1995.** *Sistemas de distribución de energía eléctrica.* México : Sans Serif Editores, 1995.

**LEGRAND. 2007.** *Compensación de Energía Reactiva y Monitoreo de la Calidad de la Potencia.* 2007.

**Llumiquina Loya, Fredy Santiago. 2012.** *Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa BANCHISFOOD S.A.* Quito : s.n., 2012.

**MEM-DGE. 1982.** *"Sistema de Utilización" del Código Nacional de Electricidad.* Lima : s.n., 1982. pag. 18.

*Metodologías para auditorías energéticas en edificios.* **Gómez Girini, Roberto , René López, Graciela y Félix Fernández, Jorge. 2012.** Argentina : s.n., 2012.

**Miembros de la comisión de regulación de Energía y Gas. 2005.** *La comisión de regulación de Energía y Gas .* 2005.

**Minas, Ministerio de Energía y. 2016.** *RM N° 186-2016-MEM/DM Aprobación de criterios para la elaboración de auditorías energéticas en entidades del sector público.* 2016.

**Ministerio de Energía y Minas. 1997.** *D.S. N° 020-97-EM.* 1997.

**MIRANDA, HERRERO Y. 2015.** *Melhoria da eficiência energética em sistemas motrizes industriais.* Brasília : s.n., 2015.

**OSINERG. 2001.** *Opciones Tarifarias y condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final.* 2001.

**OSINERMING. 2017.** *RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N°199-2017-OS/CD.* 2017.

**Osinerming, Gerencia de Asesoría Jurídica. 2009.** *Reglamento de usuarios libres de electricidad DS 022-19 EM.* Lima : s.n., 2009.

**Rectificadores GUASCH S.A.** *Conexión de condensadores para compesación de reactiva.* Barcelona : s.n.

**Sanjurjo Navarro, Rafael, Lázaro Sánchez, Eduardo y De Miguel Rodriguez, Pablo.** 1997. *Circuitos Eléctricos.* Mexico : Concepción Fernandez, 1997.

**SCHEIDER.** 2006. *Cuaderno N° 183 Armónicos:Rectificadores y compensadores activos.* Merlín : s.n., 2006.

**SCHNEIDER ELECTRIC.** 2017. *CATALOGO 2017 POWER FACTOR CORRECTION.* 2017.

**Schneider Electric.** 2010. *Compensación de la Energía Reactiva.* 2010.

**Serrazina, Ronaldo López.** *Jornal Latinoamericaco NFPA. NFPAJLA.* [En línea] [Citado el: 07 de 09 de 2019.] <https://www.nfpajla.org/columnas/perspectiva-regional/437-auditoria-electrica>.

**Trashorras Montecelos, Jesús.** 2015. *Subestaciones eléctricas.* España : Ediciones Paraninfo S.A, 2015.

**Zavala, Arturo.** *Armónicos.*

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de consistencia

TITULO: "AUDITORIA AL SISTEMA DE COMPENSACIÓN REACTIVA FIJO DE 210 KVAR EN LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA N°1 DEL CLUB REGATAS LIMA".							
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES/INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿Cómo la auditoria al sistema de compensación de energía reactiva estática de 210 KVAR permitirá proponer una solución alternativa en la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico en la subestación eléctrica de potencia n°1 del Club Regatas Lima?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b> P1: ¿Cómo el análisis situacional del sistema de compensación reactiva permitirá situar su estado actual? P2: ¿Cómo realizar la campaña de mediciones de los parámetros eléctricos del banco de condensadores que permitan registrar e identificar el estado de funcionamiento de los componentes del sistema de compensación de energía reactiva? P3: ¿En qué medida el diagnóstico del sistema de compensación de la energía reactiva actual permitirá mejorar la calidad de energía eléctrica en contraste con los estándares nacionales e internacionales vigentes? P4: ¿En qué medida la proyección del dimensionamiento y conexionado del sistema de compensación de energía reactiva estática permitirá corregir el factor de potencia?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Realizar una auditoria al sistema de compensación reactiva estático de 210 KVAR para proponer una solución alternativa en la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico en la subestación eléctrica de potencia n° 1 del Club Regatas Lima</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> O1: Realizar el análisis situacional del sistema de compensación de energía reactiva actual para situar el estado del banco de condensadores. O2: Realizar la campaña de mediciones de los parámetros eléctricos del banco de condensadores que permitan registrar e identificar el estado de funcionamiento de los componentes del sistema de compensación de energía reactiva. O3: Realizar el diagnóstico del sistema de compensación de la energía reactiva actual para mejorar la calidad de energía eléctrica en contraste con los estándares nacionales e internacionales vigentes. O4: Proyectar el dimensionamiento y conexionado del sistema de compensación de energía reactiva estática para corregir el factor de potencia.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> Sí se realiza una auditoria al sistema de compensación reactiva estático de 210 KVAR se podrá evaluar una solución alternativa para corregir el factor de potencia del sistema eléctrico en la subestación eléctrica n° 1 del Club Regatas Lima.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b> H1: Si se realiza el análisis situación del sistema de compensación reactiva actual se podrá situar el estado de banco de condensadores. H2: Si se realiza la campaña de mediciones de los parámetros eléctricos del banco de condensadores se podrán registrar e identificar el estado de funcionamiento de los componentes del sistema de compensación de energía reactiva. H3: El diagnóstico del sistema de compensación de la energía reactiva actual permitirá mejorar la calidad de energía eléctrica en contraste con los estándares nacionales e internacionales vigentes. H4: Si se proyecta el dimensionamiento adecuado y conexionado del sistema de compensación de energía reactiva estática se logrará la corrección del factor de potencia.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> X: Sistema de compensación de energía reactiva</p> <p><b>Variable Dependiente</b> Y: Factor de potencia del sistema eléctrico.</p>	<p>X1: Análisis situacional del sistema de compensación reactiva actual. - Registros de facturas eléctricas. - Diagrama unifilar. - Historial de mantenimiento. - Levantamiento de información técnica. - Descripción del banco de condensadores. X2: Campaña de mediciones de parámetros eléctricos. - Consumo eléctrico según uso - Check list de los componentes del sistema. - Pruebas de funcionamiento. - Registro de parámetros eléctricos. X3: Diagnostico al sistema actual. - Calidad de energía eléctrica. - Verificación del estándar de recomendación. - Conceptualización de mejoras. X4: Propuesta de mejora. - Parámetros de diseño - Diseño del sistema de compensación de energía reactiva estática - Plan de puesta en funcionamiento - Evaluación económica.</p> <p>Y1. Potencia sistema eléctrico. - Potencia Activa. - Potencia Aparente. - Potencia Reactiva. Y2. Tipo de Factor de Potencia global - Factor de potencia capacitivo. - Factor de potencia inductivo.</p>	<p><b>Tipo de Investigación</b> Tecnológica.</p> <p><b>Nivel</b> Aplicada.</p> <p><b>Método</b> Sistémico Inductivo.</p> <p><b>Diseño de la investigación</b> Descriptivo Simple - No experimental</p>	<p><b>Población</b> La subestación eléctrica de potencia n° 1 del Club Regatas Lima</p> <p><b>Muestra</b> La subestación eléctrica de potencia n° 1 del Club Regatas Lima</p>	<p><b>Documental.</b> Diagramas unifilares Facturas eléctricas Ficha técnica Memorias de cálculos Registros de mantenimiento</p> <p><b>Empírica</b> Inspección visual Check list Hojas de registro Cámaras fotográficas Analizador de redes Pinzas amperimétricas</p>



## Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

Con este proyecto se pretende recolectar información en campo

### Anexo 2.1 Check list de los componentes del sistema de compensación

Check List de componen de Banco de Condensadores			Fecha de evaluación:				
Encargado:				Lugar de evaluación:			
Descripción del tipo:							
Componente	SI	NO	Capacidad				Observación
Regulador de factor de potencia							
Interruptor general							
Cantidad de pasos:							
Protección							
Contactador							
Batería de condensador (Paso)							

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 3. Hoja para pruebas para los condensadores

	Hoja de datos de pruebas de funcionamiento - Condensadores			Fecha de evaluación:
Encargado:	Parámetros medidos			Lugar de evaluación:
Componente	I 1	I2	I3	
Condensador 1				
Condensador 2				
Condensador 3				
Condensador 4				
Condensador 5				
Condensador 6				
Condensador 7				

Fuente: Elaboración propia

#### Anexo 4. Check list del Sistema actual

Check List de componen de Banco de Condensadores			Fecha de evaluación:							23/07/19
Encargado:	Carol Miranda		Lugar de evaluación:							Club Regatas
Descripción del tipo:										
Componente	SI	NO	Capacidad							Observación
Regulador de factor de potencia		x								Tiene cosfímetro
Interruptor general	x		100A							
Cantidad de pasos:	x		09							
Protección	x		100	100	100	100	100	100	100	Unidad: Amperios
Contactador	x		30	30	30	30	30	30	30	Unidad: KVAR
Batería de condensador (Paso)			30	30	30	30	30	30	30	

### Anexo 5. Hoja para pruebas para los condensadores

	Hoja de datos de pruebas de funcionamiento - Condensadores			Fecha de evaluación:23/07/19
Encargado: Carol Miranda	Parámetros medidos			Lugar de evaluación: Club Regatas Lima
<b>Componente</b>	<b>I 1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>	Observación
Condensador 1	0	0.8	0	(No circula corriente).
Condensador 2	80	79	79	NORMAL
Condensador 3	80	80	79	NORMAL
Condensador 4	0.5	0	0.2	(No circula corriente).
Condensador 5	80	78	79	NORMAL
Condensador 6	0	0.8	0.5	(No circula corriente).
Condensador 7	0	0.1	0.4	(No circula corriente).

### Anexo 6. Fuente: Elaboración propia

## Anexo 7. Instalación del equipo analizador en el circuito general.



Fuente: Fotografía tomada en la subestación del Club Regatas

## Anexo 8. Registro de medición del Analizador de Redes

Propiedades del registro	
Perfil:	Estándar
Hora de inicio:	24/09/2019 16:15:00.000
Hora de parada:	30/09/2019 16:35:00.000
Duración:	6 d 0 h 20 m 0 s
Número de intervalos:	1732
Duración de los intervalos:	5 m 0 s
Causa del inicio:	Presión de tecla
Causa de parada:	Parada manual
Nombre del archivo:	R0036GEN.REC
Sincronización de reloj:	RTC
Versión del archivo:	27

Ajustes de medición	
---------------------	--