



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“DETERMINACIÓN DE EQUIPOS PARA COMPENSACIÓN REACTIVA EN MEDIA TENSIÓN 22.9 KV PARA LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE TRANSFORMACIÓN PUNO, ILAVE Y POMATA, UTILIZANDO SOFTWARE PARA SIMULACIÓN Y PROYECCIÓN A FUTURO.”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. FREDY LOPEZ MAMANI**

**Bach. JEAN SILVESTER CRUZ FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

A mi madre, Rosa flores Mamani y a mi padre Justo Pastor Cruz Marón, por su apoyo incondicional, su motivación persistente, por todas las alegrías del día a día, por inculcarme buenos valores y por el amor y cariño que siempre me brindaron.

A mi familia por todo el apoyo moral, a esa persona especial que me acompañó desde mi travesía por la universidad.

A los docentes y profesionales de la escuela profesional de ing. Mecánica Eléctrica, por el apoyo brindado para la realización del presente proyecto de investigación.

A mis compañeros y amigos de la universidad, por todas las experiencias y metas trazadas, por su amistad que perdura en los años.

*Jean silvester, CRUZ FLORES*



## DEDICATORIA

A Dios quien supo iluminarme ante las dificultades, para actuar con sabiduría y humildad.

A mis queridos padres, HUGO y LUCIA, quienes fueron mis guías académicos y pilares fundamentales en mi formación cotidiana, que con su ejemplo de firmeza me han enseñado a actuar correctamente.

A mi apreciada pareja KAREM NATIVIDAD y familia, por haberme brindado su apoyo infinito durante los momentos difíciles de la vida.

A mi razón y motivo quien llego a mi vida para alegrar corazones de nuestras familias mi dedicatoria especial a mi querido hijo LEONARD LOPEZ.

A mi hermano (a), MIDWAR y FANNY, compañeros y amigos con los que compartimos los mejores momentos vividos.

*Fredy, LOPEZ MAMANI*



## AGRADECIMIENTO

A “Dios”, por brindarme la oportunidad de vivir plenamente.

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, por acogernos en sus claustros universitarios, y brindarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente.

Al equipo profesional de ingenieros que nos brindó su amistad, apoyo y asesoramiento necesario.

Jean silvester, CRUZ FLORES



## AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO por acogerme dentro de sus ambientes y dentro de la carrera profesional donde se me permitió motivarme en este camino profesional para seguir adelante cultivando la búsqueda del conocimiento y la investigación, De manera encarecida a mi escuela profesional ingeniería Mecánica Eléctrica, docentes y compañeros que día a día brindaron su conocimiento y apoyo en el transcurrir de los años culminados.

Al Equipo Profesional que participó en el proyecto, y haberme brindado su apoyo intelectual, técnico y moral, abriéndome las puertas de su comprensión y asesoramiento

ECOING.

*Fredy, LOPEZ MAMANI*



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**INDICE DE GRAFICOS**

**INDICE DE ANEXOS**

**INDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN .....17**

**ABSTRACT.....18**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....20**

1.1.1. Formulación del Problema. ....20

1.1.1.1. Problema general.....20

1.1.1.2. Problemas específicos.....21

**1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....21**

1.2.1. Justificación técnica.....21

1.2.2. Justificación Social.....22

1.2.3. Justificación económica.....22

**1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....22**

1.3.1. Objetivo general .....22

1.3.2. Objetivos específicos.....23

**1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....23**

1.4.1. Hipótesis general .....23

1.4.2. Hipótesis específicas.....23

1.4.3. Operacionalización de variables.....24



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>28</b>
2.2.1. Definición de la calidad de energía eléctrica. ....	28
2.2.2. Estudio de la calidad de energía eléctrica. ....	29
2.2.3. Definición de factor de potencia. ....	29
2.2.4. Optimización mediante compensación reactiva.....	33
2.2.5. Compensador estático de energía reactiva “svc” (static var compensator). .	35
2.2.6. Análisis armónico.....	39
<b>2.3. ANÁLISIS DE CAUSAS DEL PROBLEMA.....</b>	<b>48</b>
2.3.1. Causa indirecta: bajo nivel socio económico de la población.....	48
2.3.2. Causa indirecta: bajo consumo de energía eléctrica.....	48
2.3.3. Causa indirecta: dispersidad de las viviendas. ....	48
2.3.4. Causa indirecta: líneas primarias y secundarias rurales muy largas.....	48
<b>2.4. ANÁLISIS DE EFECTOS DEL PROBLEMA. ....</b>	<b>48</b>
2.4.1. Efecto directo: líneas sobrecargadas por energía reactiva .....	48
2.4.2. Efecto directo: excesivas pérdidas técnicas en las líneas primarias y secundarias.....	49
2.4.3. Efecto directo: niveles de tensión fuera de los límites establecidos en la NTCSER.....	49
2.4.4. Efecto directo: penalización por incumplimiento de la NTCSER (calidad de producto).....	49
2.4.5. Efecto final.....	49
<b>2.5. TIPOS DE CARGAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.....</b>	<b>50</b>
<b>2.6. PARÁMETROS DE CALIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.....</b>	<b>51</b>
<b>2.7. TRIANGULO DE POTENCIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>2.8. ARMÓNICOS.....</b>	<b>53</b>
2.8.1. Análisis de los armónicos .....	53
2.8.2. Flujo de potencia armónico.....	53
2.8.3. Mediciones de armónicas.....	54
2.8.4. Filtros para la reducción de armónicas.....	56



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>59</b>
<b>3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN. ....</b>	<b>59</b>
<b>3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN. ....</b>	<b>62</b>
3.4.1. Técnicas para recolección y análisis de datos. ....	62
3.4.2. Selección de datos y puntos. ....	62
3.4.3. Equipo utilizado para medición.....	63
3.4.4. Extracción de data .....	64
3.4.5. Software utilizado para la simulación de la red. ....	64
<b>3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATA OBTENIDO Y ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>65</b>
3.5.1. Identificación de punto de conexión.....	65
3.5.2. Procesamiento de información .....	66
3.5.3. Análisis de Armónicos - Sistema Eléctrico en S.E.T.S. Puno – Ilave – Pomata .....	80

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN .....</b>	<b>84</b>
4.1.1. Definición del horizonte de evaluación del proyecto.....	84
<b>4.2. DISEÑO Y DETERMINACIÓN DE EQUIPOS DE COMPENSACIÓN REACTIVA .....</b>	<b>86</b>
4.2.1. Horizonte de proyección.....	86
4.2.2. Análisis de energético de redes sin compensación reactiva .....	87
4.2.2.1. Red 22.9kv Puno.....	87
4.2.3. Análisis de energético de redes con compensación reactiva .....	88
4.2.3.1.- Red 22.9kv Puno .....	88
4.2.4. Selección de equipo de compensación .....	89
4.2.4.1.- Línea Primaria en 22.9 Kv Alimentadores 0101 y 0104 Puno .....	89
4.2.4.2. Subestación 60/22.9/10 Kv de Ilave .....	89
4.2.4.3.- Subestación 60/22.9/10 Kv de Pomata.....	90



4.2.4.4. Tipo y condiciones técnicas de equipo .....	90
4.2.4.5. Tipo de estructura y lugar de instalación de equipos .....	96
<b>4.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA ENERGÉTICA Y EQUIPOS DE COMPENSACIÓN REACTIVA .....</b>	<b>96</b>
4.3.1. Evaluación económica energética.....	96
4.3.1.1. Horizonte de proyección .....	96
4.3.1.2. Análisis económico de redes sin compensación.....	97
4.3.1.3. Análisis Económico de redes con compensación.....	98
4.3.2. Evaluación económica de equipos de compensación.....	99
4.3.2.1. Análisis económico de equipos seleccionados.....	99
4.3.2.2. Análisis económico de instalación equipos seleccionados .....	100
<b>4.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA GENERAL DE PROYECTO .....</b>	<b>103</b>
4.4.1. Hallamos el valor actual neto (Van) y la tasa interna de retorno (Tir) .....	103
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>105</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>
<b>PLANOS .....</b>	<b>123</b>

**Área** : Energía Eléctrica.

**Tema** : Compensación Reactiva.

**FECHA DE SUSTENTACION:** 25 de junio del 2020



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Triangulo de Potencia .....	30
<b>Figura N° 2:</b> Cargas resistiva, capacitiva e inductiva. ....	31
<b>Figura N° 3:</b> Representación de potencias .....	32
<b>Figura N° 4:</b> Batería de condensadores del sistema eléctrico.....	34
<b>Figura N° 5:</b> Triangulo de Potencias.....	52
<b>Figura N° 6:</b> RED 22.9kv Puno .....	69
<b>Figura N° 7 :</b> Red 22.9 Puno – sistema sin compensación de energía reactiva.....	72
<b>Figura N° 8:</b> Red 22.9 Puno – sistema Compensado .....	74



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b> Operacionalización de variables .....	24
<b>Tabla N° 2:</b> Población y muestra de investigación. ....	59
<b>Tabla N° 3:</b> Ubicación y descripción .....	60
<b>Tabla N° 4:</b> Descripción de S.E.T.s .....	60
<b>Tabla N° 5:</b> Redes Primarias en Media Tensión .....	61
<b>Tabla N° 6:</b> Pagos realizados por ELPU en el lapso de 18 meses 2016 - 2017.....	63
<b>Tabla N° 7:</b> Ventas de Energía - Electro Puno S.A.A.....	66
<b>Tabla N° 8:</b> Ventas Proyectadas - Electro Puno S.A.A.....	66
<b>Tabla N° 9:</b> Horarios de consumo y pagos .....	67
<b>Tabla N° 10:</b> Pagos efectuados por ELPU - por concepto de energía reactiva en todo su Área.....	68
<b>Tabla N° 11:</b> Horario de comportamiento 22.9 Puno – COS f.....	69
<b>Tabla N° 12:</b> Pago por concepto de energía reactiva durante el año 2017 sin compensación .....	70
<b>Tabla N° 13:</b> Neplan – Alimentadores 22.9 Kv – sin compensación.....	70
<b>Tabla N° 15:</b> hipotético Pago por concepto de energía reactiva durante el año 2017 con compensación .....	73
<b>Tabla N° 14:</b> NEPLAN - Alimentadores 22.9 Kv con compensación .....	73
<b>Tabla N° 16:</b> Datos obtenidos de la medición en la S.E.T. ILAVE salidas 22.9 Kv, Sin compensación. ....	75
<b>Tabla N° 17:</b> Datos obtenidos de la medición en la S.E.T. POMATA salidas 22.9 Kv, sin compensación.....	78
<b>Tabla N° 18:</b> Análisis de la Oferta de ELPU en sus S.E.T.s y redes de Distribución..	85
<b>Tabla N° 19:</b> Balance Oferta –Demanda.....	85



<b>Tabla N° 20:</b> Máxima demanda y Potencia Instalada .....	86
<b>Tabla N° 22:</b> Energía Reactiva - Sin compensación - B .....	87
<b>Tabla N° 21:</b> Energía Reactiva - Sin compensación - A .....	87
<b>Tabla N° 24:</b> Energía Reactiva - Con compensación - B .....	88
<b>Tabla N° 23:</b> Energía Reactiva - Con compensación - A.....	88
<b>Tabla N° 25:</b> Análisis Económico de pagos a efectuar en RED 22.9 kv - Puno - sin compensación .....	90
<b>Tabla N° 26:</b> Comportamiento de red 22.9 kv - PUNO – Sin compensación .....	91
<b>Tabla N° 27:</b> Equipamiento Requerido .....	91
<b>Tabla N° 28:</b> Tipo de Armado para SVC - Según S.E.T.....	96
<b>Tabla N° 29:</b> Costos Generados por energía reactiva dentro de los 20 años - sin compensación reactiva .....	97
<b>Tabla N° 30:</b> Costos Generados por energía reactiva dentro de los 20 años - con compensación reactiva .....	98
<b>Tabla N° 31:</b> Costos de SVC's - Fuente-. COLCOM .....	99
<b>Tabla N° 32:</b> Costos totales de suministro e instalación de equipos - PUNO .....	100
<b>Tabla N° 33:</b> Costos totales de suministro e instalación de equipos - ILAVE.....	101
<b>Tabla N° 34:</b> Costos totales de suministro e instalación de equipos - POMATA .....	102
<b>Tabla N° 35:</b> Evaluación costo económico general del proyecto. ....	103



## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Grafico N° 1 :</b> Visualización de parámetros para su compensación .....	26
<b>Grafico N° 2:</b> Esquema simplificado para un SVC.....	36
<b>Grafico N° 3 :</b> Configuración de un TSC .....	36
<b>Grafico N° 4 :</b> Esquema equivalente de un TSC.....	37
<b>Grafico N° 5 :</b> Configuración de un TCR.....	38
<b>Grafico N° 6:</b> Formas de onda de intensidad de un TCR.....	39
<b>Grafico N° 7 :</b> Configuraciones trifásicas del TCR .....	40
<b>Grafico N° 8:</b> Evolución de la potencia reactiva generada por el TCR en función de ángulo de disparo ( $\alpha$ ).....	41
<b>Grafico N° 9:</b> SVC fabricado por ALSTOM de +30/-25MVAR en 66kv, España 2003	42
<b>Grafico N° 10:</b> Composición por fase de un SVC .....	43
<b>Grafico N° 11:</b> Evolución de la Reactiva generada por un SVC formado por un TSC+TCR.....	43
<b>Grafico N° 12:</b> Circuito Equivalente.....	44
<b>Grafico N° 13:</b> Configuración para el control de tensión mediante un SVC. ....	46
<b>Grafico N° 14:</b> Evolución de la intensidad eficaz consumida por el conjunto del compensador más la carga en función del ángulo de disparo.....	47
<b>Grafico N° 15: Onda sin contenido de Armónicos</b> .....	54
<b>Grafico N° 16:</b> Orden de Armónicos.....	55
<b>Grafico N° 17:</b> Metodología de investigación .....	58
<b>Grafico N° 18:</b> Ubicación geográfica.....	59
<b>Grafico N° 19:</b> Instalación de equipo MULTIFUNCIÓN ION.....	64
<b>Grafico N° 20:</b> Puntos de Conexión, teniendo un D.U. más detallado en <b>ANEXO 05</b> <b>(planos)</b> .....	65



<b>Grafico N° 21:</b> Salidas 22.9kv TOTORANI.....	71
<b>Grafico N° 22:</b> Red 22.9kv - Ilave .....	74
<b>Grafico N° 23:</b> Simulación de S.E.T.s - ILAVE - POMATA y barras existentes .....	76
<b>Grafico N° 24:</b> Ingreso y configuración de Datos en el Software para S.E.T. Ilave - NEPLAN.....	77
<b>Grafico N° 25:</b> RED 22.9Kv Pomata utilizando software de trazado de línea.....	77
<b>Grafico N° 27:</b> Tablero de distribución POMATA .....	79
<b>Grafico N° 26:</b> Datos en el Software para S.E.T. Pomata - NEPLAN .....	79
<b>Grafico N° 28:</b> NEPLAN análisis de armónicos.....	80
<b>Grafico N° 29:</b> Barra 22.9 SET - TOTORANI.....	81
<b>Grafico N° 30:</b> Barra 22.9 SET – TOTORANI - TDH .....	81
<b>Grafico N° 31:</b> Análisis de armónicos en barra de 22.9Kv TOTORANI.....	82
<b>Grafico N° 32:</b> Resultados obtenidos .....	82
<b>Grafico N° 33:</b> Simulación del sistema eléctrico.....	83
<b>Grafico N° 34:</b> Análisis del sistema compensado.....	83



## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fuente Data ELPU y Medición Propia.....	110
Anexo 2. Mapa de densidad 22.9Kv – Puno – Ilave y Pomata.....	113
Anexo 3. Comportamiento de carga - Consumo de Reactivas.....	114
Anexo 4. Proceso de extracción de Data fuente de MEDIDOR “ION 7650 ANALIZADOR – MULTIPARAMETRO”.....	115
Anexo 5. Diagrama Unifilar de Barras Puno, Ilave y Pomata.....	116
Anexo 6. Normatividad de Armónicos.....	117
Anexo 7. Data Armónicos – Totorani – 22.9kv.....	118
Anexo 8. Data Armónicos - Totorani - 60kv.....	119
Anexo 9. Data Armónicos - Totorani - 60kv.....	120
Anexo 10. Especificaciones Técnicas del equipo ION7550 - MULTIPARÁMETRO .	121



## INDICE DE ACRÓNIMOS

<b>S.E.:</b>	Subestación Eléctrica de Transformación
<b>SVC:</b>	Static Var Compensator (compensador estático de energía reactiva)
<b>ELPU:</b>	Electro Puno
<b>NTCE:</b>	Norma Técnica Concesiones Eléctricas
<b>NTECER:</b>	Norma Técnica de concesiones eléctricas Rurales
<b>COES:</b>	El Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional
<b>ENOSA:</b>	Electronoroeste S.A.
<b>KW:</b>	kilovatio.
<b>Var:</b>	Voltiamperio
<b>Mva:</b>	Megavoltiamperio
<b>Mvar:</b>	Megavoltiamperio Reactivo
<b>RAM:</b>	Reliability, availability and maintainability
<b>AC:</b>	Corriente Alterna
<b>CC:</b>	Corriente Continua
<b>TSC:</b>	Reaction Control System
<b>TSR:</b>	Terminate and Stay Resident (Termina y Permanece Residente)
<b>TCR:</b>	T cell receptor
<b>THD:</b>	Distorsión Armónica Total
<b>IEC:</b>	Comisión Electrotécnica Internacional
<b>OSINERGMIN:</b>	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía Y Minas
<b>GIS:</b>	Un sistema de información geográfica
<b>CCO:</b>	Centro de Control de Operaciones de ELECTRO PUNO S.A.A.
<b>ISO:</b>	Norma definida por la Organización Internacional de Normalización
<b>ASME:</b>	American Society of Mechanical Engineers



## RESUMEN

En esta tesis elaborada y titulada: “DETERMINACIÓN DE EQUIPOS PARA COMPENSACIÓN REACTIVA EN MEDIA TENSIÓN 22.9 KV PARA LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE TRANSFORMACIÓN PUNO, ILAVE Y POMATA, UTILIZANDO SOFTWARE PARA SIMULACIÓN Y PROYECCIÓN A FUTURO.” se presenta el desarrollo del análisis experimental en el ámbito del sector eléctrico: distribuidor comercial, consumidor, que vienen siendo afectados por la energía reactiva, desfavorable para la empresa Electro Puno S.A.A. siendo el primer afectado y consecuentemente transmitido a sus usuarios consumidores, para lo cual se analizó la problemática de un equipo de compensación, que se montará en las redes eléctricas para la compensación de la energía y contrarrestarla, según sea el caso capacitiva o inductiva. Con fines de beneficiar básicamente a la EMPRESA ELECTRO PUNO S.A.A y mejorar la eficiencia eléctrica para la población. Para este objetivo, es necesario determinar y diseñar equipos de compensación de energía reactiva y su optimización mediante simulación con el software NEPLAN, para las subestaciones eléctricas de transformación Puno, Ilave y Pomata, y redes distribución primarias. fue necesario cuantificar, valorizar y comparar, optimizando equipos de compensación, teniendo como fuente de datos históricos los consumos y pagos por concepto de energía reactiva de parte de la empresa Electro Puno S.A.A. En todos los horarios de consumo, considerando también proyecciones de crecimiento poblacional económico y de consumo con un horizonte de 20 años de vida útil, y finalmente optimizar el tipo, la potencia y características del equipo requerido, obteniendo un equipo económica y técnicamente óptimo.

**PALABRAS CLAVE:** Energía Reactiva, compensación, capacitiva, inductiva, determinación.



## ABSTRACT

In this thesis elaborated and titled: "DETERMINATION OF EQUIPMENT FOR REACTIVE COMPENSATION IN MEDIUM VOLTAGE 22.9 KV FOR ELECTRICAL TRANSFORMATION SUBSTATIONS PUNO, ILAVE AND POMATA, USING SOFTWARE FOR SIMULATION AND PROJECTION FOR THE FUTURE". The development of the experimental analysis in the field of the electrical sector is presented: commercial distributor, consumer, who are being affected by unfavorable reactive energy in the present for the company Electro Puno S.A.A. Being the first affected and consequently transmitted to its consumer users, for which the problem of a compensation equipment was analyzed, which will be mounted on the electrical networks to compensate and counteract the reactive energy, depending on the capacitive or inductive case. In order to basically benefit the COMPANY ELECTRO PUNO S.A.A and improve electrical efficiency for the population. For this objective, it is necessary to determine and design reactive energy compensation equipment and its optimization through simulation with the NEPLAN software, for the Puno, Ilave and Pomata transformation electrical substations, and primary distribution networks. For this, it was necessary to quantify, value and compare, optimizing compensation equipment, having as a source of historical data the consumption and payments for reactive energy by the company Electro Puno S.A.A. At all times, also considering projections of economic population growth and consumption for a horizon of 20 years of useful life, to finally optimize the type, power and characteristics of the equipment required, obtaining economically and technically optimal equipment.

**KEY WORDS:** Reactive Energy, compensation, capacitive, inductive, determination.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En busca de una eficiencia energética en redes eléctricas de media tensión, el proyecto induce a optimizar el consumo y reducción de la demanda de la energía reactiva, reduciendo costos técnicos y económicos. De interés público como del consumidor y distribuidor promocionar el uso eficiente de la energía para su protección de ambos, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental que afecta a los recursos nacionales, promover a la población la convicción de fortalecer e impulsar al empleo racional de los recursos energéticos lo cual inducirá al desarrollo sostenible del país buscando un equilibrio económico hacia el futuro, Para colaborar a la eficiencia energética se compensará la energía reactiva en Redes de Distribución Primaria en Media Tensión mediante diseños y mostrada en simulación software NEPLAN, de las Subestaciones Eléctricas de Transformación PUNO, ILAVE Y POMATA, Las instalaciones que se implementarán con el presente proyecto mejorará la sostenibilidad de la Empresa Electro Puno S.A.A.

Logrando también beneficiar a los usuarios de la empresa Electro Puno S.A.A. al mejorar la calidad del suministro eléctrico, aumentando también la durabilidad de sus máquinas eléctricas.

En la actualidad la situación de la energía reactiva y esta que debe ser compensada se encuentra con un factor de potencia no considerable, el Perú cuenta con diferentes ciudades con este tipo de inconveniente, es factible proponer diferentes acciones de software para realizar la evaluación económica para obtener costo de inversión y considerar el ahorro anual como también evaluar la ubicación de los bancos de



condensadores de las redes, subestaciones y otras empresas que comprometen la energía reactiva.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

En la actualidad, en las Subestaciones Eléctricas de Transformación PUNO, ILAVE Y POMATA y redes eléctricas media tensión, se genera un pago por energía reactiva, desfavorable para la empresa Electro Puno S.A.A. y consecuentemente para sus usuarios. Para ello, se analizó la problemática para la compensación de la energía reactiva, con fines de beneficiar básicamente a la empresa concesionaria Electro Puno S.A.A. y consecuentemente, la población, mejorando la calidad del Servicio. Considerando NTCSE.

“El método clásico de compensación de la potencia reactiva se centra en la localización y dimensionamiento de los bancos de CONDENSADORES (capacitores) y/o REACTORES(inductores) a lo largo del alimentador para evitar el flujo de potencia reactiva”.

### **1.1.1. Formulación del Problema.**

Planteamos la siguiente problemática.

#### **1.1.1.1. Problema General.**

¿Qué mediante los recursos del uso óptimo de la empresa electro puno S.A.A. se podrá compensar la energía reactiva en las redes de distribución primaria de media tensión 22,9 KV PUNO, ILAVE, POMATA considerando reducir la energía, costos de provisión, ahorro económico cumpliendo con los parámetros de calidad de la energía eléctrica?



### **1.1.1.2. Problemas específicos.**

- Logrando obtener datos de energía reactiva acumulada en las redes primarias de Puno, Ilave y Pomata, y utilizando el software NEPLAN ¿nos permitirá determinar el punto óptimo para la instalación de los equipos de compensación reactiva?
- ¿En qué medida se logrará reducir la cantidad de energía reactiva presente en las redes primarias de las S. E. T. puno, Ilave y Pomata?
- Los equipos de compensación de energía reactiva, ¿cumplen con los parámetros técnicos y estándares para la instalación y uso adecuado?
- ¿En qué medida los equipos logran reducir los costos por energía reactiva, solventando el mismo con el tiempo de vida útil y ahorros a la empresa ELECTRO PUNO S.A.?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.2.1. Justificación técnica.**

El presente proyecto pretende realizar el diseño de banco de condensadores mediante el sistema de software y simulación NEPLAN en redes primarias de Transformación PUNO, ILAVE Y POMATA, implementando este sistema denominada compensación reactiva lo cual genera un pago por energía reactiva, desfavorable para la empresa Electro Puno S.A.A. y consecuentemente para sus usuarios.

Entendiendo que los recursos económicos son de suma importancia para los consumidores, con fines de beneficiar básicamente a la empresa concesionaria Electro Puno S.A.A y consecuentemente, a su población mejorando la calidad del Servicio.



### **1.2.2. Justificación social.**

La mala calidad de energía no solo perjudica a Electro Puno, industrias, empresas, etc. Sino también a todos los usuarios conectados a la red eléctrica, para ello los clientes requieren energía permanente y de buena calidad.

### **1.2.3. Justificación económica.**

Actualmente se ha incrementado el uso de la energía eléctrica en diferentes campos de comercio, industrias de gran envergadura es así que hoy en día es importante tener una energía eficaz y de buena calidad puesto que esto hace que se tenga la necesidad de realizar estudios de los diferentes parámetros eléctricos en lo cual el proyecto específico sustenta, los costos económicos anuales ya tomados mediante el análisis y evaluaciones, realizadas para la determinación de los equipos de compensación en las Subestaciones Eléctricas de Transformación PUNO, ILAVE Y POMATA lo cual permitirá obtener como resultado la compensación de la energía reactiva, reduciendo los costos negativos que vienen siendo generados por la reactiva a la empresa ELECTRO PUNO S.A.A.

## **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.3.1. Objetivo General**

El proyecto tiene por objetivo analizar el uso óptimo de los recursos de la Empresa ELECTRO PUNO S.A.A, Para compensar la energía reactiva en LAS REDES DE DISTRIBUCION PRIMARIA en media tensión 22.9, potenciar el uso racional y eficiente de la energía eléctrica que cumpla con los parámetros de las NTCSE y NTCSE y la disminución de los costos de provisión de servicios de energía eléctrica para dar un ahorro económico estable a la empresa S.A.A por lo tanto, el objetivo del proyecto es:



“Instalación de equipos de compensación reactiva en media tensión 22.9 PUNO, ILAVE Y POMATA”.

### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

1.- Determinar y diseñar equipos de compensación de energía reactiva mediante simulación por software NEPLAN, para las subestaciones eléctricas de transformación PUNO, ILAVE Y POMATA y sus redes primarias de distribución.

2.- Registrar, almacenar y Analizar fuente de datos para comprobar la cantidad de energía reactiva y el costo que se genera.

3.- Cuantificar, Valorizar y comparar la energía reactiva compensada.

## **1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Los diseños y determinación de los equipos adecuados, el lugar elegido será el punto señalado óptimo y viables para su instalación salvaguardando una larga vida útil, una vez instalados lograrán reducir la energía reactiva, los parámetros obtenidos lograra una propuesta de reducción económica la que viene pagando la empresa ELECTRO PUNO S.A.A. por concepto de Energía Reactiva en Puno Ilave y Pomata.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Establecer diagnósticos para el análisis del sistema eléctrico de media tensión en PUNO, ILAVE Y POMATA, considerando el consumo anual de los años anteriores analizando demandas de cargas, a lo cual es necesario compensar la potencia reactiva.

- Al analizar las mediciones correspondientes, se comprobarán el cumplimiento con los rangos mínimos aceptables en los parámetros de compensación según las normas peruanas, de no cumplir con los parámetros se tomará las acciones necesarias.



- Al estudiar los comportamientos de la energía reactiva, identificaremos el nivel de distorsión del mismo problema, luego al dar soluciones se planteará un plan de acción, para mejorar la calidad de compensación con buenas protecciones al futuro.

### 1.4.3. Operacionalización de variables.

**Tabla N° 1:** Operacionalización de variables

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	
VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE
Potencia	Medición – recopilación de datos Diagnóstico Calidad Optimización
Voltaje	
Corriente	
Frecuencia	
Armónicos	

**FUENTE:** Elaborado por el equipo de trabajo



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

El informe final desarrollado por la Dirección de Planificación de Transmisión – COES en marzo del 2012 – Lima, Perú denominado “COMPENSACIÓN REACTIVA CAPACITIVA DE 20 MVAR EN 60 KV - SUBESTACIÓN PUCALLPA” Informe COES/DP-01-2012 “Propuesta Definitiva de la Actualización del Plan de Transmisión 2013 - 2022”. Tiene como objetivo el Desarrollo del Anteproyecto denominado: “Compensación Reactiva Capacitiva de 20 MVAR en 60 kV –Subestación Pucallpa”. El proyecto contempla la implementación de 01 banco de condensadores en la SE Pucallpa, el cual consta del siguiente equipamiento:

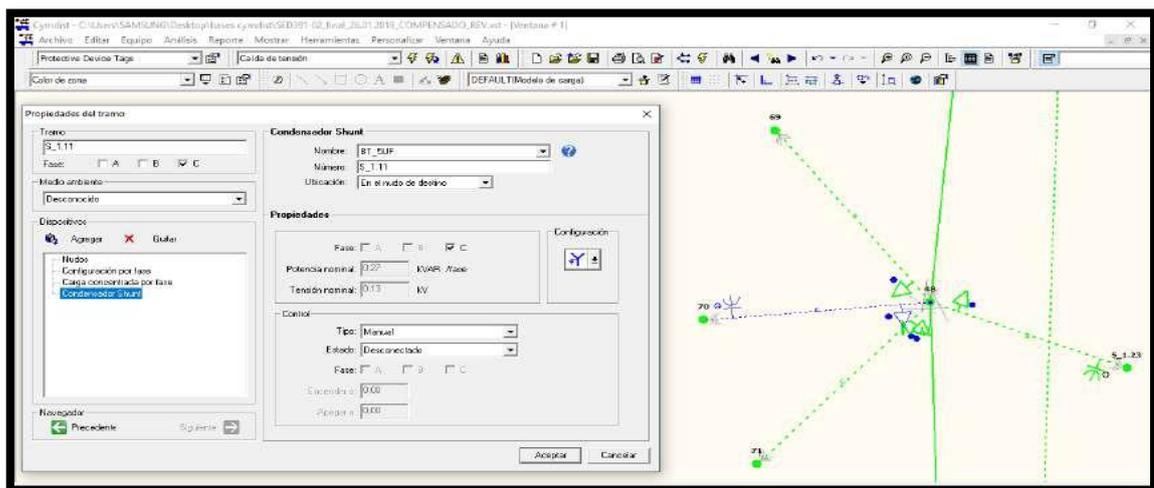
- 01 celda de compensación en 60kV, de configuración barra simple.
- 01 Banco de condensadores en 60kV de 20 MVAR, del tipo filtro.
- Sistemas complementarios: Protección, control, medición, comunicaciones, pórticos y barras, puesta a tierra, servicios auxiliares, obras civiles.

El equipamiento mantendrá la compatibilidad del diseño de la subestación existente Pucallpa de propiedad de ISA-Perú. (Dirección de Planificación de Transmisión - COES, 2012)

El reciente proyecto final de graduación para la obtención del título de Ingeniero mecánico electricista desarrollado por Daniel Arturo Herrera Reátegui en octubre del 2019 – Piura, Perú, denominado “ANÁLISIS DEL PROYECTO DE COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA EN BAJA TENSIÓN, IMPLEMENTADO POR ELECTRONOROESTE S.A.” guarda similitud en el proceso

de análisis de pérdidas de energía y económicas para dicha empresa del norte del país. Objetivo general es evaluar desde un punto de vista técnico la eficiencia y beneficios del proyecto piloto, implementado por ENOSA: Compensación de energía reactiva en baja tensión, mediante la instalación de condensadores de 15 uF en cajas porta medidor de usuarios residenciales; método para disminuir las pérdidas técnicas del sistema y mejorar la calidad de energía suministrada. Podemos concluir que, la reducción de las pérdidas técnicas del sistema, son alrededor de un 5,6 %, comprobándose tanto en el método de evaluación de data, como el método de simulación (software de ingeniería **CYMDIST** 4.1.). (Herrera A., 2019).

**Gráfico N° 1 :** Visualización de parámetros para su compensación



**FUENTE:** Ilustración: tesis Herrera.

El proyecto final de graduación para la obtención del título de Ingeniero mecánico electricista desarrollado por Roberto Escate Ravelio en el 2012 - Ancash, Perú denominado “COMPENSACION DE LA ENERGIA REACTIVA PARA LA OPTIMIZACION DEL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSION COISHCO INDUSTRIAL DE LA UNIDAD DE NEGOCIOS HIDRANDINA SUR S.A.”. En esta tesis se presenta un análisis integral para la compensación de potencia reactiva, que



auxilia en la solución del problema de compensación de reactivos en una red de distribución primaria. Para la realización de la tesis, el factor de potencia que presenta la red es de 0.914, y en base a esto, se desarrolla el método de compensación a través bancos de capacitores en un alimentador primario principal. Este análisis se aplicó a la red de Distribución del Alimentador de Media Tensión Coishco Industrial de la Unidad de Negocios Hídmdina Sur S.A Se logró diseñar un banco de condensador que compensa la energía reactiva de la línea de media tensión, incrementándose el factor de potencia de 0.914, hasta un valor de 0.97. Se logró incrementar la tensión primaria en un 1.124%. Se logró la reducción de corriente en línea de media tensión nominal, en la cual se tiene un valor de reducción de 12.5%. Una vez diseñado el banco de condensadores en el circuito eléctrico de media tensión se observará la viabilidad en cuanto a disminución de pérdidas y mejoramiento del factor de potencia, determinándose que, para el segundo año, el proyecto ya sería rentable. (Canepa R., 2012)

El proyecto final de graduación para la obtención del título de Ingeniero mecánico electricista desarrollado por Julio Carlos Machaca Vilca y Abell Alexis Coila Delgado en el 2016 – Puno, Perú denominado “ESTUDIO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, UTILIZANDO UN ANALIZADOR DE REDES - 2016”. Tiene como objetivo general estudiar y analizar experimentalmente la calidad del suministro de la Universidad Nacional del Altiplano, utilizando un analizador de redes para luego dar alternativas de optimización del sistema eléctrico; los parámetros eléctricos evaluados son: frecuencia, voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, energía, flicker, armónicos de tensión y/o corriente; dentro de la evaluación y el estudio general realizado al suministro de las 6 subestaciones eléctricas operativas de UNA – PUNO, se logró constatar que la mayoría de estas están en óptimas condiciones, sin embargo se pudo



determinar que las subestación N° 01, se encuentra con un factor de potencia de 0.74; también se constató las pérdidas de energía reactiva en especial de la subestación N° 03; también se halló armónicos de corriente en todas las subestaciones resaltando los de orden 3, 5 y 7, estos parámetros deficientes se ocasionan a causa de equipos que generan cargas de tipo no lineal, también se debe al desconocimiento y la falta de mantenimiento a dichas subestaciones, por tal motivo se dio las alternativas de solución, el cual es implementar filtros pasivos paralelo LC – resonante, para poder compensar la energía reactiva y de la misma manera dar solución a los armónicos existentes en las redes de la ciudad universitaria; se realizó el diseño acorde a la NTCSE y las normas internacionales los cuales son mencionadas a lo largo de la presente investigación. (MACHACA & COILA, 2016).

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Definición de la calidad de energía eléctrica.**

La energía eléctrica es muy importante, teniendo en cuenta que en estos tiempos se volvió un tema de mucha importancia y dando una gran evolución al pasar de los años, por ende, se relacionan también las grandes pérdidas en el sector económico por la inducción de la energía reactiva en el sector del consumidor o cliente estas que pueden afectar a las condiciones económicas de la población consumidora.

Para contar con una buena calidad de la energía eléctrica y con un factor de potencia estable existen parámetro o condiciones que deben cumplirse tales como:

- A) La instalación de compensadores (inductivo o capacitivo).
- B) Ubicar puntos de generación de la energía reactiva.
- C) Controlar la inyección de la energía reactiva.
- D) instalación de equipo compensador de energía reactiva y sistema de protección.



### **2.2.2. Estudio de la calidad de energía eléctrica.**

- El estudio de la energía eléctrica es el primer paso para identificar y solucionar problemas en el sistema eléctrico lo cual pueden dañar el comportamiento del equipo y reducir su confiabilidad poniendo en peligro la seguridad del personal si permanecen sin corregirse.

- Este tipo de estudios para plantas industriales, empresas de energía y empresas privadas, incluyendo auditorías energéticas y revisiones mecánicas, térmicas y eléctricas conducentes a reducir los desperdicios de energía y administrar eficientemente los recursos energéticos.

- El análisis a la calidad de la energía eléctrica nos permite conocer y descubrir la calidad de potencia (tensión, interrupciones en el suministro y distorsión de la onda de tensión debido a la presencia de los armónicos en la red).

### **2.2.3. Definición de factor de potencia.**

Se define como la relación entre la potencia activa (kW) usada en un sistema y la potencia aparente (kVA) que se obtiene de las líneas de alimentación y la potencia reactiva (kVAr). Todos los equipos electromecánicos que están constituidos por devanados o bobinas, tales como motores y transformadores, variadores necesitan la denominada corriente reactiva para establecer campos magnéticos necesarios para su operación. La corriente reactiva produce un desfase entre la onda de tensión y la onda de corriente, si no existiera la corriente reactiva la tensión y la corriente estarían en fase y el factor de potencia sería la unidad. El desfase entre las ondas de tensión y corriente, producido por la corriente reactiva se anula con el uso de condensadores de potencia, lo

que hace que el funcionamiento del sistema sea más eficaz y, por lo tanto, requiera menos corriente lo que se denomina compensación.

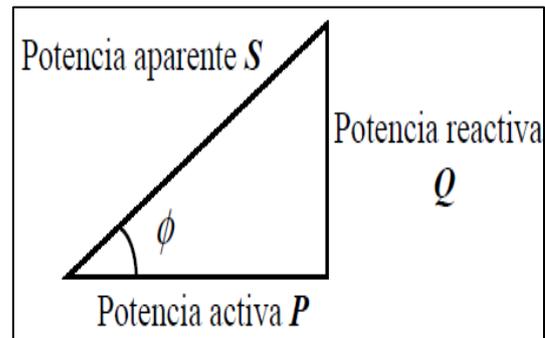
$$FP = \frac{P}{S}$$

$$\frac{P}{S} = \cos \phi$$

$\phi$ : Angulo entre corriente (A) y el voltaje (V)

P: Es la potencia activa en KW

S: Es la potencia aparente en KVA.



**Figura N° 1:** Triangulo de Potencia

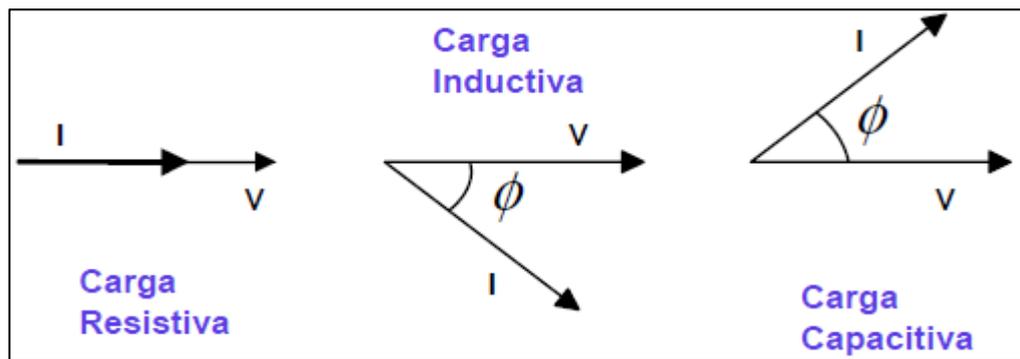
**FUENTE:** Canepa R., 2012

Las cargas industriales eléctricas son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de equipos de mayor potencia, así como; refrigeración, motores, generadores, transformadores, etc. Este carácter reactivo obliga a que, junto al consumo de potencia activa (KW), se sume el de una potencia llamada reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el funcionamiento activo de equipos y motores. Esta potencia reactiva se muestra suministrada por las empresas generadoras de electricidad y de grandes envergaduras, Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser transportadas por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución, dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia puede ser: adelantado, retrasado igual a 1

- En las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, la tensión y la corriente están en fase en este caso, se tiene un factor de potencia unitario. Ver figura 1.

- En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la corriente se encuentra retrasada respecto a la tensión. En este caso se tiene un factor de potencia retrasado.

- En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje. En este caso se tiene un factor de potencia adelantado.



**Figura N° 2:** Cargas resistiva, capacitiva e inductiva.

**FUENTE:** Asea Brown Boveri S.A., 2011

### 2.2.3.1. Determinación del factor de potencia.

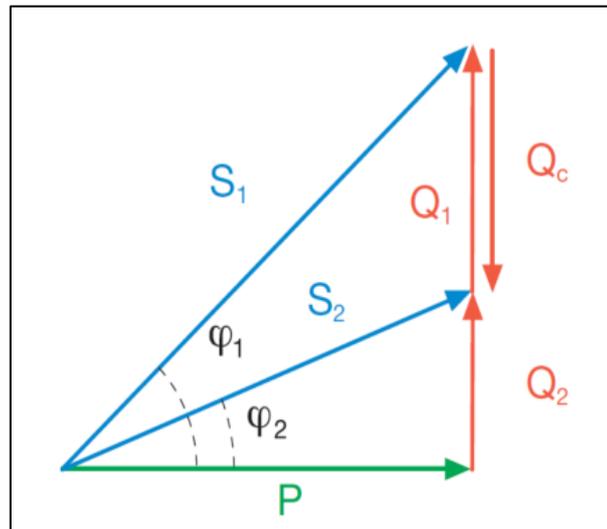
Para dimensionar la batería de condensadores a instalar para corregir la instalación, hay que determinar de manera precisa el factor de potencia a partir de los consumos o del ciclo de carga de la instalación; así se evita la inyección de excesiva energía reactiva, condición que normalmente no está permitida por las compañías eléctricas.

Si se desea efectuar una corrección distribuida o por grupos, es necesario determinar el  $\cos\phi$  de la carga o del grupo de cargas (reparto); esto puede llevarse a cabo de los siguientes modos:

- Directamente, mediante medida directa por medio de un cosfímetro;
- Indirectamente, a través de la lectura de los contadores de energía activa y reactiva.

### 2.2.3.2. Determinación de la potencia reactiva necesaria.

Una vez conocido el factor de potencia de la instalación ( $\cos\varphi_1$ ) y el que se quiere obtener ( $\cos\varphi_2$ ), es posible determinar la potencia reactiva necesaria de la batería de condensadores para alcanzar la corrección.



**Figura N° 3:** Representación de potencias  
**FUENTE:** (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

Siendo:

$P$ = La potencia activa instalada

$\varphi_1$ = El Angulo de desfase antes de la corrección

$\varphi_2$  =El Angulo de desfase que se desea obtener con la corrección

La potencia de la batería de condensadores es igual a:

$$Q_c = (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) * P = K * P \qquad Q_{CY} = Q_{c \Delta} \qquad C_Y = 3 * C_{\Delta}$$

### 2.2.3.3 Mejora del factor de potencia.

Si al usuario le facturan por concepto de energía reactiva, significa que el suministro eléctrico tiene un factor de potencia menor a 0,95. Para determinar el factor de potencia del suministro eléctrico, se debe contar con la información de consumo de energía activa y reactiva del mes.

EA leída mes: Energía Activa leída mes



ER leída mes: Energía Reactiva leída mes

Cos: Coseno

$\tan^{-1}$ : Tangente Inversa.

FP: Factor de Potencia

$$FP = \text{COS} \left( \tan^{-1} \left( \frac{\text{ER leída mes}}{\text{EA leída mes}} \right) \right)$$

Como el factor de potencia calculado es menor a 0,95, la concesionaria facturará el cargo por energía reactiva.

## **2.2.4. Optimización mediante compensación reactiva**

### **2.2.4.1. Bancos de capacitores.**

Los bancos de capacitores estarán formados por unidades de una capacidad tal que la desconexión de una de ellas en cualquier fase no ocasione una elevación de voltaje en el resto de las unidades de esa fase que haga necesario el disparo del SVC. Los fusibles de las unidades deben ser de tipo interno. En caso de condensadores secos con tecnología Fúseles se debe garantizar que ante la falla de una o dos unidades el banco de capacitores total soporta las condiciones extremas de operación especificadas y en estos casos se debe dar alarma identificando por separado la condición de falla de una unidad o la condición de falla de 2 unidades.

- Para falla de 3 unidades de capacitores se debe dar disparo.
- El material dieléctrico será libre de PCB.
- Las pérdidas máximas aceptables a 25 °C serán de 0.15 Watts/kVAr.

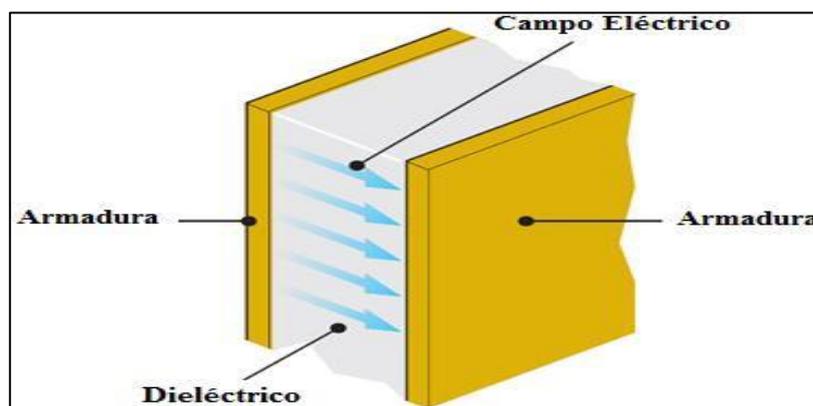
Para los diseños de los filtros, el fabricante debe considerar la estandarización de los valores de capacitancia de los filtros y las tensiones de operación, esto con el fin de poder utilizar las unidades de repuesto en cualquier filtro 5th, 7th, 11th, 3th (Si estos son requeridos).

El fabricante debe suministrar como mínimo unidades de repuesto el 10% del total de los condensadores instalados y en todo caso el número final a suministrar debe ser compatible con el estudio de RAM (RELIABILITY, AVAILABILITY AND MAINTENABILITY).

Si los bancos de condensadores son construidos en tres ramas una por fase montaje vertical, el fabricante debe suministrar un polipasto, el cual se instalará en la fase superior del banco para permitir reemplazar unidades de capacitores falladas en el menor tiempo posible.

#### 2.2.4.2. Baterías de condensadores estáticos.

El condensador es un bipolar pasivo constituido por dos superficies conductoras, llamadas armaduras, entre las cuales se interpone un material dieléctrico.



**Figura N° 4:** Batería de condensadores del sistema eléctrico.

**FUENTE:** E. Pincolini, 2009.

#### 2.2.4.3. Capacitores Shunt

- Los capacitores shunt son usados mayormente en Sistemas de Distribución para la corrección del factor de potencia y control de voltaje de alimentadores
- Para grandes plantas industriales, la corrección del factor de potencia se aplica a nivel de: motores individuales, grupos de motores y en toda la planta



- También se utilizan para compensar las pérdidas en los sistemas de Transmisión y para asegurar niveles de voltajes satisfactorios durante condiciones de alta carga.
- El banco de condensadores son conectados o bien directamente a la barra de alta tensión, o al devanado terciario de un transformador de potencia si existe.

#### **2.2.4.4. Reactores**

Los Reactores serán del tipo de núcleo de aire para garantizar linealidad en cualquier condición de operación. El fabricante debe suministrar al menos una unidad de repuesto para cada tipo de reactor utilizado en ramas y Filtros del SVC o donde aplique la utilización de este tipo de componentes en su diseño (por ejemplo, en el caso de tecnología VSC es normal utilizar reactores limitadores de cortocircuito en el lado de AC del convertidor).

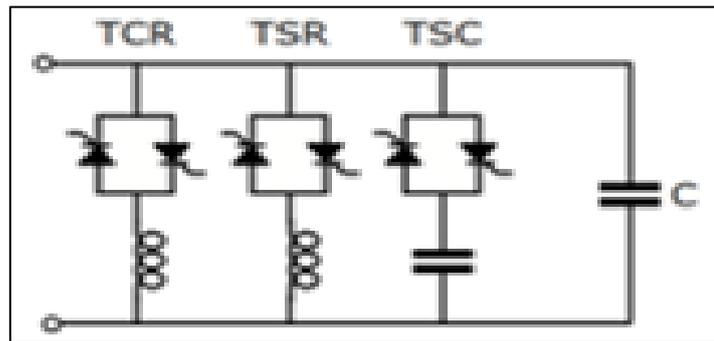
El fabricante debe considerar en su diseño las distancias magnéticas recomendadas entre reactores y piezas metálicas con el fin de asegurar que no aparecerán altas corrientes circulantes por la tierra, las mallas, las estructuras, entre otras, como consecuencia de los altos campos magnéticos producido por los reactores.

#### **2.2.5. Compensador estático de energía reactiva “svc” (static var compensator).**

Los elementos más característicos de un SVC son los condensadores conmutados por tiristores (TSC) y las bobinas conmutadas (TSR) o controladas (T

CR) por tiristores, ya que estos dispositivos son los que incluyen la electrónica de potencia. En la Ilustración 4 se muestra un esquema simplificado para un SVC donde se incluyen los elementos anteriormente mencionados. (Carrillo C., 2003)

**Gráfico N° 2:** Esquema simplificado para un SVC.

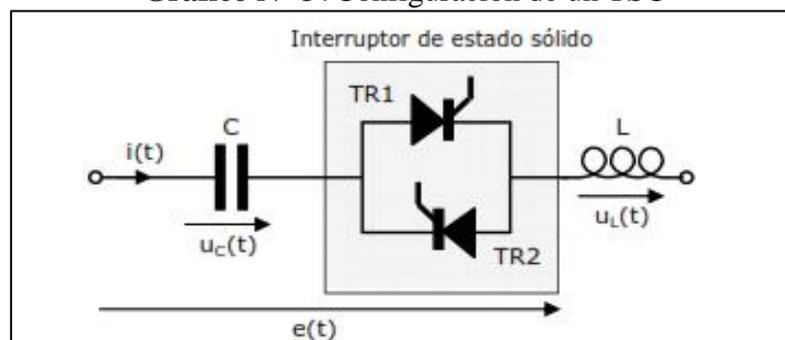


**FUENTE:** Carrillo C. 2003

### 2.2.5.1 Condensador conmutado por tiristores.

El esquema del condensador conmutado por tiristor o “THYRISTOR SWITCHED CAPACITOR” (TSC) representa la configuración más sencilla de la utilización de dispositivos electrónicos de potencia en el control de reactiva. Este elemento está formado por un interruptor de estado sólido en serie con un condensador o batería de condensadores (ver Ilustración2).

**Gráfico N° 3:** Configuración de un TSC



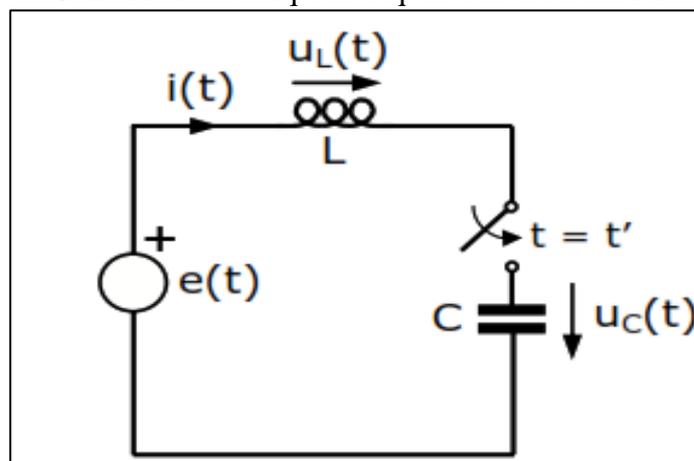
**FUENTE:** WEB

En la Ilustración 5 se muestra un interruptor de estado sólido formado por dos tiristores (TR1 y TR2) en anti paralelo. De forma que, para conectar el condensador (C) se disparan los dos tiristores al mismo tiempo empezando a conducir tan pronto estén polarizados positivamente. Para la desconexión se anula la señal de disparo y los tiristores se apagarán en el instante en que la corriente que los atraviesa cruce por cero.

En serie con el condensador es habitual encontrar una bobina ( $L$  en Ilustración 2), ya sea para limitar la derivada de la intensidad  $di(t)/dt$  y así proteger a los tiristores, o bien, para crear un filtro sintonizado a una determinada frecuencia.

La actuación del interruptor estático es prácticamente instantánea, por consiguiente, se puede elegir como instante de conexión aquel en que el valor de la tensión de alimentación provoque la menor corriente transitoria.

**Gráfico N° 4 :** Esquema equivalente de un TSC



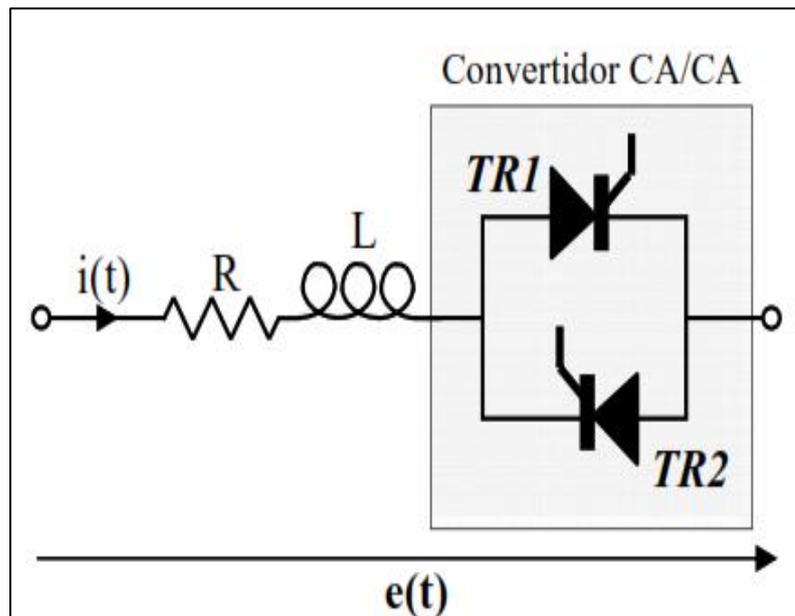
FUENTE: Carrillo C., 2003

#### 2.2.4.3.2. Bobina controlada por tiristores

Otro elemento característico en los SVC es la bobina controlada por tiristores o “THYRISTOR CONTROLLED REACTOR” (TCR). La principal misión de este elemento es la de conseguir una regulación continua y rápida de la potencia reactiva consumida por una bobina.

El esquema de un TCR (ver Ilustración 4) está formado por una bobina ( $R+L$ ) y un convertidor CA/CA compuesto por dos tiristores en anti paralelo. En este caso, a la electrónica de potencia se le aplica un control de fase, de forma que se regula el valor eficaz de la corriente que circula a través de la reactancia.

**Gráfico N° 5 : Configuración de un TCR**



**FUENTE:** RTR energía, 2012

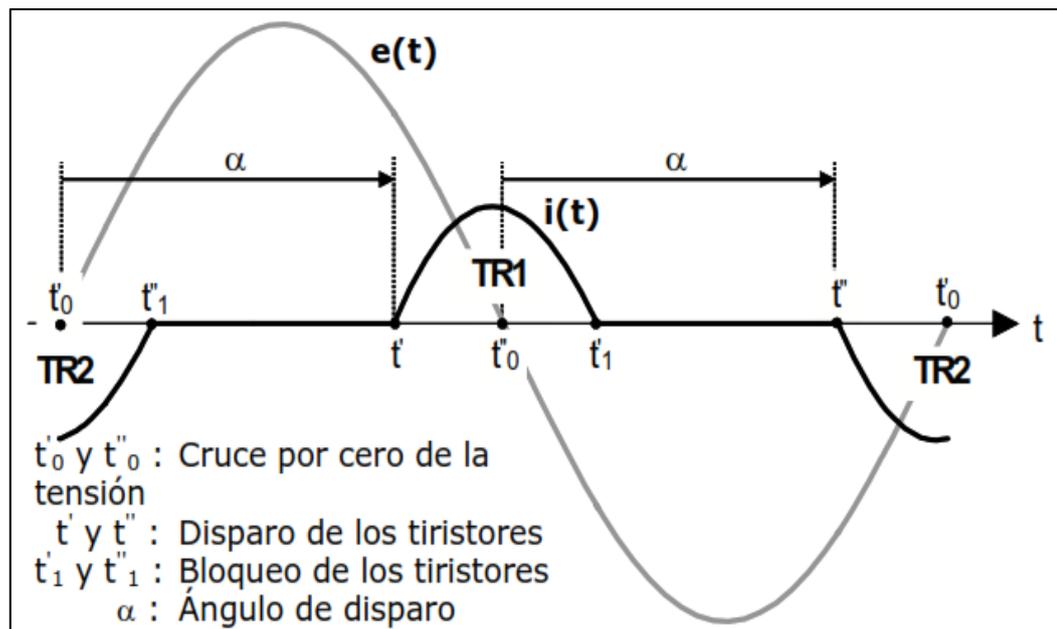
Si empleamos los tiristores como si fuese un interruptor estático en vez de realizar un control de fase, la configuración recibe el nombre de TSR, Si se requiere minimizar los transitorios de desconexión el punto más favorable sería en el momento que la tensión de alimentación alcance su máximo o mínimo nivel.

Otra alternativa podría ser la de utilizar los tiristores para controlar la intensidad de una batería de condensadores, no obstante, el aplicar el control de fase sobre capacidades ocasionaría fuertes corrientes de conexión que tendrían que soportar los propios tiristores, además de la dificultad que esto originaría en el control. (Carrillo C., 2003).

#### **2.2.5.2 Principio de funcionamiento.**

Al aplicar el control de fase sobre los tiristores, se consigue que vayan conduciendo alternativamente de forma que la intensidad resultante es una sucesión de transitorios sobre un conjunto RL. Esto es lo que se puede ver en la Ilustración 5, donde a partir de un instante definido por el ángulo de disparo  $\alpha$  se inicia la conducción de cada uno de los tiristores TR1 y TR2.

**Gráfico N° 6:** Formas de onda de intensidad de un TCR



FUENTE: Carrillo C., 2003

### 2.2.6. Análisis armónico

Para el cálculo exacto del comportamiento del TCR se consideran los posibles armónicos en la tensión de red, tomar en cuenta los tiempos de conmutación de los tiristores y la resistencia óhmica de la bobina.

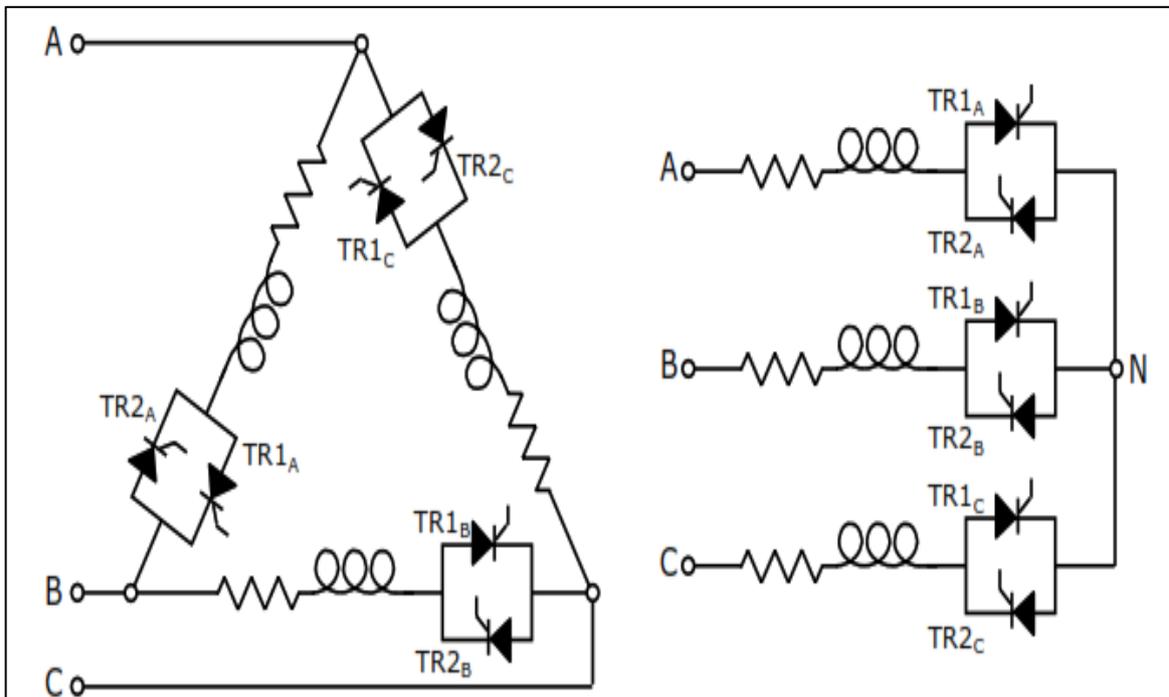
El problema que presentaría un TCR es la aparición de armónicos de orden par en el caso de que los tiempos de disparo de los tiristores sean distintos.

#### 2.2.6.1. Configuración trifásica de un TCR

En configuraciones trifásicas sólo el TCR merece un estudio particular en cuanto a los armónicos presentes o el margen de funcionamiento, ya que el TSR y el TSC tienen un comportamiento fácilmente deducible.

En la Ilustración 6 pueden verse las posibles configuraciones trifásicas (triángulo y estrella) de un TCR, aunque es habitual que la configuración empleada sea en triángulo.

**Gráfico N° 7:** Configuraciones trifásicas del TCR



**FUENTE:** RTR energía, 2012

Si se supone un sistema de tensiones sinusoidales, trifásico y equilibrado y además todos los tiristores se disparan con el mismo ángulo, las intensidades de línea presentan las siguientes características:

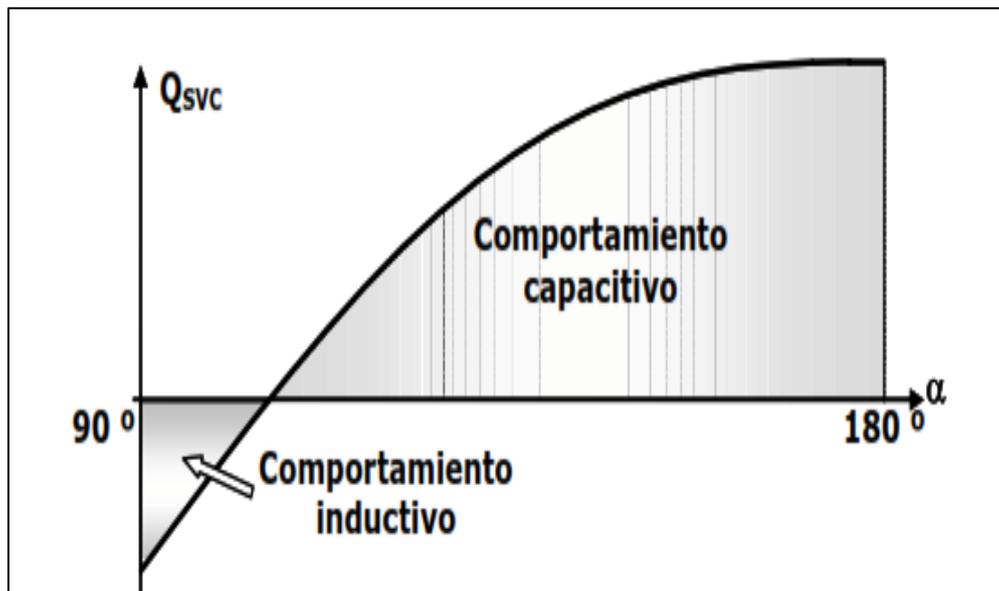
- Sólo hay armónicos impares
- El caso de una configuración en estrella con neutro aislado, no existen componentes armónicas homopolares ( $h = 3, 9, 15\dots$ ), en cambio, si la conexión es en estrella con neutro sí que aparecen dichas componentes.
- En el caso de configuración en triángulo, los armónicos homopolares en la intensidad de línea son nulos.

El margen de variación del ángulo de disparo en la configuración en triángulo o en estrella con neutro es idéntico al del caso monofásico, ya que el funcionamiento de cada una de las ramas es independiente, de forma que se puede estudiar como si fuesen tres ramas monofásicas.

### 2.2.6.2. Modelo simplificado del SVC

El comportamiento de un SVC como el mostrado en la Ilustración 7. se puede aproximar al de una susceptancia variable con un valor que depende del estado de funcionamiento del SVC, o sea, de condensadores conectados y del ángulo del TCR.

**Grafico N° 8:** Evolución de la potencia reactiva generada por el TCR en función de ángulo de disparo ( $\alpha$ )



FUENTE: Carrillo C., 2003

### 2.2.6.3. Aplicaciones del SVC (Static Var Compensator)

Dentro de las aplicaciones de los SVC destacan:

- Control de la tensión para aumentar la calidad del suministro permitiendo, por ejemplo, mitigar la aparición de flicker cuando existen hornos de arco.
- Desde el lado del transporte de energía eléctrica se emplean para mejorar la estabilidad y la capacidad de transporte de las líneas de transporte.
- El SVC se puede poner en paralelo con un determinado consumo cuyo comportamiento varíe rápidamente para obtener un factor de potencia cercano a la unidad en todo instante

- En el caso de consumos monofásicos variables, como es el caso de la tracción en trenes eléctricos, el SVC se usa para equilibrar el consumo en cualquier régimen de funcionamiento.

A continuación, se explican las aplicaciones más típicas, como son la del control de tensión y corrección del factor de potencia, así como las configuraciones posibles.

**Gráfico N° 9:** SVC fabricado por ALSTOM de +30/-25MVAr en 66kv, España 2003

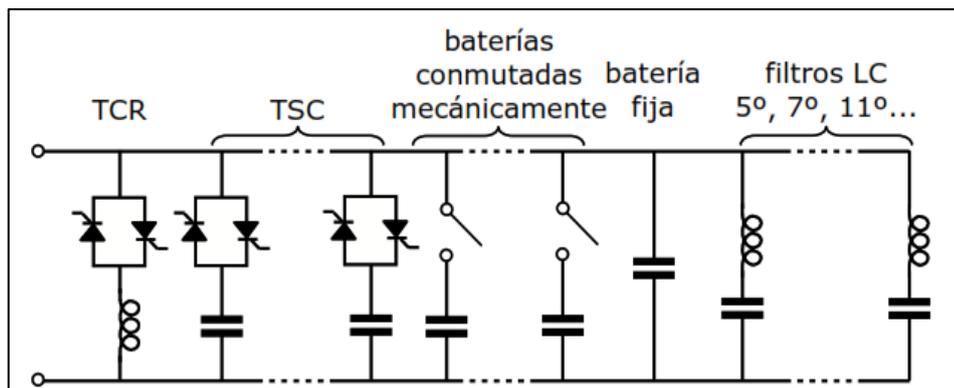


**FUENTE:** Carrillo C.

#### 2.2.6.4. Configuración de un SVC

En general un SVC puede estar compuesto por todos o algunos de los elementos mostrados en la Ilustración 9. De esta forma, el SVC tiene un comportamiento capacitivo o inductivo en función del estado de operación de las distintas unidades de capacidad (TSC o controladas mecánicamente), del TCR y de la dimensión de los condensadores fijos, ya sea en baterías o filtros LC (ver Ilustración 7).

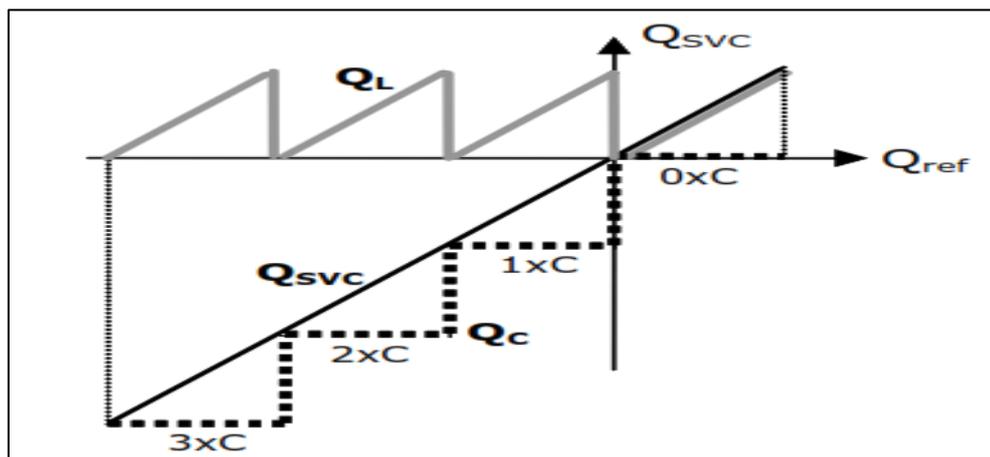
**Gráfico N° 10:** Composición por fase de un SVC



FUENTE: Barrero F., 2004

La utilización de unidades TSC en paralelo con el TCR permite disminuir su inductancia para el funcionamiento en el lado capacitivo, ya que el TCR sólo tendría que cubrir el salto de reactiva entre dos escalones del TSC. Al reducir el tamaño del TCR también disminuirían los armónicos inyectados por éste a la red. En la Ilustración 10 se puede ver el comportamiento de un SVC formado por TCR más TSC's en función de una potencia reactiva demandada ( $Q_{ref}$ ).

**Gráfico N° 11:** Evolución de la Reactiva generada por un SVC formado por un TSC+TCR



FUENTE: Barrero F., 2004

La inclusión de filtros LC, ya sea sintonizados a un determinado armónico o bien paso-bajo, sirven para evitar que parte de los armónicos generados en el TCR se transmitan a la red. Con objeto de reducir los armónicos emitidos por el SVC también se

pueden emplear estrategias como las del rectificador de 12 pulsos, dividiendo el SVC en dos y conectando cada parte a un transformador YY e YD.

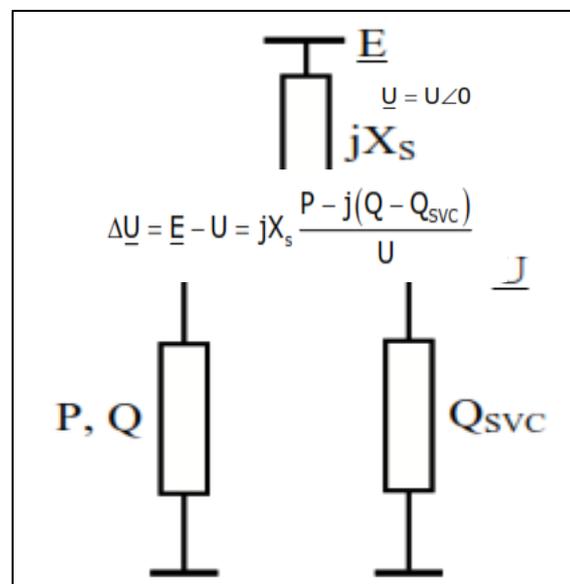
Las baterías de condensadores, o inductancias, accionadas mecánicamente pueden trabajar como unidades de reactiva de reserva que entrarían en funcionamiento en aquellas **condiciones más severas para el control realizado por el SVC.**

#### 2.2.6.4.1. Control de tensión y corrección del factor de potencia

Para analizar el comportamiento de un SVC en control de tensión corrección del factor de potencia se empleará el circuito mostrado en Ilustración 11; donde  $U$  es la tensión en el consumo,  $E$  es la tensión de suministro,  $P$  y  $Q$  representan el consumo de la carga y  $Q_{SVC}$  es la potencia reactiva generada por el SVC.

La caída de tensión  $\Delta U$  en el consumo se puede poner como:

**Gráfico N° 12:** Circuito Equivalente



**FUENTE:** Barrero F., 2004

donde se ha tomado como referencia la tensión,  $E$  es la tensión de suministro y  $Q_{svc} = B_{svc} \cdot u^2$ .



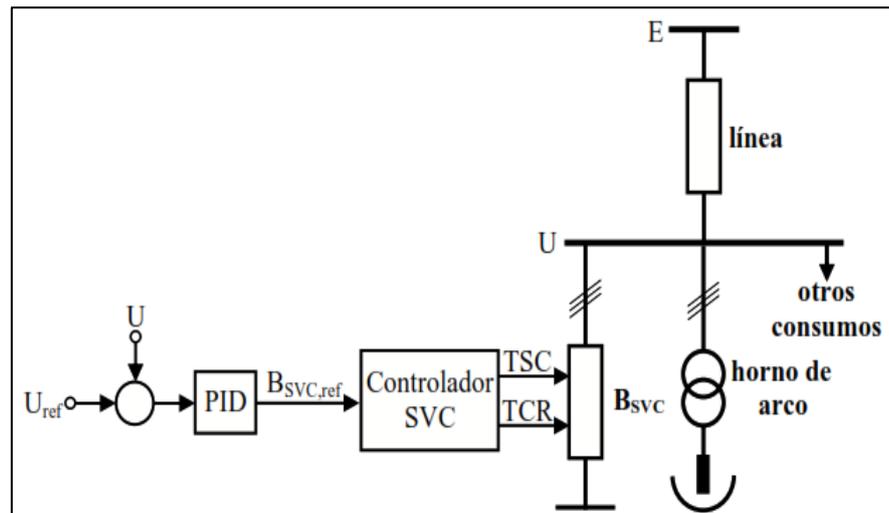
#### **2.2.6.4.2. Control de tensión mediante SVC**

El SVC se desarrolló a principios de los años 70 para el control de la tensión en puntos de la red en los que hubiese hornos de arco de eléctrico. Este tipo de horno se carga con chatarra de acero en la que se introducen unos electrodos. Al aplicarse la corriente eléctrica, la formación del arco entre los electrodos produce un calor intenso que funde el acero. Durante el proceso de fundición se producen unas variaciones bruscas y de carácter aleatorio en la corriente que se consume. De esta forma, el resto de los consumos conectados a la red en paralelo con el horno pueden padecer unas variaciones de tensión indeseables, por ejemplo, en forma de flicker.

El principio de funcionamiento del SVC, basado en electrónica de potencia, se adapta perfectamente a este tipo de situaciones, ya que se puede realizar un control progresivo y rápido de la tensión, o sea de la reactiva, en el punto de la red en el que se desee actuar.

En estas situaciones en las que la variable de control es la tensión, la actuación sobre el SVC se puede realizar a través de un regulador que actúe sobre el ángulo de disparo del TCR y que conecte o desconecte las unidades de TSC en función de la desviación de la tensión con respecto a la tensión de referencia, tal y como se muestra en la Ilustración 12.

**Gráfico N° 13:** Configuración para el control de tensión mediante un SVC.



FUENTE: Carrillo C., 2003

#### 2.2.6.4.3. Corrección de factor de potencia mediante SVC

La utilización del TSC para el control del factor de potencia en aquellas aplicaciones donde se desee minimizar los transitorios de conexión es bastante habitual, teniendo los principales fabricantes (Circuitor, Schneider Electric...) equipos de estas características. No obstante, el comportamiento de estos equipos de puede mejorar incluyendo un TCR en el diseño, de forma que la regulación del factor de potencia sea continua.

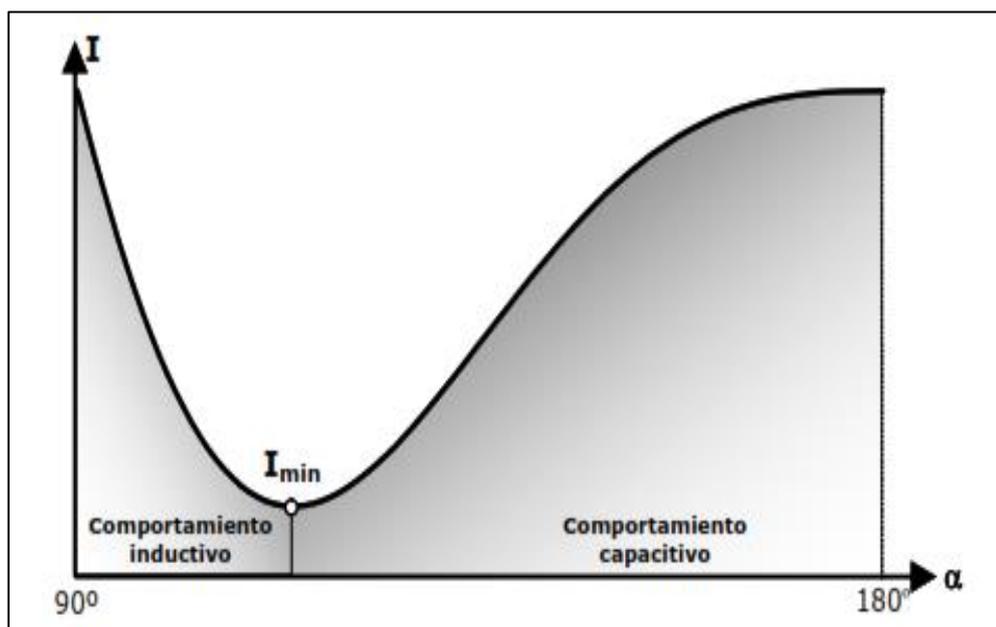
El control de estos equipos puede realizarse en bucle abierto midiendo la potencia reactiva consumida por la carga y actuando sobre el SVC o bien en bucle cerrado midiendo la potencia reactiva consumida por el conjunto formado por la carga a compensar y el SVC. No obstante, el emplear la potencia reactiva como variable entrada no está exenta de problemas, ya que es necesaria la medida simultánea de la tensión y la intensidad, además de la problemática que acarrea su definición cuando hay armónicos en la red.

Si se atiende al comportamiento de la intensidad (ver Ilustración 13), su valor para el conjunto de la carga más el compensador se puede poner de forma aproximada como:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + (Q - Q_{SVC})^2}}{E}$$

donde P y Q son, respectivamente, las potencias activa y reactiva demandadas por la carga, Q<sub>svc</sub> es la reactiva generada por el SVC y E es el valor eficaz de la tensión de red. Según este comportamiento, el control del SVC se puede realizar de forma que se busque el valor mínimo de la intensidad.

**Gráfico N° 14:** Evolución de la intensidad eficaz consumida por el conjunto del compensador más la carga en función del ángulo de disparo.



FUENTE: Barrero F., 2004



## **2.3. ANÁLISIS DE CAUSAS DEL PROBLEMA.**

### **2.3.1. Causa indirecta: bajo nivel socio económico de la población.**

Las redes primarias construidas por el Ministerio de Energía y Minas se extienden por las zonas rurales del Departamento de Puno. Estas zonas rurales son las más pobres de la región y por lo tanto su capacidad de económica es baja.

### **2.3.2. Causa indirecta: bajo consumo de energía eléctrica.**

La poca capacidad económica de la población rural está asociada al bajo consumo de energía eléctrica que limita su consumo fundamentalmente a iluminación por pocas horas en la noche.

### **2.3.3. Causa indirecta: dispersidad de las viviendas.**

En las zonas rurales se tiene muy poca densidad poblacional, estando compuesta fundamentalmente por viviendas unifamiliares muy dispersas.

### **2.3.4. Causa indirecta: líneas primarias y secundarias rurales muy largas.**

La atención de las viviendas rurales es posible por la construcción de líneas primarias y secundarias extensas. Estas redes muy largas son las que generan la energía reactiva capacitiva.

## **2.4. ANÁLISIS DE EFECTOS DEL PROBLEMA.**

### **2.4.1. Efecto directo: líneas sobrecargadas por energía reactiva**

La energía reactiva capacitiva generada por las redes es transportada por los transformadores y conductores hasta las barras de compra donde son medidas por las suministradoras de energía eléctrica y posteriormente facturadas. Del análisis de los diagramas de carga típico de cada punto de compra efectuado se aprecia que en horas valle la energía reactiva es incluso mayor que la energía activa.



#### **2.4.2. Efecto directo: excesivas pérdidas técnicas en las líneas primarias y secundarias.**

Las energías reactivas capacitivas generan un mayor consumo de corriente, y este a su vez incrementa las pérdidas técnicas de energía activa en las redes y transformadores.

#### **2.4.3. Efecto directo: niveles de tensión fuera de los límites establecidos en la NTCSER.**

La capacitancia de la línea hace que las tensiones en las zonas más alejadas del sistema eléctrico varíen (incrementándose) conforme varía la carga, siendo estas variaciones mayores a las tolerancias establecidas en la NTCSER.

#### **2.4.4. Efecto directo: penalización por incumplimiento de la NTCSER (calidad de producto).**

La variación excesiva de los niveles de tensión genera el incumplimiento de la NTCSER, la penalización y al pago por compensaciones por mala calidad de producto.

#### **2.4.5. Efecto final**

Deterioro de la Sostenibilidad e Incumplimiento de los Valores de la Empresa.

El efecto final es que la Empresa deba asumir el pago por una energía reactiva que no puede cobrar a sus usuarios. Este pago perjudica la sostenibilidad de la Empresa, reduciendo su rentabilidad.

Así mismo, uno de los valores de la Empresa es Hábito por el Ahorro, el mismo que obliga a optimizar el uso de los recursos evitando los gastos que pueden ser evitados.



## **2.5. TIPOS DE CARGAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.**

### **2.5.1. Cargas lineales.**

Una carga lineal esta carga es lineal cuando la corriente que ella absorbe tiene la misma forma de onda que la tensión que la alimenta. Además, esta corriente, no posee contenido armónico;

- Los resistores, inductores, condensadores.

Son dispositivos lineales, cuando se conecta una carga resistiva en el sistema de potencia, se obtiene una corriente senoidal. Cuando se conecta una carga inductiva, se observan corrientes sinusoidales, aunque con fase diferente a la carga resistiva.

Es una carga eléctrica que, en estado normal de operación tiene una impedancia constante a lo largo del ciclo de la señal de tensión aplicada, por lo tanto, la corriente requerida por la carga varía en función de la tensión, como se muestra en las siguientes

### **2.5.2. Cargas no lineales.**

La corriente que ella absorbe no tiene la misma forma de onda que la tensión que la alimenta, además que su impedancia cambia al aplicarle esta tensión. Esta corriente no sinusoidal

contiene componentes armónicas que interactúan con la impedancia del sistema creando distorsión de voltaje que puede afectar a los equipos del sistema de distribución y cargas conectadas, por lo que su espectro será función de las características de carga que alimenta.

La mayoría de los sistemas de potencia tolera ciertos niveles de armónicas, pero tiene problemas cuando son parte significativa de la carga total. Asimismo, la distorsión de voltaje, no de corriente, afectará los equipamientos conectados al sistema. Hay muchos tipos de cargas no lineales que producen armónicos, como las de alta potencia y uso industrial.



## 2.6. PARÁMETROS DE CALIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.

### 2.6.1. Frecuencia.

Es el número de ciclos que se producen en un segundo se representa por la (f) y se mide en Hertzios (Hz) o en ciclos/segundo. De esta definición es fácil deducir que, en el caso del alternador elemental la frecuencia es de 60 Hertz y que coincide con las revoluciones por segundo de la espira.

También se deduce que, para calcular la frecuencia, conocida el periodo, empleamos la siguiente expresión:

$$f = 1 / T$$

- 60 Hertz, Perú, EE.UU. y México.

### 2.6.2. voltaje

Como ya se sabe, en un circuito el generador es el encargado de crear la diferencia de carga, por tanto, voltaje o tensión es el que cuantifica la diferencia en el potencial eléctrico entre dos puntos lo cual el voltaje se considera como una variable independiente.

### 2.6.3. Corriente.

Una corriente es el desplazamiento de cargas de cualquier clase; por ejemplo, electrones en un conductor, en un líquido, en un gas o en el vacío, o bien protones en los mismos medios para la corriente se usa I, porque esa magnitud se llama también intensidad de corriente, o intensidad a secas.

### 2.6.4. Energía.

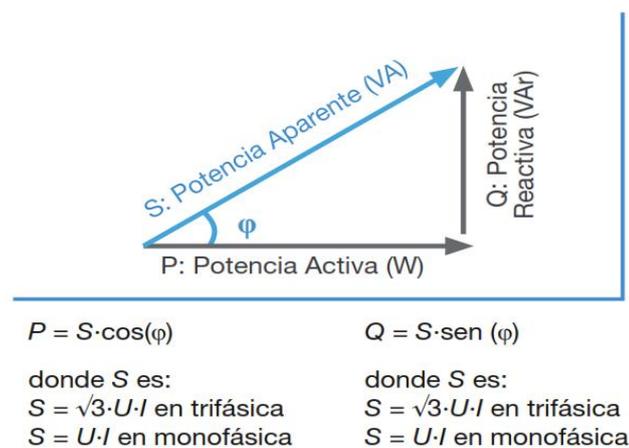
La energía es una fuente renovable la cual se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas llamadas electrones positivos y negativos, la cual se produce en el interior de materiales conductores como, cables metálicos como el cobre y entre otros.

La energía eléctrica es aquella que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico.

## 2.7. TRIANGULO DE POTENCIAS.

Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.

La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (watt).



**Figura N° 5:** Triangulo de Potencias

**FUENTE:** WEB, RTR Energía.

### 2.7.1. Potencia activa.

Los diferentes dispositivos eléctricos convierten energía eléctrica en otras formas de energía, tales como: mecánica, luminosa, térmica, química, etc..., Esta energía corresponde a una energía útil o potencia activa, o simplemente potencia, similar a la energía consumida por una resistencia.

Hemos visto previamente que esta potencia puede ser expresada en watts (W).

### 2.7.2. Potencia reactiva.

Los motores, transformadores y en general todos los dispositivos eléctricos que hacen uso del efecto de un campo electromagnético, requieren potencia activa para efectuar un trabajo útil, mientras que la potencia reactiva es utilizada para la generación



del campo magnético. Esta potencia reactiva corresponde a la potencia reactiva estando desfasada de la potencia activa. Ya vimos que esta potencia es expresada en volts-amperes reactivos (VAR).

### **2.7.3. Potencia aparente.**

El producto de la corriente y el voltaje es llamado potencia aparente, es también la resultante de la suma de los vectores gráficos de la potencia activa y la potencia reactiva.

## **2.8. ARMÓNICOS.**

Los armónicos son distorsiones de las ondas senoidales de tensión y/o corriente, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de alimentación. que, para el caso de nuestro país, la frecuencia fundamental es de 60 Hz, por lo tanto, la segunda armónica será de 120 Hz, la tercera de 180 Hz, etc.

Las formas de onda distorsionadas se pueden descomponer, con el análisis de Fourier, resultando la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas.

### **2.8.1. Análisis de los armónicos**

El cálculo de los niveles de armónicos resultantes de las fuentes armónicas del sistema requiere un conocimiento de las características de las fuentes de armónicos y una representación de las características de respuesta de frecuencia del sistema.

Para efectos del presente análisis se ha utilizado las mediciones de perturbaciones efectuadas en las barras de compra de Electro Puno S.A.A.

*ANEXO 07*\_normatividad armónicos.

### **2.8.2. Flujo de potencia armónico.**

Para el análisis del flujo de potencia armónico, se utilizaron las mediciones de perturbaciones hechas en la barra correspondiente y se modelaron las cargas con estos

armónicos de manera de obtener en el análisis de flujo de potencia armónico un THD y las componentes armónicas concordantes a la medición efectuada.

Una vez obtenida la carga adecuadamente modelada, se analizaron los diferentes sistemas eléctricos con los reactores y/o condensadores, obteniéndose así las armónicas teóricas de los sistemas propuestos.

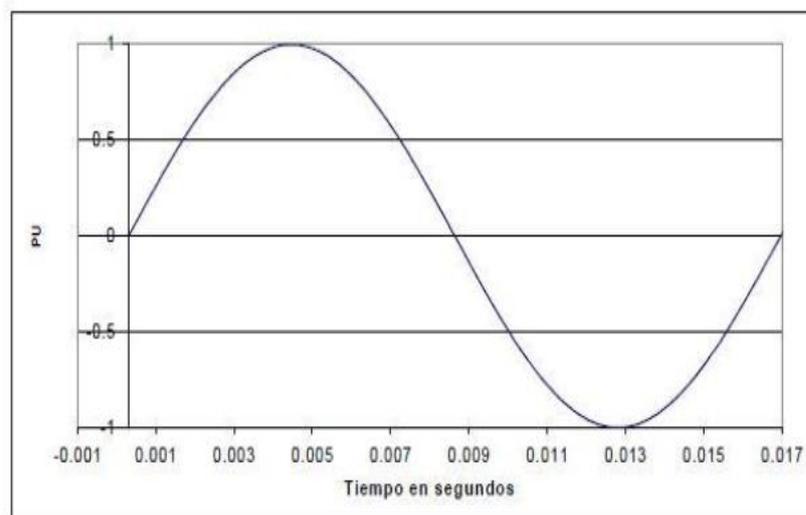
Se analizan los valores de las armónicas obtenidas verificando que estas no excedan los valores permisibles por los equipos de protección y maniobra del sistema eléctrico. Para este análisis se toma en cuenta principalmente el valor del armónico resonante calculado mediante la fórmula:

$$h = \sqrt{\frac{kVAR_{sys}}{kVAR}}$$

### 2.8.3. Mediciones de Armónicas

De acuerdo a los estándares de la calidad de onda, la onda de tensión debe tener una forma sinusoidal, con unas características determinadas (frecuencia y amplitud), tal y como se muestra en el grafico 2.

**Grafico N° 15: Onda sin contenido de Armónicos**

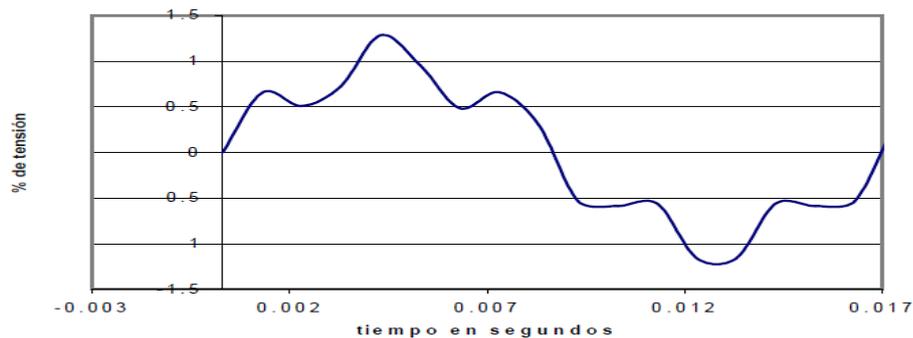


**FUENTE:** (Mendez, 2013)

### 2.8.3.1. Orden de los Armónicos.

Partiendo de que la frecuencia fundamental en Perú es de 60 Hz, el número de orden determina el número de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la fundamental: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7... Orden natural de los números. También se define como la relación que hay entre la frecuencia del armónico.

**Grafico N° 16: Orden de Armónicos**



**FUENTE:** (Azarcoya, 2003)

### 2.8.3.2. Frecuencia en los armónicos.

Se define como el resultado de multiplicar el número de orden del armónico por la frecuencia fundamental (60 Hz), por ejemplo:

armónica 3 x 60 Hz = 180 Hz.

armónica 5 x 60 Hz = 300 Hz.

armónica 7 x 60 Hz = 420 Hz.

Los armónicos de orden impar son los que se encuentran en las redes eléctricas de la industria, edificios y explotaciones industriales, aeropuertos, etc. Los de orden par solo aparecen cuando hay asimetría en la señal eléctrica.

### 2.8.3.3. Tipos de corrección.

En los capítulos anteriores se ha visto cuáles son las ventajas técnicas y económicas de la compensación. Queda por explicar dónde se deben instalar los condensadores para sacar el máximo rendimiento de dichas ventajas.



Si bien no existen reglas específicas para los diferentes tipos de instalaciones y, en teoría, los condensadores pueden instalarse en cualquier punto, es preciso evaluar su ejecución práctica y económica. A partir de las modalidades de ubicación de los condensadores, los principales métodos de corrección son:

- Corrección del factor de potencia distribuida.
- Corrección del factor de potencia por grupos.
- Corrección del factor de potencia centralizada.
- Corrección del factor de potencia mixta.

#### **2.8.4. Filtros para la reducción de armónicas.**

Junto con los inductores, y con objeto de limitar los efectos de los armónicos en una red, pueden emplearse los bancos de condensadores. De hecho, la combinación condensador-inductor constituye un filtro para armónicos. IEC EN 61642: Proporciona orientación para el uso de Filtros armónicos y condensadores shunt para la limitación de armónicos y la corrección del factor de potencia. Anteriormente hemos visto que, para evitar los efectos negativos de la resonancia, es necesario insertar un inductor en serie a un condensador. Siguiendo esa misma lógica, se puede insertar en un punto específico de la red una combinación de un inductor y un condensador oportunamente dimensionados con una frecuencia de resonancia igual al orden del armónico de corriente que se quiere eliminar.

##### **2.8.4.1. Filtros Pasivos.**

Los filtros pasivos se pueden clasificar en categorías:

- Los de sintonización única: Representan una ruta de baja impedancia para los armónicos de corriente y suelen estar contruidos mediante arreglos LC sintonizados a los armónicos 5°, 7° y 11° ya que son estos los armónicos de mayor magnitud que regularmente se pueden encontrar en los sistemas trifásicos industriales.



#### **2.8.4.2. Filtros Pasivos Paralelo - Resonante.**

Un filtro con una inductancia  $L$  y una capacitancia  $C$  en serie forman un circuito con frecuencia resonante, sintonizado para eliminar el armónico de corriente deseado, Este filtro presenta una mínima impedancia (resistencia propia del inductor), con lo cual absorbe corriente armónica con baja distorsión de voltaje.

#### **2.8.4.3. Filtros Pasivos Serie.**

Conectados en serie con la carga no lineal, un filtro pasivo serie presenta una alta impedancia a los armónicos cercanos a la frecuencia de sintonía y bajas impedancias a medida que los armónicos se apartan por debajo o por encima de dicha frecuencia, usados comúnmente en instalaciones monofásicas con cargas no lineales, también se los conecta al neutro de instalaciones de capacitores para bloquear el flujo de armónicos.

Usualmente los filtros pasivos serie se diseñan para tener una impedancia baja a corriente fundamental, siendo esto una desventaja porque su componente tiene que ser dimensionados para la corriente nominal de carga. (Mendez, 2013)

#### **2.8.4.4. Filtros Activos.**

Los filtros activos son equipos que cancelan las perturbaciones de tensión o corrientes armónicas presentes en la red mediante la inyección activa de tensiones o corrientes de igual magnitud a las perturbaciones, pero desfasadas  $180^\circ$ . Se construyen alrededor de inversores controlados mediante técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM 14, por sus siglas en inglés) que conectan a la línea de CA con un sistema de almacenamiento de energía en el lado de CD. El circuito de control incluido tiene a su 14, PWM: Pulse Width Modulation (modulación por ancho de pulsos). 86 cargo la obtención y seguimiento de las referencias de compensación. Los filtros activos se clasifican de acuerdo a variable a compensar. (Azarcoya, 2003)

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación se realizará mediante el método ANALÍTICO COMPARATIVO, para el diseño de equipos de compensación en su ámbito de gestión de potencia reactiva lo cual es identificar el factor de potencia en las líneas de transmisión y otras fuentes como los bancos de condensadores con el método de simulación NEPLAN, con la finalidad de analizar y dar solución al problema.

**Gráfico N° 17:** Metodología de investigación



**FUENTE:** Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

La población general, se determina en las Subestaciones eléctricas de transformación 60kv - 22.9Kv – 10kv, líneas de transmisión de 22.9kv de en PUNO, ILAVE y POMATA pertenecientes a la empresa concesionaria ELECTRO PUNO S.A.A.

**Tabla N° 2:** Población y muestra de investigación.

SUBESTACIONES DE TRANSFORMACION	PROVINCIA	DISTRITO	COORDENADAS UTM	
			X	Y
PUNO	Puno	Puno	390154.80	8249305.15
ILAVE	El Collao	Ilave	432556.62	8220189.26
POMATA	Chucuito	Pomata	468378.11	8201398.82

Elaboración por el equipo de trabajo.

- Se toman datos de cargas de consumo eléctrico, medición de los parámetros eléctricos, corriente, frecuencia, tensión, factor de potencia, distorsión armónica.
- Se toman también la DATA fuente proporcionada por ELECTRO PUNO S.A.A.
- Obteniendo los datos tomados a razón de Cada 15 minutos durante 6 meses del año 2017. En la S.E.T. Puno 22.9. **ANEXO 01**

### 3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN.

La presente investigación se llevó a cabo en el departamento de Puno, la ubicación de las S.E.T.s. se muestran a continuación en la ilustración.

**Gráfico N° 18:** Ubicación geográfica



Elaboración por el equipo de trabajo

Para la identificación del área de influencia debemos tener en cuenta que cada barra de compra de energía considera uno o más subestaciones de transformación, sistemas eléctricos o líneas de transmisión, debido a esto se ha analizado cada barra de compra por separado, por lo que la identificación de acuerdo con el siguiente cuadro:

**Tabla N° 3:** Ubicación y descripción

ítem	Barra de Compra	Distrito	Provincia	Nivel de Tensión (kV)	Alimentador / Línea
1	Ayaviri 23	Ayaviri	Melgar	22.90	6003
2	Azángaro 60	Azángaro	Azángaro	60.00	LT Azángaro - Antauta
					LT Azángaro - Putina - Ananea - Huancane
3	Azángaro 23	Azángaro	Azángaro	22.90	8001
					8002
4	Puno 60	Puno	Puno	60.00	LT TOTORANI - BELLAVISTA
					LT - PUNO - ILAVE - POMATA
5	Puno 23	Puno	Puno	22.90	0101
					0104

Elaboración por el equipo de trabajo.

**Tabla N° 4:** Descripción de S.E.T.s

NOMBRE DE SUBESTACIÓN	NIVEL DE TENSION	POTENCIA NOMINAL
PUNO TOTORANI	138/60/22Kv	55/55/16MVa
PUNO BELLAVISTA	60/10Kv	T1 5.5MVa/T2 7MVa
ILAVE	60/22.9/10Kv	7/7/2 Mva ONAN 9/9/2.5 Mva ONAN
POMATA	60/22.9/10Kv	7/7/2 Mva ONAN 9/9/2.5 Mva ONAN

Elaboración por el equipo de trabajo – Datos ELPV



**Tabla N° 5:** Redes Primarias en Media Tensión

NOMBRE DE SUBESTACIÓN	SALIDA	ZONA	NIVEL DE TENSIÓN
PUNO TOTORANI	0104	LARAQUERI	22.9KV
	0101	PARCAUCOLLA	22.9KV
ILAVE	01	ZONA BAJA, PILCUYO, CAMICAHU, STA. ROSA DE YANAQUE	22.9KV
	02	ACORA, PLATERIA, CHUCUITO	22.9KV
	03	ILAVE, ZONA ALTA, YAURIMA	22.9KV
POMATA	01	JULI	22.9KV
	02	YUNGUYO, ANAPIA	22.9KV
	03	DESAGUADERO	22.9KV
	04	POMATA	22.9KV

**FUENTE:** Datos proporcionados Electro Puno S.A.A



### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN.**

#### **3.4.1. Técnicas para recolección y análisis de datos.**

Los datos históricos fueron obtenidos de los anuarios estadísticos del OSINERGMIN, las Memorias Anuales de ELECTROPUNO, de las bases de datos del SICOM y SICLI e información comercial y registros del Centro de Control de Operaciones de ELECTROPUNO “CCO” y del “Estudio de Modificación del Plan de Inversiones en Transmisión de Electro Puno S.A.A. 2013 – 2017” elaborado por Gestión y Energía SAC.

Asimismo, la data obtenida mediante medición en las diferentes barras de conexión en las S.E.T.s. de Puno, Ilave y Pomata.

#### **3.4.2. Selección de datos y puntos.**

Para la recolección de Base de datos de pagos de energía reactiva que la empresa distribuidora ELECTRO PUNO S.A.A. viene realizando, debemos de tomar en cuenta lo siguiente:

- Usuarios y/o localidades en donde existe mayor incidencia de consumo (*ANEXO 02*) y Cantidad de Energía Reactiva.
- cantidad de energía reactiva en las redes me media y alta tensión, en redes primarias de las S.E.T. s. PUNO, ILAVE, POMATA.
- Base de datos de Repercusiones Económicas generadas a la empresa ELECTRO PUNO S.A.A. por S.E.T. s.

En el siguiente cuadro logramos acceder a los costos generados por Energía Reactiva, esto proporcionado por la base de datos de ELPU S.A.A. en el año 2016 y 2017, observando la magnitud de repercusión que esta tiene en casi toda el área de concesión de ELPU.

**Tabla N° 6:** Pagos realizados por ELPU en el lapso de 18 meses 2016 - 2017

SOLES										
BARRAS	PUNO 60 KV	PUNO 22.9 KV	JULIACA 22.9 KV	JULIACA 10 KV	AZANGARO 22.9 KV	AZANGARO 60 KV	AYAVIRI 22.9 KV	AYAVIRI 10 KV	SAN GABAN 13.8 KV	TOTAL ELPU
KVARh-Ind	-	-	-	-	-	592.42	-	-	-	592.42
KVARh-Cap	65,434.31	75,638.68	1,556.60	140.77	164,267.32	111,963.41	113,341.99	0.02	-	532,343.10

Fuente: Elaboración Propia

**FUENTE:** ELPU S.A.A.

Estos sectores tienen características similares en cuanto al comportamiento de la carga se refiere, esto debido a la extensión de las redes primarias y secundarias rurales y la baja demanda. (Cuadro detallado por meses **ANEXO 03**)

### **3.4.3. Equipo utilizado para medición.**

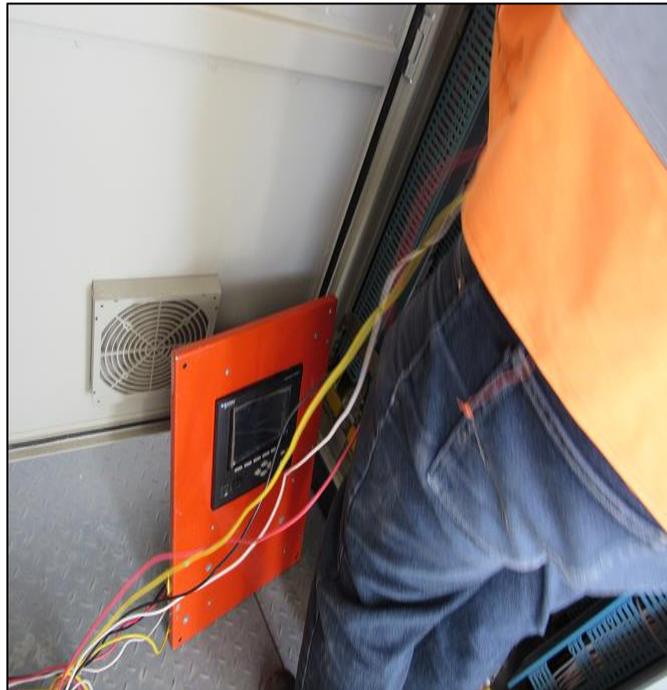
Equipo de medición de Multifunción “ION 7650 ANALIZADOR – MULTIPARAMETRO”, la cual nos permite hacer la medición de la energía reactiva, activa, armónicos, etc.; siendo muy útil para la recolección de datos.

Equipo de medición de se conectó en las celdas de control de las S.E.T’s. programando el lapso en realizar la medición correspondiente para luego almacenarlo en una fuente de datos que posteriormente extraeremos para su análisis y uso.

Características de equipo “POWERLOGIC ION7550” **ANEXO 11**

### 3.4.4. Extracción de data

**Gráfico N° 19:** Instalación de equipo MULTIFUNCION ION



Elaboración por el equipo de trabajo.

El proceso de extracción de data fuente acumulado por el equipo de medición se debe realizar paulatinamente en el formato deseado, mediante un ordenador (PC) con controladores propios del equipo de medición para luego extraerlo en cualquier programa de manejo de datos (Excel, Acces, etc..), **ANEXO 04**

### 3.4.5. Software utilizado para la simulación de la red.

Como una buena alternativa, y considerando la óptima para nuestra investigación, utilizaremos el software NEPLAN. Dado sus características de manejo como también resultados obtenidos, que permite sea utilizada en muchos proyectos y profesionales en el campo, logrando apoyarnos a la vez con los softwares ARCGIS Y QGIS para el trazado de las redes eléctricas logrando realizar una simulación georreferenciada en el software NEPLAN. Otras buenas alternativas son los softwares de flujo eléctrico como el DIGsilent, CYMDIST, entre otros que también permiten la realización y simulación de flujo, pero para la presente investigación se considera por conveniencia utilizar el

software de simulación NEPLAN por su trabajo eficiente, considerando el análisis en media tensión 22.9 KV.

### 3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATA OBTENIDO Y ANALISIS DE DATOS.

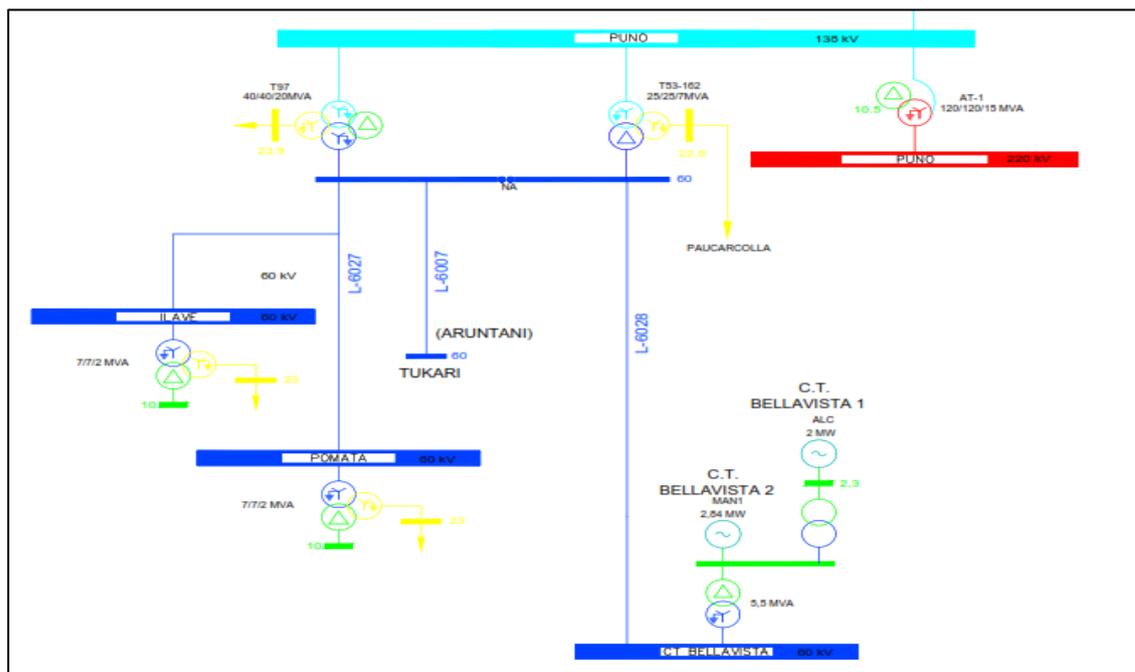
En este capítulo analizaremos la base de datos obtenido, de fuente Electro Puno S.A.A. Y Mediciones realizadas en las S.E.T.s de PUNO, ILAVE Y POMATA en media tensión.

#### 3.5.1. Identificación de punto de conexión.

Para la identificación de los puntos de medición de acuerdo a los datos requeridos, se deben en tomar en cuenta los lugares, alrededores y la factibilidad para realizar la medición, con la debida precaución y procedimientos de trabajo.

En este caso se determinó los puntos de despacho y salida de las Redes de media tensión 22.9kv, en las subestaciones de PUNO(Totorani), ILAVE Y POMATA.

**Gráfico N° 20:** Puntos de Conexión, teniendo un D.U. más detallado en ANEXO 05 (planos)



**FUENTE:** Redes de transmisión ELPU.

### 3.5.2. Procesamiento de información

Tomando en cuenta la base de datos facilitados por la empresa ELECTRO PUNO S.A.A. analizaremos por subestaciones, los cuadros nos mostrarán los valores reales de campo, para tener una referencia y realizar un análisis más profundo.

#### 3.5.2.1. Información S.E.T.S Puno, Ilave y Pomata.

**Tabla N° 7: Ventas de Energía - Electro Puno S.A.A.**

VENTAS HISTORICAS DE ENERGÍA (MWh)				
Ilave-Pomata, Puno				
AÑO	Mercado Regulado			
	AT	MT	BT	Sub-Total
1996	0	14,206	49,001	63,207
1997	0	14,291	51,003	65,295
1998	0	14,883	54,208	69,091
1999	0	15,543	58,134	73,677
2000	0	17,744	59,230	76,975
2001	0	15,533	56,083	71,616
2002	0	7,609	31,862	39,470
2003	0	7,976	33,397	41,373
2004	0	8,339	36,703	45,042
2005	0	8,627	40,152	48,778
2006	0	9,413	43,291	52,704
2007	0	10,314	46,805	57,118
2008	0	10,980	49,416	60,396
2009	0	11,158	49,289	60,448
2010	0	11,447	54,091	65,538
2011	0	12,325	59,168	71,492
2012	0	16,077	63,121	79,198
2013	0	16,706	64,789	81,494
2014	0	17,542	68,989	86,531
2015	0	18,806	72,516	91,322
2016	0	20,071	76,042	96,113
2017	0	21,336	79,569	100,905
2018	0	22,600	83,096	105,696

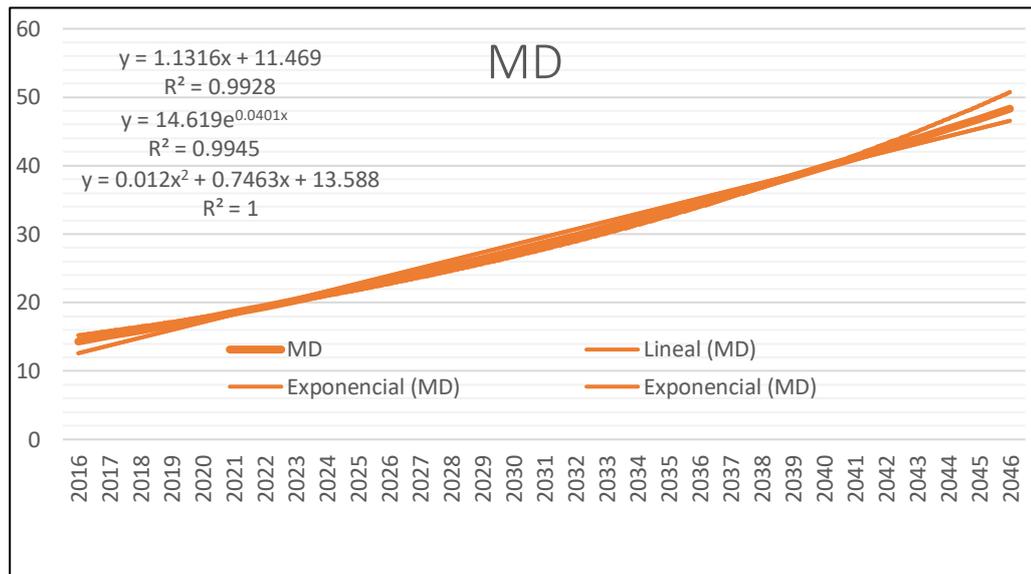
**FUENTE:** Ventas de Energía - Electro Puno S.A.A.

**Tabla N° 8: Ventas Proyectadas - Electro Puno S.A.A.**

VENTAS PROYECTADAS DE ENERGÍA (MWh)				
Ilave-Pomata, Puno				
AÑO	Mercado Regulado			
	AT	MT	BT	Sub-Total
2019	0	23,722	86,847	110,569
2020	0	24,926	90,470	115,395
2021	0	26,129	94,093	120,222
2022	0	27,332	97,716	125,048
2023	0	28,536	101,339	129,874
2024	0	29,739	104,961	134,701
2025	0	30,943	108,584	139,527
2026	0	32,146	112,207	144,353
2027	0	33,350	115,830	149,180
2028	0	34,553	119,453	154,006
2029	0	35,756	123,076	158,832
2030	0	36,960	126,699	163,659
2031	0	38,163	130,322	168,485
2032	0	39,367	133,945	173,311
2033	0	40,570	137,568	178,138
2034	0	41,774	141,191	182,964
2035	0	42,977	144,814	187,791

**FUENTE:** Ventas Proyectadas - Electro Puno

Continuación T-8.



**Tabla N° 9: Horarios de consumo y pagos**  
Fuente: OSINERGMIN - Resolución 028-2013-OS-CD, artículo 08

		Cargo por exceso de energía reactiva (ctm. S./kVARh)					
Rangos de energía reactiva (% de energía activa)		de 0 a 10 horas	de 10 a 12 horas	de 12 a 18 horas	de 18 a 23 horas	de 23 a 24 horas	
Energía Inductiva	< 36%	0	0	0	0	0	Precios 2013
	> 36% y <= 42% (Bloque 1°)	0	1.126	0	1.126	0	1.033
	> 42% y <= 48% (Bloque 2°)	0	2.139	0	2.139	0	1.963
	> 48% (Bloque 3°)	0	3.154	0	3.154	0	2.895
Energía Capacitiva	Cualquiera	2.252	0	2.252	0	2.252	

**FUENTE:** Horarios de consumo y pagos

Los horarios regulados para el cobro por energía reactiva, es proporcional al horario con mayor consumo denominado HORAS PUNTA, en las cuales se produce una abrupta subida de tensión y aumento de energía reactiva.

**NOTAS**

- La facturación del exceso de la energía reactiva inductiva es igual al producto de dicho exceso por el costo unitario (expresado en S/. kVAR.h), según se muestra en las siguientes relaciones:

$$\text{Factura} = \text{kVAR.h en exceso} \times \text{CER}$$



CER = Cargo por energía reactiva, expresado en S/. kVAR.h

En el período fuera de punta reactiva, el Cliente no tendrá derecho al consumo de energía reactiva capacitiva; en caso de producirse un consumo capacitivo en el período fuera de punta, el mismo se facturará como exceso, de acuerdo a los cargos que serán establecidos en la respectiva Resolución de Tarifas en Barra. (OSINERGMIN, 2003)

**Tabla N° 10:** Pagos efectuados por ELPU - por concepto de energía reactiva en todo su Área  
Fuente: Electro Puno S.A.A.

MES	BARRAS	EN Kv	SOLES									
		TOTAL ELPU	PUNO 60 KV	PUNO 22.9 KV	JULIACA 22.9 KV	JULIACA 10 KV	AZANGARO 22.9 KV	AZANGARO 60 KV	AYAVIRI 22.9 KV	AYAVIRI 10 KV	SAN GABAN 13.8 KV	TOTAL
Ene-16	KVARh-Ind	2129276.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	KVARh-Cap	1103801.96	2,821.32	3,559.19	63.75	0.00	8,723.62	2,858.90	6,168.57	0.00	0.00	24195.35
Feb-16	KVARh-Ind	2150912.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	592.42	0.00	0.00	0.00	592.42
	KVARh-Cap	878248.86	2,252.09	2,921.63	87.41	0.00	8,392.42	224.08	5,372.63	0.00	0.00	19250.26
Mar-16	KVARh-Ind	1875082.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
	KVARh-Cap	1561738.25	3,496.63	3,753.46	29.74	0.00	8,560.46	13,222.57	6,263.71	0.00	0.00	35326.57
Abr-16	KVARh-Ind	1903561.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
	KVARh-Cap	1179146.54	3,332.37	3,696.68	82.51	133.60	8,021.72	5,234.11	6,172.87	0.00	0.00	26673.86
May-16	KVARh-Ind	1971159.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1420535.62	4609.91	3530.5	126.96	0	8964.16	8377.12	6381.8	0	0	31990.45
Jun-16	KVARh-Ind	2002186.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1233581.53	4462.39	3595.16	68.89	0	8862.28	4620.15	6165.29	0	0	27774.16
Jul-16	KVARh-Ind	2095010.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1223786.86	4917.72	3769.76	16.29	0	8944.56	3810.86	6095.23	0	0	27554.42
Ago-16	KVARh-Ind	1869003.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1675476.13	4336.99	4054.05	79.28	0	8677.57	11122.53	6416.65	0	0	34687.07
Set-16	KVARh-Ind	1919031.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1243269.79	3712.02	3561.74	472.11	0	8155.55	6042.37	6054.61	0	0	27998.4
Oct-16	KVARh-Ind	2051883.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1351386.43	3464.58	3486.23	34.32	0.02	7108.21	7634.4	5350.89	0	0	27078.65
Nov-16	KVARh-Ind	1993353.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1381126.17	3602.78	4171.18	28.41	0	8969.54	9138.13	6104.46	0.02	0	32014.52
Dic-16	KVARh-Ind	2211827.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1118519.76	2518.38	4024.87	64.09	0	8452.77	4640.4	6227.48	0	0	25927.99
Ene-17	KVARh-Ind	1926253.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1247959.83	3293.77	4894.99	38.04	0	9631.54	4660.14	6409.22	0	0	28927.7
Feb-17	KVARh-Ind	1749308.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1178337.99	3415.83	4683.6	22.14	0.01	10204.84	4175.4	6226.04	0	0	28727.86
Mar-17	KVARh-Ind	2174912.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1186450.27	3346.47	5577.42	20.66	0.57	10996.71	1878.02	7271.87	0	0	29091.72
Abr-17	KVARh-Ind	2007941.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1266094.61	3649.25	5296.79	149.51	0	10543.24	4571.93	6833.91	0	0	31044.63
May-17	KVARh-Ind	1904944.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1742577.28	3848.36	6164.95	77.95	6.57	11252.28	14773.52	7127.12	0	0	43250.75
Jun-17	KVARh-Ind	1936623.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KVARh-Cap	1242095.15	4353.45	4896.48	94.54	0	9805.85	4978.78	6699.64	0	0	30828.74
	<b>BARRAS</b>	<b>TOTAL ELPU</b>	<b>PUNO 60 KV</b>	<b>PUNO 22.9 KV</b>	<b>JULIACA 22.9 KV</b>	<b>JULIACA 10 KV</b>	<b>AZANGARO 22.9 KV</b>	<b>AZANGARO 60 KV</b>	<b>AYAVIRI 22.9 KV</b>	<b>AYAVIRI 10 KV</b>	<b>SAN GABAN 13.8 KV</b>	<b>TOTAL ELPU</b>
	KVARh-Ind	35872274.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	592.42	0.00	0.00	0.00	592.42
	KVARh-Cap	23099229.4	65,434.31	75,638.68	1,556.60	140.77	164,267.32	111,963.41	113,341.99	0.02	0.00	532,343.10

FUENTE: Datos proporcionados por Electro Puno.S.A.A.

### 3.5.2.2. Desarrollo y procesamiento de datos por subestaciones y líneas de media tensión

#### 3.5.2.2.1. Línea Primaria en 22.9 KV Alimentadores 0101 y 0104 PUNO

Comprendiendo las zonas de Paucarcolla, Tiquillaca, Vilque, entre otras localidades como vemos en la imagen, en esta zona la Energía Reactiva que presenta es la Energía REACTIVA CAPACITIVA, esto debido a muchos factores ya mencionados.



Figura N° 6: RED 22.9kv Puno

FUENTE: Software - GIS

Tabla N° 11: Horario de comportamiento 22.9 Puno – COS f

HORA	PUNO 22.9 KV			
	ACTIVA kW	INDUCTIVA kVAR	CAPACITIVA kVAR	Cos f
0:00	396.58	0.00	465.36	0.6486
1:00	366.11	0.00	466.44	0.6174
2:00	354.88	0.00	466.12	0.6058
3:00	352.20	0.00	462.84	0.6056
4:00	358.53	0.00	462.56	0.6126
5:00	403.93	0.00	457.72	0.6617
6:00	407.11	0.00	478.12	0.6483
7:00	358.15	0.00	491.24	0.5891
8:00	342.50	0.00	463.04	0.5947
9:00	326.76	0.00	440.52	0.5958
10:00	323.35	0.00	425.48	0.6051
11:00	319.98	0.00	424.28	0.6021
12:00	316.08	0.00	420.24	0.6011
13:00	298.34	0.00	433.68	0.5668
14:00	308.96	0.00	431.80	0.5819
15:00	321.89	0.00	431.00	0.5984
16:00	331.22	0.00	426.32	0.6135
17:00	355.57	0.00	438.24	0.6301
18:00	662.75	0.00	406.08	0.8527
19:00	909.02	0.00	398.92	0.9157
20:00	869.24	0.00	408.28	0.9051
21:00	720.93	0.00	425.16	0.8614
22:00	568.57	0.24	450.68	0.7838
23:00	452.08	0.32	463.56	0.6984

FUENTE: Medición ION7550 - MULTIPARÁMETRO

### 3.5.2.2.2. Datos obtenidos sin compensación reactiva.

**Tabla N° 12:** Pago por concepto de energía reactiva durante el año 2017 sin compensación

DATOS INGRESO NEPLAN			ENERGIA [MVar]	
[hh:mm]	P [MW]	Q [MVar]	Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]
00:00	-0.86841	0.334794	0.334794	0
01:00	-0.801472	0.338414	0.338414	0
02:00	-0.776644	0.323773	0.323773	0
03:00	-0.770914	0.338956	0.338956	0
04:00	-0.784678	0.334943	0.334943	0
05:00	-0.770021	0.363305	0.363305	0
06:00	-0.830024	0.378679	0.378679	0
07:00	-0.915888	0.353097	0.353097	0
08:00	-0.813837	0.33305	0.33305	0
09:00	-0.739879	0.317217	0.317217	0
10:00	-0.779791	0.311375	0.311375	0
11:00	-0.785796	0.314697	0.314697	0
12:00	-0.767753	0.296158	0.296158	0
13:00	-0.70193	0.309296	0.309296	0
14:00	-0.817676	0.291838	0.291838	0
15:00	-0.74801	0.352724	0.352724	0
16:00	-0.785861	0.331151	0.331151	0
17:00	-0.859848	0.343179	0.343179	0
18:00	-1.687403	0.21627	0.21627	0
19:00	-2.003054	0.144992	0.144992	0
20:00	-1.91427	0.150997	0.150997	0
21:00	-1.584582	0.190782	0.190782	0
22:00	-1.284431	0.232288	0.232288	0
23:00	-1.065766	0.271288	0.271288	0

FUENTE: Datos proporcionados por Electro Puno

**Tabla N° 13:** Neplan – Alimentadores 22.9 Kv – sin compensación

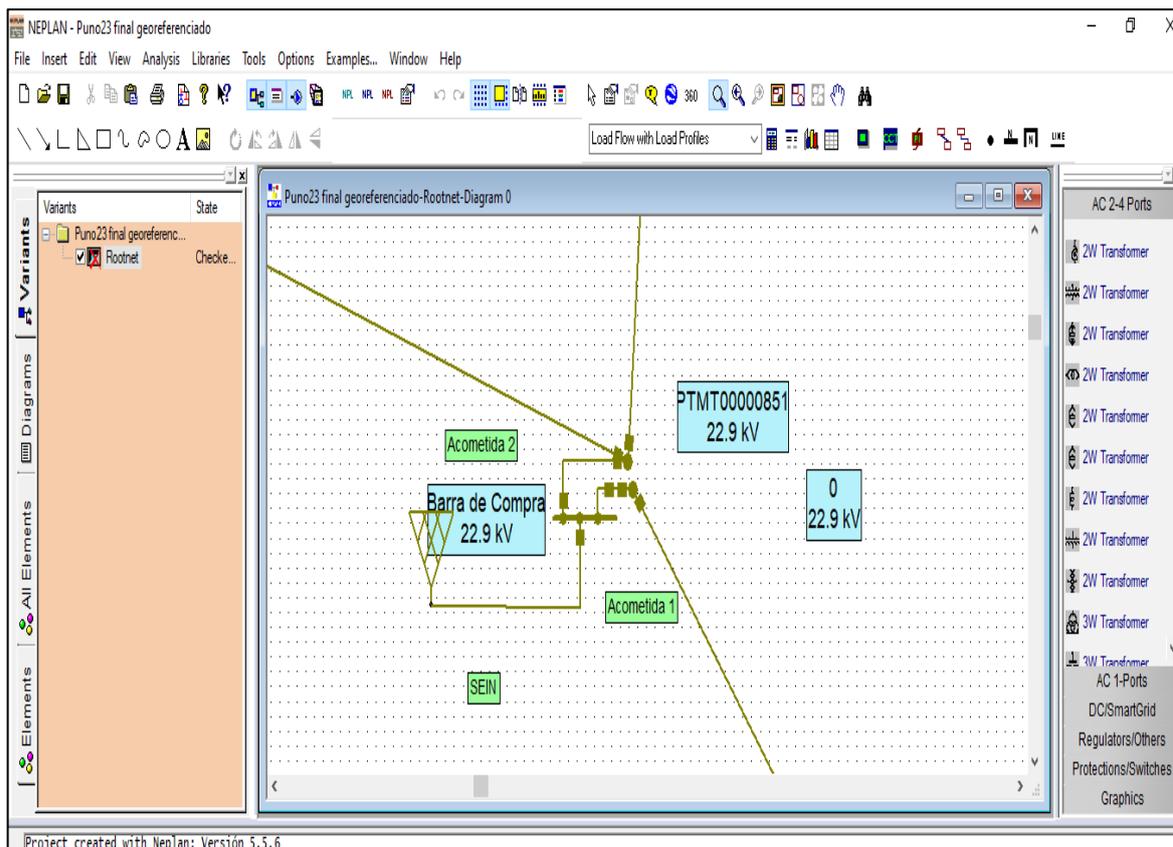
PAGO GENERADO ENERGIA REACTIVA [S/.]				Relación (Q/P) [%]	Perdidas P [MW]	Perdidas q [MW]
Energia Capacitiva [S/.]	BLOQUE 1 Energia Inductiva >36 y <42 % [S/.]	BLOQUE 2 Energia Inductiva >=42 y <48 % [S/.]	BLOQUE 3 Energia Inductiva >48% [S/.]			
S/.2,714.24					0.005408	-0.82106
S/.2,743.59					0.004733	-0.822293
S/.2,624.89					0.004433	-0.822656
S/.2,747.98					0.004439	-0.822835
S/.2,715.45					0.004555	-0.822573
S/.2,945.39					0.004535	-0.822973
S/.3,070.03					0.005198	-0.821979
S/.2,862.63					0.006008	-0.820267
S/.2,700.10					0.004835	-0.822044
S/.2,571.74					0.004063	-0.823261
	S/.0.00	S/.0.00	S/.0.00	0.00%	0.004415	-0.822534
	S/.0.00	S/.0.00	S/.0.00	0.00%	0.004486	-0.822446
S/.2,401.01					0.004245	-0.822662
S/.2,507.52					0.003696	-0.823865
S/.2,365.99					0.004718	-0.821752
S/.2,859.60					0.004282	-0.823304
S/.2,684.71					0.004551	-0.822532
S/.2,782.22					0.005352	-0.821261
	S/.0.00	S/.0.00	S/.0.00	0.00%	0.017971	-0.802108
	S/.0.00	S/.0.00	S/.0.00	0.00%	0.025054	-0.792892
	S/.0.00	S/.0.00	S/.0.00	0.00%	0.022906	-0.795487
	S/.0.00	S/.0.00	S/.0.00	0.00%	0.01583	-0.804582
	S/.0.00	S/.0.00	S/.0.00	0.00%	0.010599	-0.811988
S/.2,199.39					0	0
S/.45,496.49	S/.0.00	S/.0.00	S/.0.00		0.176312	-18.809354
Pago Total Anual (S/.)				S/.45,496.49		

FUENTE: software NEPLAN

Una vez seleccionado los datos y analizados, realizamos la migración de datos al software NEPLAN para realizar la simulación, para esto previamente se migró datos del software GIS-NEPLAN.

Mostrando el mapa completo en el *ANEXO 06*.

**Gráfico N° 21: Salidas 22.9kv TOTORANI**



Elaboración por el equipo de trabajo.

Pudiéndose observar a simple vista el tráfico de energía reactiva presente en la línea 22.9kv de Puno, pudiendo determinar los puntos óptimos de compensación de energía reactiva.

Como referente las líneas de color “verde” nos muestran el poco tráfico de energía reactiva, que llegando a las redes primarias y/o troncales de energía, logran un acumulado que se muestran en color “rojo” que son las líneas más afectadas y en donde existe mayor

incidencia de energía reactiva, dado los resultados ENERGIA REACTIVA-CAPACITIVA.

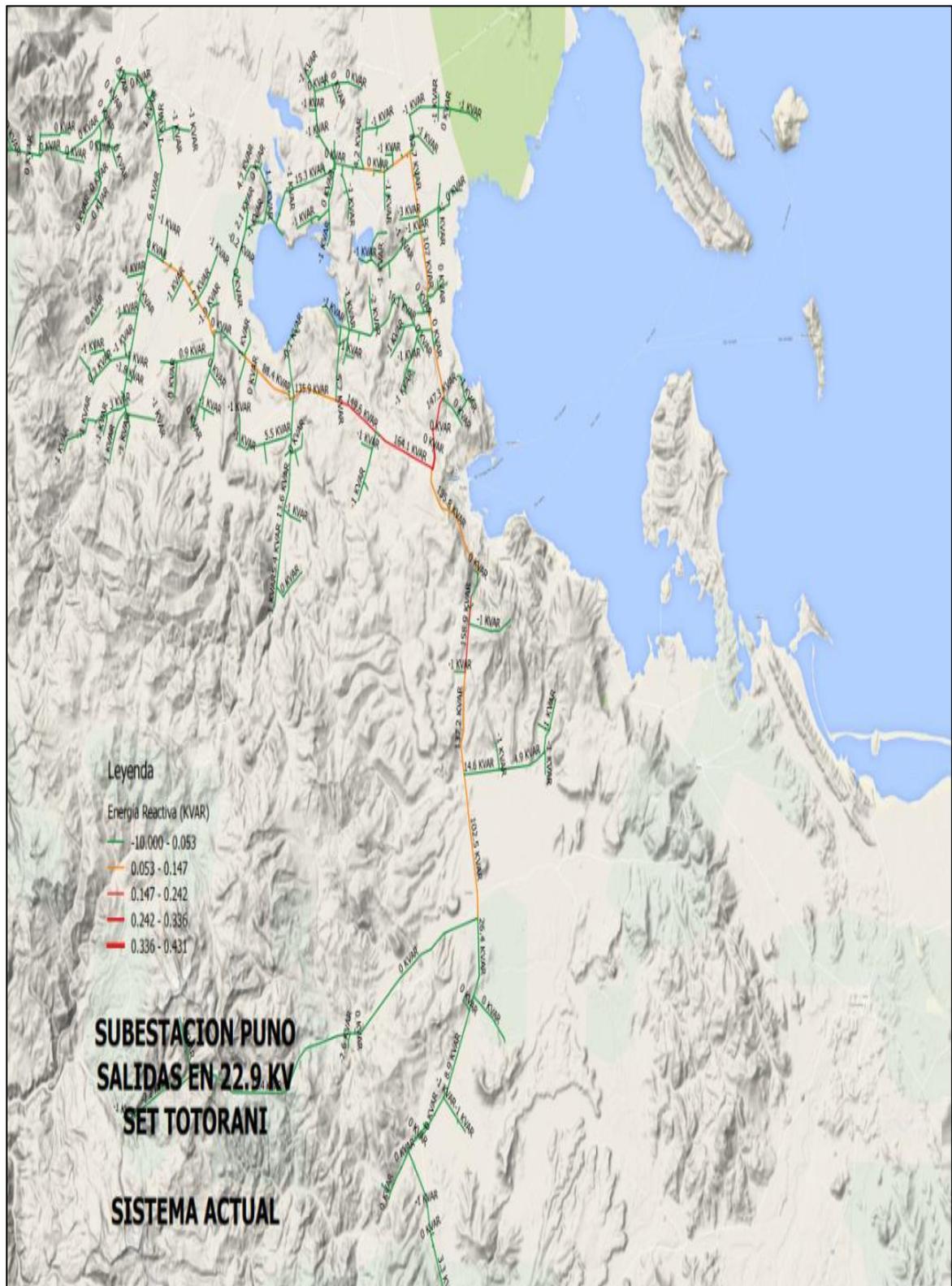


Figura N° 7 : Red 22.9 Puno – sistema sin compensación de energía reactiva.

FUENTE: Elaboración propia utilizando software gis



En la siguiente imagen podemos observar los resultados de la determinación del punto óptimo para la instalación de los equipos de compensación reactiva y sus resultados que saltan a simple vista.



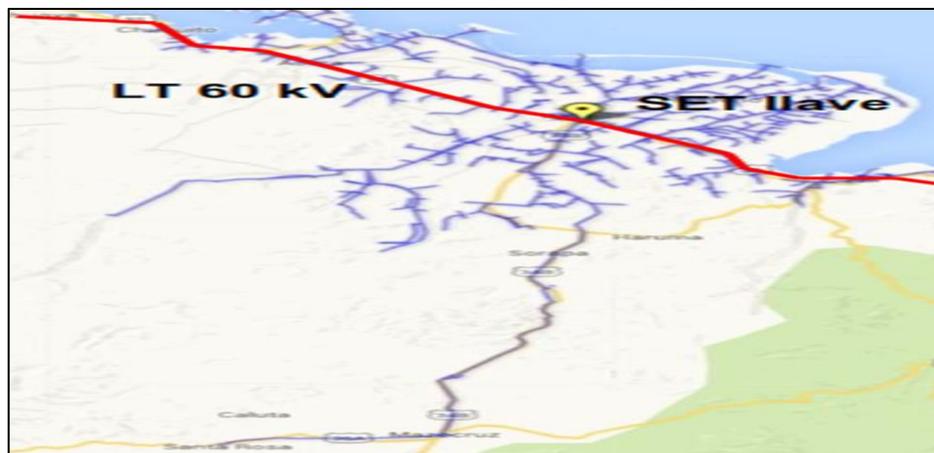
**Figura N° 8:** Red 22.9 Puno – sistema Compensado

**FUENTE:** Software – GIS

#### 3.5.2.2.4. Subestación 60/22.9/10 KV de ILAVE

Comprendiendo las zonas de ILAVE, ILAVE ZONA BAJA, PILCUYO, CAMICAHÍ, STA. ROSA DE YANAQUE ACORA, PLATERIA, CHUCUITO, ZONA ALTA, YAURIMA, entre otras localidades como vemos en la imagen, la Energía Reactiva que presenta en estas zonas es la Energía REACTIVA CAPACITIVA.

**Grafico N° 22:** Red 22.9kv - Ilave



Elaboración Propia del equipo de trabajo



**Tabla N° 16:** Datos obtenidos de la medición en la S.E.T. ILAVE salidas 22.9 Kv, Sin compensación.

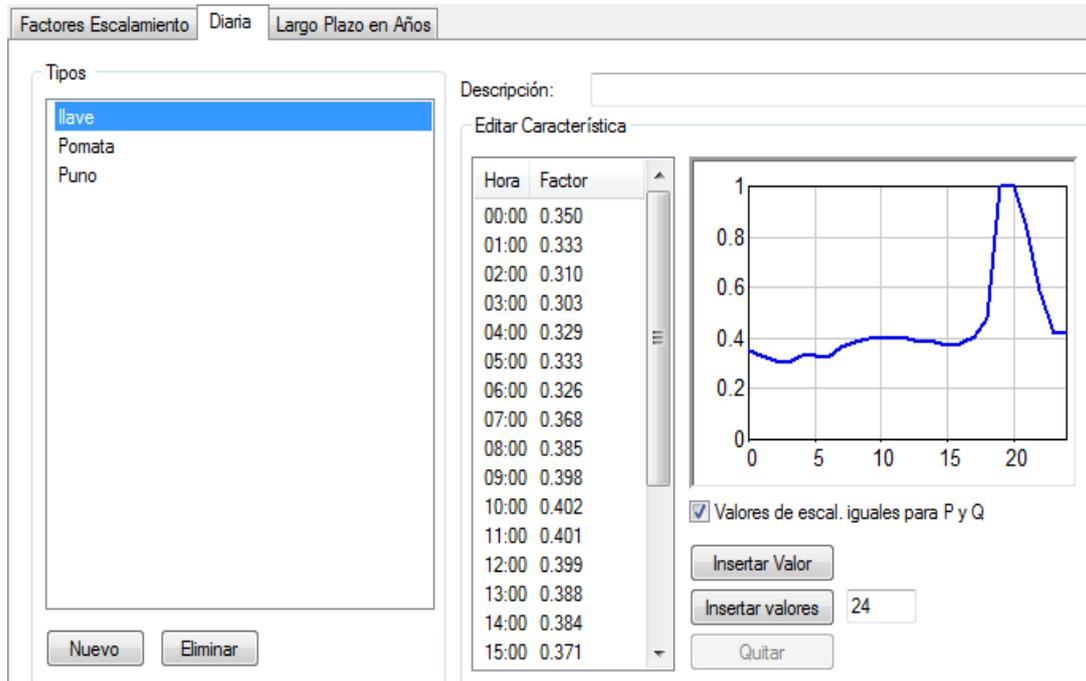
MEDICIONES - ELP U		ILAVE 22.9 kV		
DIA	HORA	ENERGIA	INDUCTIVA	CAPACITIVA
"25/09/18"	"00:30"	2,390	0	501
"25/09/18"	"01:00"	2,160	0	544
"25/09/18"	"01:30"	1,830	0	605
"25/09/18"	"02:00"	1,560	0	559
"25/09/18"	"02:30"	1,390	0	578
"25/09/18"	"03:00"	1,300	0	601
"25/09/18"	"03:30"	1,310	0	604
"25/09/18"	"04:00"	1,270	0	531
"25/09/18"	"04:30"	1,280	0	539
"25/09/18"	"05:00"	1,340	0	549
"25/09/18"	"05:30"	1,350	0	522
"25/09/18"	"06:00"	1,200	0	529
"25/09/18"	"06:30"	1,220	0	502
"25/09/18"	"07:00"	1,140	0	543
"25/09/18"	"07:30"	1,120	0	547
"25/09/18"	"08:00"	1,140	0	538
"25/09/18"	"08:30"	1,110	0	515
"25/09/18"	"09:00"	1,090	0	541
"25/09/18"	"09:30"	1,070	0	518
"25/09/18"	"10:00"	1,080	0	536
"25/09/18"	"10:30"	1,080	0	533
"25/09/18"	"11:00"	1,250	0	561
"25/09/18"	"11:30"	1,230	0	564
"25/09/18"	"12:00"	1,210	0	526
"25/09/18"	"12:30"	1,230	0	547
"25/09/18"	"13:00"	1,170	0	548
"25/09/18"	"13:30"	1,170	0	541
"25/09/18"	"14:00"	1,110	0	536
"25/09/18"	"14:30"	1,110	0	581
"25/09/18"	"15:00"	1,090	0	587
"25/09/18"	"15:30"	1,050	0	593
"25/09/18"	"16:00"	1,040	0	553
"25/09/18"	"16:30"	1,090	0	562
"25/09/18"	"17:00"	1,100	0	581
"25/09/18"	"17:30"	1,160	0	546
"25/09/18"	"18:00"	1,380	0	447
"25/09/18"	"18:30"	1,900	0	482
"25/09/18"	"19:00"	2,860	0	493
"25/09/18"	"19:30"	3,210	0	491
"25/09/18"	"20:00"	3,160	0	518
"25/09/18"	"20:30"	2,870	0	532
"25/09/18"	"21:00"	2,530	0	558
"25/09/18"	"21:30"	2,120	0	566
"25/09/18"	"22:00"	1,810	0	564
"25/09/18"	"22:30"	1,540	0	578
"25/09/18"	"23:00"	1,400	0	612
"25/09/18"	"23:30"	1,270	0	578
"25/09/18"	"24:00"	1,180	0	575

**FUENTE:** ION7550 - MULTIPARÁMETRO

Para la subestación de ILAVE y redes de 22.9, se procede del mismo modo ingresando datos al software NEPLAN.



**Gráfico N° 24:** Ingreso y configuración de Datos en el Software para S.E.T. Ilave - NEPLAN



Elaboración por el equipo de trabajo.

### 3.5.2.2.5. Subestación 60/22.9/10 KV de POMATA

COMPRIENDIENDO LAS ZONAS DE YUNGUYO, JULI, YUNGUYO, Desaguadero, entre otras localidades como vemos en la imagen, la Energía Reactiva que presenta en estas zonas es la Energía REACTIVA CAPACITIVA.

**Gráfico N° 25:** RED 22.9Kv Pomata utilizando software de trazado de línea



Elaboración por el equipo de trabajo.

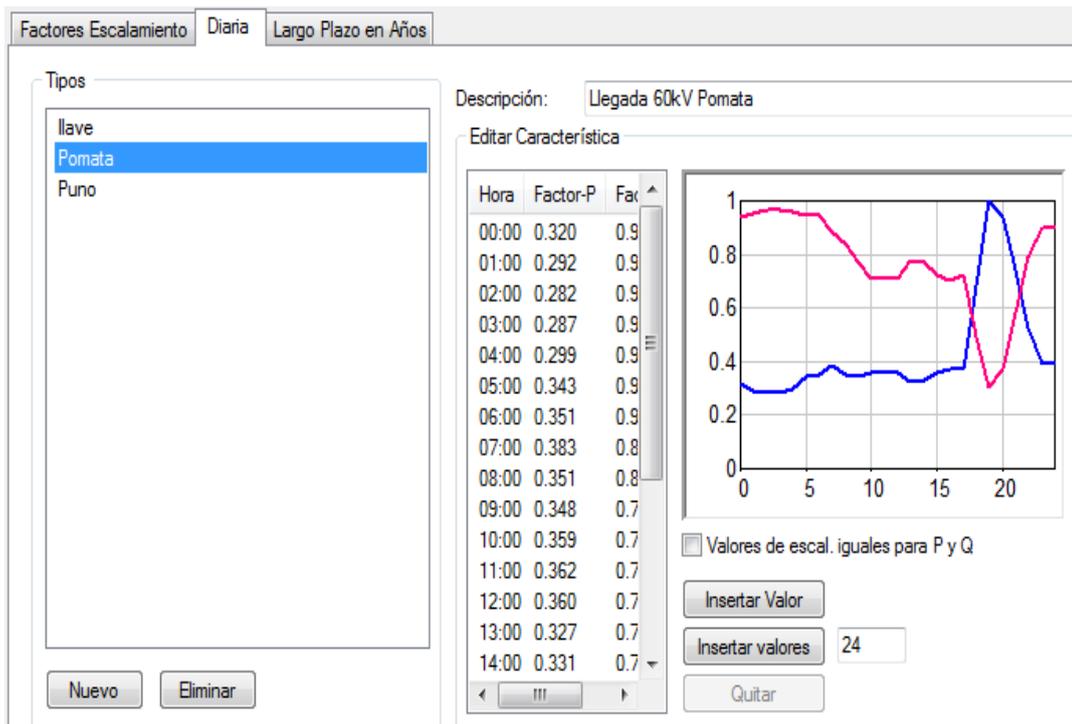


**Tabla N° 17:** Datos obtenidos de la medición en la S.E.T. POMATA salidas 22.9 Kv, sin compensación

MEDICIONES - ELPV		POMATA 22.9kV		
DIA	HORA	ENERGIA	INDUCTIVA	CAPACITIVA
"28/09/18"	"00:30"	2,700.0000	0.0000	500
"28/09/18"	"01:00"	2,480.0000	0.0000	510
"28/09/18"	"01:30"	2,130.0000	0.0000	570
"28/09/18"	"02:00"	1,860.0000	0.0000	590
"28/09/18"	"02:30"	1,610.0000	0.0000	590
"28/09/18"	"03:00"	1,540.0000	0.0000	600
"28/09/18"	"03:30"	1,480.0000	0.0000	610
"28/09/18"	"04:00"	1,450.0000	0.0000	600
"28/09/18"	"04:30"	1,400.0000	0.0000	600
"28/09/18"	"05:00"	1,560.0000	0.0000	570
"28/09/18"	"05:30"	1,460.0000	0.0000	600
"28/09/18"	"06:00"	1,300.0000	0.0000	630
"28/09/18"	"06:30"	1,260.0000	0.0000	610
"28/09/18"	"07:00"	1,370.0000	0.0000	600
"28/09/18"	"07:30"	1,410.0000	0.0000	600
"28/09/18"	"08:00"	1,380.0000	0.0000	590
"28/09/18"	"08:30"	1,310.0000	0.0000	590
"28/09/18"	"09:00"	1,330.0000	0.0000	560
"28/09/18"	"09:30"	1,400.0000	0.0000	530
"28/09/18"	"10:00"	1,380.0000	0.0000	580
"28/09/18"	"10:30"	1,330.0000	0.0000	590
"28/09/18"	"11:00"	1,320.0000	0.0000	600
"28/09/18"	"11:30"	1,320.0000	0.0000	600
"28/09/18"	"12:00"	1,300.0000	0.0000	590
"28/09/18"	"12:30"	1,240.0000	0.0000	600
"28/09/18"	"13:00"	1,240.0000	0.0000	610
"28/09/18"	"13:30"	1,190.0000	0.0000	620
"28/09/18"	"14:00"	1,190.0000	0.0000	620
"28/09/18"	"14:30"	1,130.0000	0.0000	620
"28/09/18"	"15:00"	1,160.0000	0.0000	610
"28/09/18"	"15:30"	1,150.0000	0.0000	610
"28/09/18"	"16:00"	1,170.0000	0.0000	590
"28/09/18"	"16:30"	1,130.0000	0.0000	620
"28/09/18"	"17:00"	1,210.0000	0.0000	610
"28/09/18"	"17:30"	1,280.0000	0.0000	630
"28/09/18"	"18:00"	1,530.0000	0.0000	590
"28/09/18"	"18:30"	2,090.0000	10.0000	320
"28/09/18"	"19:00"	2,810.0000	0.0000	460
"28/09/18"	"19:30"	3,100.0000	0.0000	440
"28/09/18"	"20:00"	3,120.0000	0.0000	430
"28/09/18"	"20:30"	2,950.0000	0.0000	460
"28/09/18"	"21:00"	2,740.0000	0.0000	460
"28/09/18"	"21:30"	2,420.0000	0.0000	500
"28/09/18"	"22:00"	2,170.0000	0.0000	530
"28/09/18"	"22:30"	1,840.0000	0.0000	580
"28/09/18"	"23:00"	1,720.0000	0.0000	580
"28/09/18"	"23:30"	1,590.0000	0.0000	610
"28/09/18"	"24:00"	1,490.0000	0.0000	590

**FUENTE:** medición ION7550 - MULTIPARÁMETRO

**Gráfico N° 26:** Datos en el Software para S.E.T. Pomata – NEPLAN



Elaboración por el equipo de trabajo.

**Gráfico N° 27:** Tablero de distribución POMATA

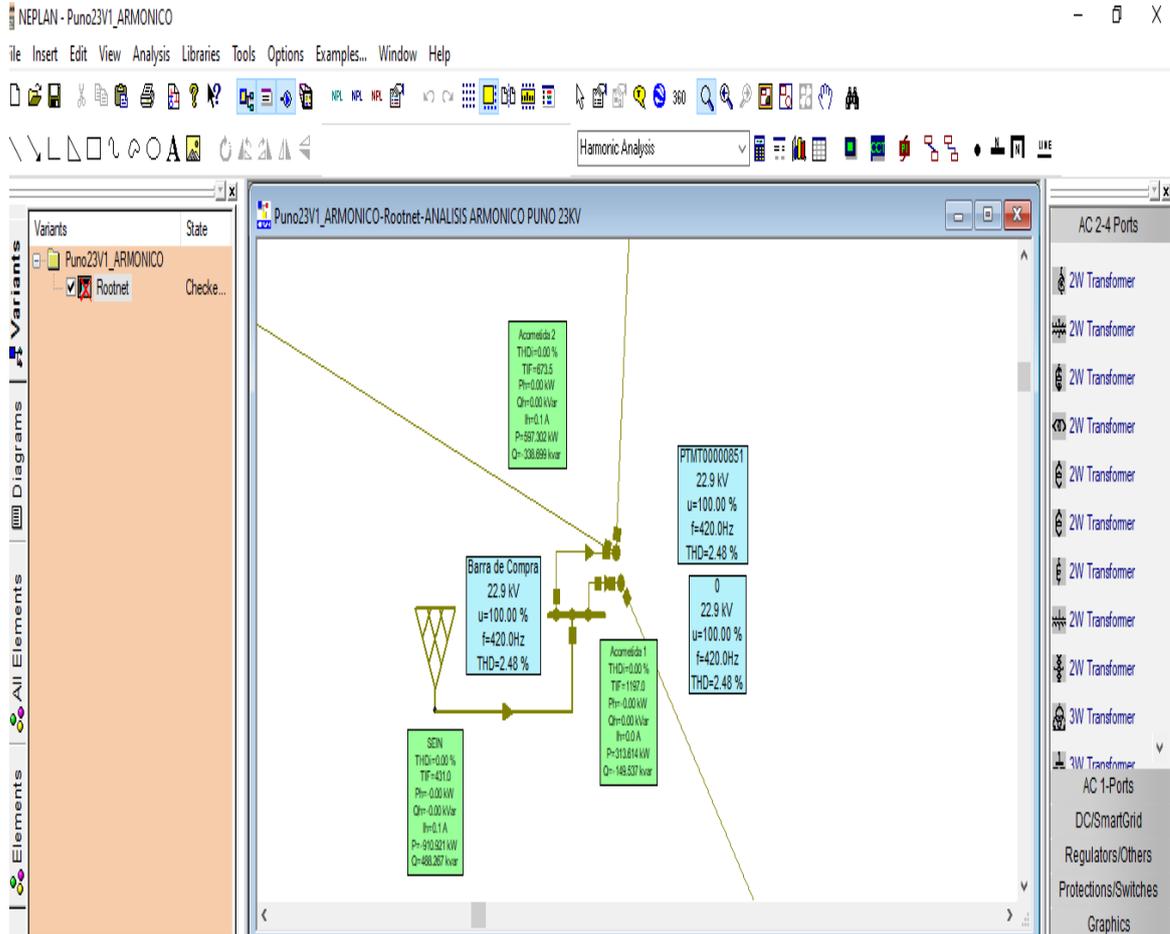


Elaboración por el equipo de trabajo.

### 3.5.3. Análisis de Armónicos - Sistema Eléctrico en S.E.T.S. Puno – Ilave – Pomata

#### 3.5.3.1. Análisis de Armónicos en - Barra 22.9 KV SET Totorani (Puno).

Grafico N° 28: NEPLAN análisis de armónicos



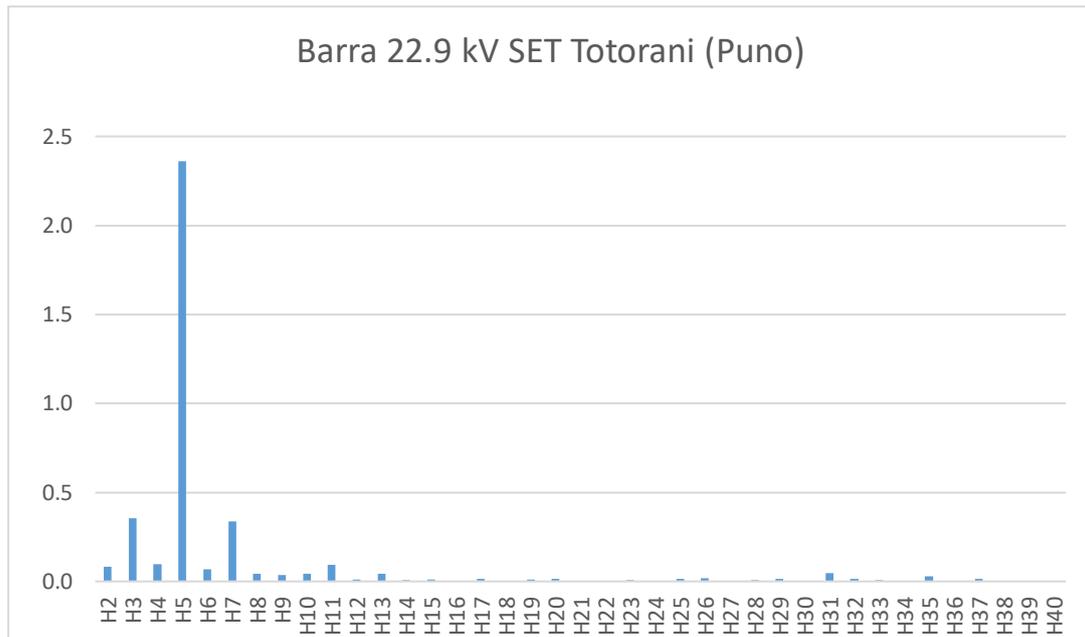
Elaboración por el equipo de trabajo.

Estas mediciones fueron efectuadas en el periodo de desarrollo de la investigación y utilizando el equipo de medición “ION 7650 ANALIZADOR – MULTIPARÁMETRO” con intervalos de 10 minutos y registro de 40 armónicas.

#### ANEXO 08

El máximo THD de este periodo es 2.47423 y cuyo histograma es el siguiente:

**Grafico N° 29:** Barra 22.9 SET - TOTORANI



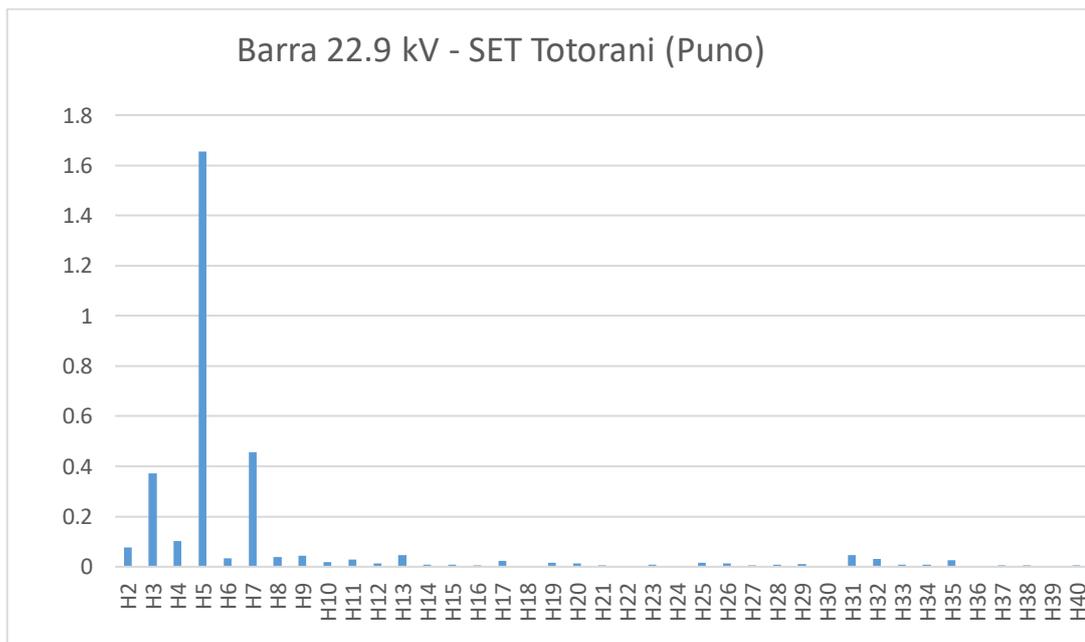
Elaboración por el equipo de trabajo.

**3.5.3.2. Análisis de Armónicos en - Barra 60 KV SET Totorani (Puno).**

Estas mediciones fueron efectuadas, con intervalos de 10 minutos y registro de 40 armónicas.

El máximo THD de este periodo es 2.47423, cuyo histograma es el siguiente:

**Grafico N° 30:** Barra 22.9 SET – TOTORANI - TDH



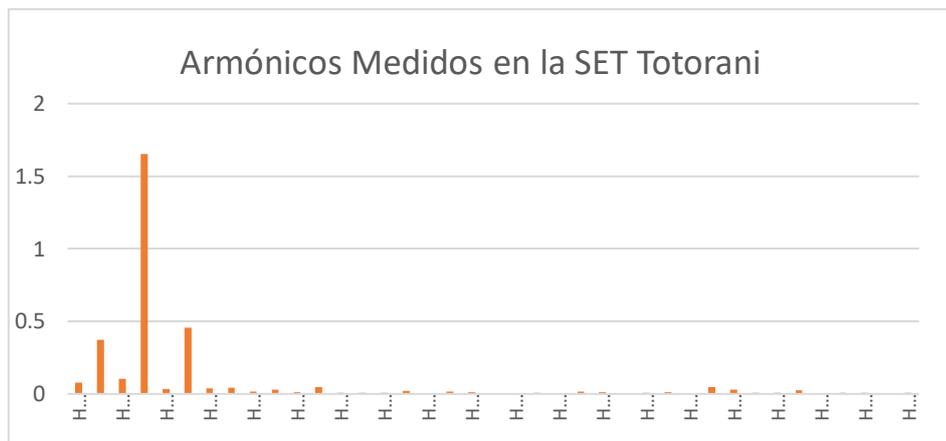
Elaboración por el equipo de trabajo.

### 3.5.3.3. Análisis del Sistema Actual

Se cuenta con la información inicial de las mediciones de calidad de producto (Armónicos) en la barra 60 kV de la SET TOTORANI

De acuerdo a esta medición se tiene como máximo un THD de 1.69%, cuyo gráfico se muestra a continuación:

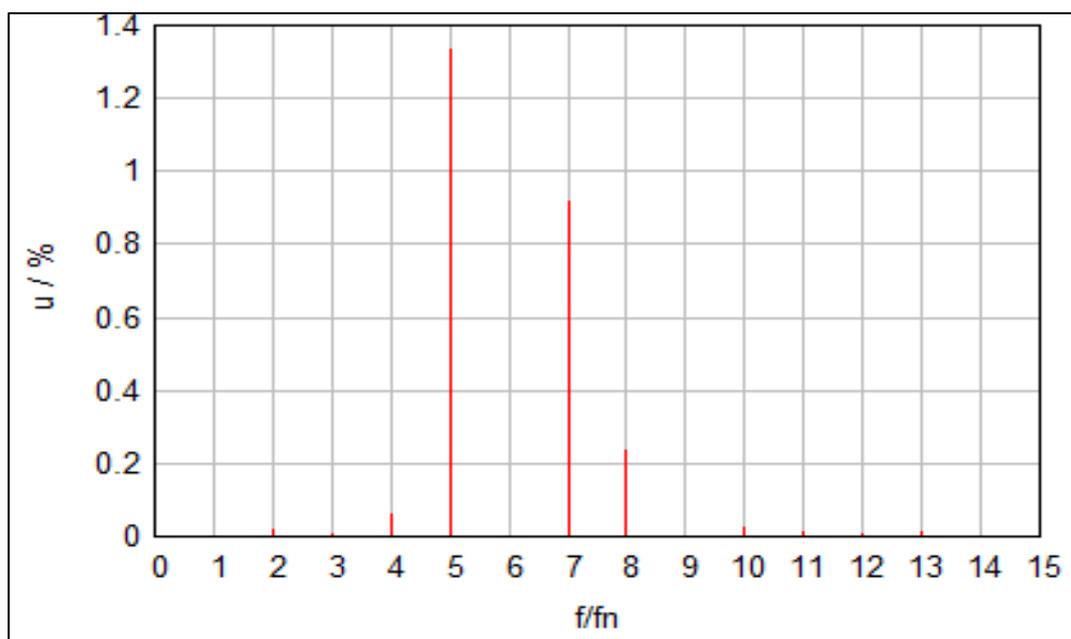
**Grafico N° 31:** Análisis de armónicos en barra de 22.9Kv TOTORANI



Elaboración por el equipo de trabajo.

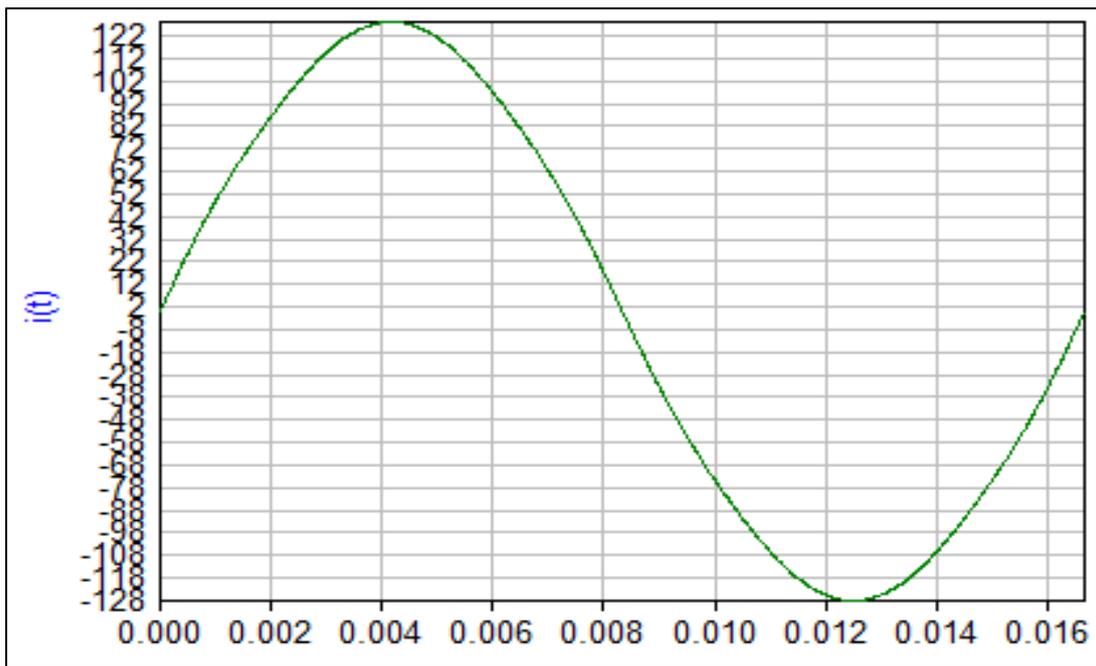
Con esta información inicial se ha simulado el sistema eléctrico de potencia obteniéndose los resultados siguientes:

**Grafico N° 32:** Resultados obtenidos



Elaboración por el equipo de trabajo.

**Grafico N° 33:** Simulación del sistema eléctrico



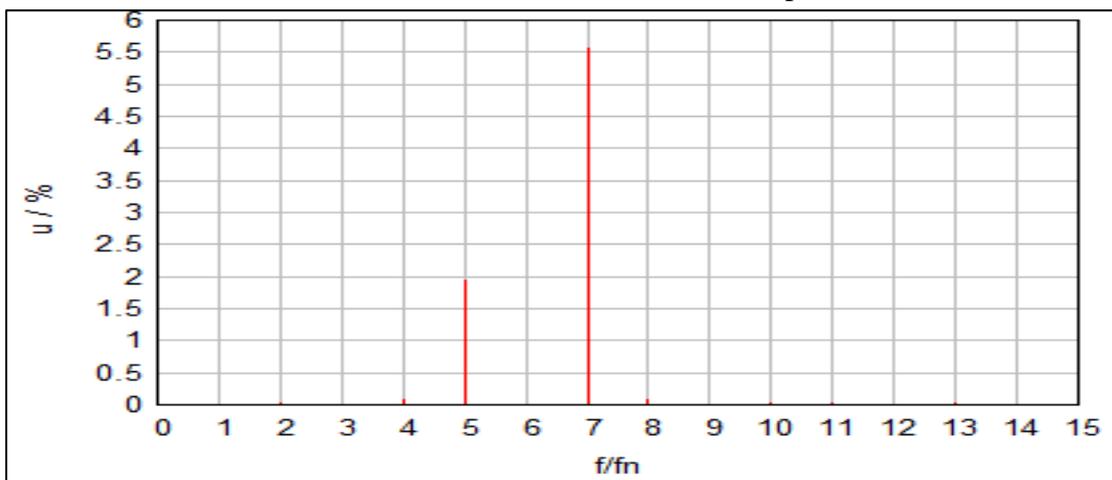
Elaboración por el equipo de trabajo.

Como se aprecia, los resultados medidos son similares al simulado mediante el NEPLAN.

#### 3.5.3.4. Análisis del Sistema Compensado.

El sistema actual, incluido los sistemas de compensación se ha analizado para las armónicas más representativas (3, 5 y 7), obteniéndose un THD 5.89%.

**Gráfico N° 34:** Análisis del sistema compensado



Elaboración por el equipo de trabajo.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN

##### 4.1.1. Definición del horizonte de evaluación del proyecto

Los proyectos de inversión eléctricos en lo referente a los sistemas de distribución eléctrica tienen un horizonte de 20 años por consiguiente el horizonte del presente proyecto es de 20 años. Tomando como año 0 al año 2017, al año 1 al 2018 y al año 20 el año 2037.

Las demandas de potencia y energía eléctrica han sido pronosticadas para el sistema en media tensión 22.9Kv en PUNO, ILAVE Y POMATA que cuenta ELECTROPUNO.

Los Datos históricos fueron obtenidos de los anuarios estadísticos del OSINERGMIN, las Memorias Anuales de ELECTROPUNO, de las bases de datos del SICOM y SICLI e información comercial y registros del Centro de Control de Operaciones (CCO) de ELECTROPUNO.

##### 4.1.2.- Análisis de la oferta.

Para el análisis de la oferta se tomó en cuenta la potencia instalada de las subestaciones de potencia (barras de compra) de cada uno de los sistemas eléctricos materia de este PIP, como se muestra en el siguiente cuadro:

#### 4.1.3.- Balance oferta demanda

El balance Oferta/Demanda determina si la demanda existente y proyectada será cubierta por la oferta disponible.

Sin embargo, siendo el objetivo del proyecto la reducción de la demanda de

**Tabla N° 18:** Análisis de la Oferta de ELPU en sus S.E.T.s y redes de Distribución

Subestacion	Barra (kV)	Potencia (MVA)	Codigo Equipo	EMPRESA	OBSERVACIONES
Ayaviri	22.9	6.5	T49-121	ISA - REP	
Azángaro	60	38 - 47.5	T79-162	ISA - REP	ONAN-ONAF
		12	T50-162	ISA - REP	ONAN
	22.9	10 - 12.5	T79-162	ISA - REP	ONAN-ONAF
		5	T50-162	ISA - REP	ONAN
Totorani	60	30	T68-162	ISA - REP	ONAF
		25	T153-162	ISA - REP	ONAN
	22.9	9	T68-162	ISA - REP	ONAF
		7	T153-162	ISA - REP	ONAN
Bellavista	10	5.5		ELECTRO PUNO S.A.A.	ONAN
		7		ELECTRO PUNO S.A.A.	ONAN
Antauta	22.9	6		ELECTRO PUNO S.A.A.	ONAN
Ilave	22.9	7		ELECTRO PUNO S.A.A.	ONAN
Pomata	22.9	7	TPA-54	ELECTRO PUNO S.A.A.	ONAN
Ananea	22.9	5	TPA-52	ELECTRO PUNO S.A.A.	ONAN
Huancane	22.9	9	TPA-50	ELECTRO PUNO S.A.A.	ONAN

**FUENTE:** ELPU en sus S.E.T.s

energía reactiva, esta no afecta negativamente a la oferta, sino por el contrario, incrementa la potencia disponible y cuyo resumen se presente el en cuadro siguiente:

**Tabla N° 19:** Balance Oferta –Demanda

SSEE	Máxima Demanda Actual			Reducción Máxima Demanda			Máxima Demanda con Proyecto		
	P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)
Ayaviri 23	1,211.65	555.42	1,332.88	3.52	482.20	482.21	1,208.13	73.22	1,210.34
Azángaro 60	12,733.00	2,058.00	12,898.24	123.00	1,056.00	1,063.14	12,610.00	1,002.00	12,649.75
Antauta	2,112.00	623.00	2,201.97	7.00	74.00	74.33	2,119.00	549.00	2,188.96
Ananea	8,211.00	4,464.00	9,346.01	16.00	1,985.00	1,985.06	8,195.00	2,479.00	8,561.74
Azángaro 22.9	2,869.97	555.74	2,923.28	1.78	515.15	515.15	2,868.19	40.59	2,868.47
Puno 60	20,057.00	3,480.00	20,356.66	117.00	2,189.00	2,192.12	19,940.00	1,291.00	19,981.75
Bellavista	12,522.00	6,331.00	14,031.47	-	4,770.00	4,770.00	12,522.00	1,561.00	12,618.92
Ilave	3,301.00	1,310.00	3,551.44	-	1,226.00	1,226.00	3,301.00	84.00	3,302.07
Pomata	3,549.00	1,310.00	3,783.05	-	1,262.00	1,262.00	3,549.00	48.00	3,549.32
Puno 22.9	874.277	588.315	1,053.79	1.27	578.69	578.69	873.007	9.623	873.06

**FUENTE:** Electro Puno S.A.A.

## 4.2. DISEÑO Y DETERMINACIÓN DE EQUIPOS DE COMPENSACIÓN REACTIVA

### 4.2.1. Horizonte de proyección

Para un mejor criterio de selección y diseño de los equipos de Compensación de energía Reactiva, debemos de tomar en cuenta la tasa de crecimiento de demanda de las redes de media tensión en las salidas de 22.9kv de Puno, Ilave y Pomata, proyectarlo a futuro que en la presente investigación tenemos 20 años de horizonte de proyección por razones ya señaladas.

Tabla N° 20: Máxima demanda y Potencia Instalada

Categoría	Subcategoría	Tensión (kV)	ID (MVA)	POT. INST. (MVA)	Factor de potencia	Horizonte de proyección (años)																			
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SET ATM POMATA	MD (MVA)	22.9	3.88	4.10	4.31	4.54	4.77	5.01	5.25	5.50	5.76	6.03	6.30	6.57	6.86	7.15	7.44	7.75	8.05	8.37	8.69	9.02	9.36		
		60	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	
	POT. INST. (MVA)	22.9	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	
		60	45%	48%	48%	50%	53%	55%	58%	61%	64%	67%	70%	73%	76%	79%	83%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%
	FACTOR DE P.	22.9	45%	48%	48%	50%	53%	55%	58%	61%	64%	67%	70%	73%	76%	79%	83%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%
		60	45%	48%	48%	50%	53%	55%	58%	61%	64%	67%	70%	73%	76%	79%	83%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%
SET ATM ILAVE	MD (MVA)	60	4.10	4.33	4.56	4.80	5.04	5.30	5.55	5.82	6.09	6.37	6.66	6.95	7.25	7.55	7.87	8.19	8.51	8.85	9.19	9.54	9.89		
		22.9	4.10	4.33	4.56	4.80	5.04	5.30	5.55	5.82	6.09	6.37	6.66	6.95	7.25	7.55	7.87	8.19	8.51	8.85	9.19	9.54	9.89		
	POT. INST. (MVA)	60	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	
		22.9	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	
	FACTOR DE P.	60	46%	48%	51%	53%	55%	58%	62%	65%	68%	71%	74%	77%	81%	84%	87%	91%	95%	98%	102%	106%	110%	110%	
		22.9	46%	48%	51%	53%	55%	58%	62%	65%	68%	71%	74%	77%	81%	84%	87%	91%	95%	98%	102%	106%	110%	110%	
SET ATM TOTORANI	MD (MVA)	138	27.92	29.29	30.66	32.07	33.52	35.01	36.55	38.12	39.73	41.38	43.07	44.81	46.59	48.40	50.25	52.15	54.09	56.06	58.06	60.14	62.24		
		60	26.4	27.70	28.99	30.31	31.67	33.07	34.50	35.98	37.49	39.04	40.63	42.25	43.92	45.62	47.36	49.14	50.96	52.81	54.71	56.64	58.61		
	POT. INST. (MVA)	138	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	
		60	4.10	4.33	4.56	4.80	5.04	5.30	5.55	5.82	6.09	6.37	6.66	6.95	7.25	7.55	7.87	8.19	8.51	8.85	9.19	9.54	9.89		
	FACTOR DE P.	138	3.60	3.80	4.01	4.22	4.43	4.65	4.88	5.11	5.35	5.60	5.85	6.10	6.37	6.64	6.91	7.19	7.48	7.77	8.07	8.38	8.69		
		60	15.07	15.93	16.78	17.65	18.55	19.49	20.43	21.40	22.41	23.43	24.46	25.50	26.60	27.79	28.94	30.12	31.32	32.55	33.81	35.09	36.38		
FACTOR DE P.	138	1.51	1.59	1.68	1.76	1.85	1.95	2.04	2.14	2.24	2.34	2.45	2.55	2.66	2.78	2.89	3.01	3.13	3.25	3.38	3.50	3.63			
	60	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00			
FACTOR DE P.	138	45%	45%	47%	48%	52%	54%	58%	61%	64%	68%	69%	72%	74%	77%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%		
		60	41%	43%	45%	47%	49%	51%	53%	55%	58%	60%	63%	65%	68%	70%	73%	76%	78%	81%	84%	87%	90%		
	22.9	22%	23%	24%	25%	26%	28%	28%	29%	31%	32%	33%	35%	36%	38%	40%	41%	43%	45%	46%	48%	48%	50%		
		22%	23%	24%	25%	26%	28%	28%	29%	31%	32%	33%	35%	36%	38%	40%	41%	43%	45%	46%	48%	48%	50%		

FUENTE: Electro Puno S.A.A.

## 4.2.2. Análisis de energético de redes sin compensación reactiva

### 4.2.2.1. Red 22.9kv Puno.

**Tabla N° 22: Energía Reactiva - Sin compensación - A**

2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027	
ENERGIA [MVar]																					
Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]																				
0.3146	0.0000	0.2944	0.0000	0.2741	0.0000	0.2488	0.0000	0.2235	0.0000	0.1981	0.0000	0.1727	0.0000	0.1473	0.0000	0.1218	0.0000	0.0913	0.0000	0.0607	0.0000
0.3184	0.0000	0.2983	0.0000	0.2783	0.0000	0.2532	0.0000	0.2280	0.0000	0.2029	0.0000	0.1777	0.0000	0.1525	0.0000	0.1273	0.0000	0.0970	0.0000	0.0667	0.0000
0.3032	0.0000	0.2825	0.0000	0.2619	0.0000	0.2361	0.0000	0.2102	0.0000	0.1843	0.0000	0.1584	0.0000	0.1325	0.0000	0.1066	0.0000	0.0754	0.0000	0.0442	0.0000
0.3190	0.0000	0.2989	0.0000	0.2789	0.0000	0.2538	0.0000	0.2288	0.0000	0.2037	0.0000	0.1785	0.0000	0.1534	0.0000	0.1282	0.0000	0.0980	0.0000	0.0677	0.0000
0.3148	0.0000	0.2946	0.0000	0.2744	0.0000	0.2491	0.0000	0.2238	0.0000	0.1985	0.0000	0.1732	0.0000	0.1478	0.0000	0.1224	0.0000	0.0920	0.0000	0.0614	0.0000
0.3443	0.0000	0.3252	0.0000	0.3062	0.0000	0.2824	0.0000	0.2585	0.0000	0.2346	0.0000	0.2107	0.0000	0.1868	0.0000	0.1629	0.0000	0.1341	0.0000	0.1053	0.0000
0.3603	0.0000	0.3418	0.0000	0.3234	0.0000	0.3003	0.0000	0.2772	0.0000	0.2540	0.0000	0.2309	0.0000	0.2077	0.0000	0.1845	0.0000	0.1566	0.0000	0.1287	0.0000
0.3336	0.0000	0.3141	0.0000	0.2946	0.0000	0.2702	0.0000	0.2457	0.0000	0.2212	0.0000	0.1967	0.0000	0.1722	0.0000	0.1476	0.0000	0.1181	0.0000	0.0886	0.0000
0.3128	0.0000	0.2925	0.0000	0.2722	0.0000	0.2469	0.0000	0.2215	0.0000	0.1960	0.0000	0.1706	0.0000	0.1451	0.0000	0.1196	0.0000	0.0890	0.0000	0.0583	0.0000
0.2963	0.0000	0.2755	0.0000	0.2546	0.0000	0.2284	0.0000	0.2023	0.0000	0.1761	0.0000	0.1499	0.0000	0.1237	0.0000	0.0974	0.0000	0.0659	0.0000	0.0343	0.0000
0.2903	0.0000	0.2691	0.0000	0.2480	0.0000	0.2215	0.0000	0.1951	0.0000	0.1686	0.0000	0.1420	0.0000	0.1155	0.0000	0.0889	0.0000	0.0570	0.0000	0.0251	0.0000
0.2937	0.0000	0.2727	0.0000	0.2517	0.0000	0.2254	0.0000	0.1991	0.0000	0.1728	0.0000	0.1464	0.0000	0.1200	0.0000	0.0936	0.0000	0.0619	0.0000	0.0302	0.0000
0.2744	0.0000	0.2527	0.0000	0.2309	0.0000	0.2037	0.0000	0.1765	0.0000	0.1492	0.0000	0.1219	0.0000	0.0946	0.0000	0.0673	0.0000	0.0345	0.0000	0.0016	0.0000
0.2881	0.0000	0.2669	0.0000	0.2457	0.0000	0.2192	0.0000	0.1927	0.0000	0.1661	0.0000	0.1395	0.0000	0.1129	0.0000	0.0863	0.0000	0.0543	0.0000	0.0223	0.0000
0.2699	0.0000	0.2480	0.0000	0.2260	0.0000	0.1986	0.0000	0.1711	0.0000	0.1436	0.0000	0.1161	0.0000	0.0885	0.0000	0.0609	0.0000	0.0278	0.0000	0.0000	0.0000
0.3333	0.0000	0.3138	0.0000	0.2944	0.0000	0.2700	0.0000	0.2456	0.0000	0.2212	0.0000	0.1968	0.0000	0.1724	0.0000	0.1479	0.0000	0.1185	0.0000	0.0891	0.0000
0.3108	0.0000	0.2905	0.0000	0.2701	0.0000	0.2447	0.0000	0.2192	0.0000	0.1937	0.0000	0.1682	0.0000	0.1426	0.0000	0.1170	0.0000	0.0863	0.0000	0.0556	0.0000
0.3233	0.0000	0.3034	0.0000	0.2835	0.0000	0.2586	0.0000	0.2337	0.0000	0.2088	0.0000	0.1838	0.0000	0.1588	0.0000	0.1338	0.0000	0.1038	0.0000	0.0737	0.0000
0.1909	0.0000	0.1654	0.0000	0.1399	0.0000	0.1079	0.0000	0.0759	0.0000	0.0437	0.0000	0.0115	0.0000	0.0208	0.0000	0.0532	0.0000	0.0921	0.0000	0.0000	0.1312
0.1165	0.0000	0.0879	0.0000	0.0592	0.0000	0.0233	0.0000	0.0000	0.0128	0.0000	0.0490	0.0000	0.0853	0.0000	0.1217	0.0000	0.1582	0.0000	0.2023	0.0000	0.2464
0.1228	0.0000	0.0945	0.0000	0.0662	0.0000	0.0306	0.0000	0.0000	0.0050	0.0000	0.0407	0.0000	0.0766	0.0000	0.1126	0.0000	0.1486	0.0000	0.1921	0.0000	0.2357
0.1644	0.0000	0.1380	0.0000	0.1115	0.0000	0.0784	0.0000	0.0452	0.0000	0.0119	0.0000	0.0215	0.0000	0.0549	0.0000	0.0884	0.0000	0.1288	0.0000	0.1692	0.0000
0.2078	0.0000	0.1832	0.0000	0.1586	0.0000	0.1279	0.0000	0.0971	0.0000	0.0662	0.0000	0.0353	0.0000	0.0043	0.0000	0.0268	0.0000	0.0641	0.0000	0.1014	0.0000
0.2485	0.0000	0.2256	0.0000	0.2027	0.0000	0.1741	0.0000	0.1454	0.0000	0.1167	0.0000	0.0879	0.0000	0.0591	0.0000	0.0303	0.0000	0.0000	0.0043	0.0000	0.0390

Elaboración por el equipo de trabajo.

**Tabla N° 21: Energía Reactiva - Sin compensación - B**

Z028		Z027		Z030		Z031		Z032		Z033		Z034		Z035		Z036		Z037		TOTAL	
ENERGIA [MVar]																					
Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]																				
0.0300	0.0000	0.0000	0.0365	0.0000	0.0724	0.0000	0.1084	0.0000	0.1495	0.0000	0.1907	0.0000	0.2320	0.0000	0.2734	0.0000	0.3666	0.0000	0.3666	2.1772	1.7961
0.0363	0.0000	0.0000	0.0295	0.0000	0.0651	0.0000	0.1007	0.0000	0.1414	0.0000	0.1822	0.0000	0.2230	0.0000	0.2639	0.0000	0.3562	0.0000	0.3562	2.2367	1.7181
0.0130	0.0000	0.0000	0.0547	0.0000	0.0913	0.0000	0.1279	0.0000	0.1697	0.0000	0.2116	0.0000	0.2536	0.0000	0.2957	0.0000	0.3905	0.0000	0.3905	2.0084	1.9855
0.0374	0.0000	0.0000	0.0283	0.0000	0.0637	0.0000	0.0993	0.0000	0.1399	0.0000	0.1806	0.0000	0.2213	0.0000	0.2621	0.0000	0.3541	0.0000	0.3541	2.2464	1.7033
0.0309	0.0000	0.0000	0.0354	0.0000	0.0712	0.0000	0.1070	0.0000	0.1479	0.0000	0.1890	0.0000	0.2301	0.0000	0.2712	0.0000	0.3640	0.0000	0.3640	2.1830	1.7798
0.0765	0.0000	0.0140	0.0000	0.0000	0.0197	0.0000	0.0535	0.0000	0.0921	0.0000	0.1308	0.0000	0.1696	0.0000	0.2084	0.0000	0.2959	0.0000	0.2959	2.6416	1.2661
0.1008	0.0000	0.0401	0.0000	0.0074	0.0000	0.0000	0.0254	0.0000	0.0629	0.0000	0.1005	0.0000	0.1381	0.0000	0.1758	0.0000	0.2608	0.0000	0.2608	2.9134	1.0243
0.0590	0.0000	0.0000	0.0053	0.0000	0.0399	0.0000	0.0747	0.0000	0.1144	0.0000	0.1542	0.0000	0.1941	0.0000	0.2341	0.0000	0.3243	0.0000	0.3243	2.4616	1.4654
0.0276	0.0000	0.0000	0.0390	0.0000	0.0749	0.0000	0.1109	0.0000	0.1521	0.0000	0.1933	0.0000	0.2346	0.0000	0.2760	0.0000	0.3693	0.0000	0.3693	2.1522	1.8194
0.0028	0.0000	0.0000	0.0658	0.0000	0.1027	0.0000	0.1397	0.0000	0.1821	0.0000	0.2245	0.0000	0.2669	0.0000	0.3094	0.0000	0.4052	0.0000	0.4052	1.9071	2.1015
0.0000	0.0369	0.0000	0.0763	0.0000	0.1137	0.0000	0.1512	0.0000	0.1941	0.0000	0.2370	0.0000	0.2800	0.0000	0.3231	0.0000	0.4202	0.0000	0.4202	1.8210	2.2226
0.0000	0.0016	0.0000	0.0706	0.0000	0.1078	0.0000	0.1450	0.0000	0.1876	0.0000	0.2303	0.0000	0.2731	0.0000	0.3159	0.0000	0.4124	0.0000	0.4124	1.8675	2.1567
0.0000	0.0312	0.0000	0.1026	0.0000	0.1411	0.0000	0.1796	0.0000	0.2237	0.0000	0.2679	0.0000	0.3121	0.0000	0.3564	0.0000	0.4562	0.0000	0.4562	1.6076	2.5272
0.0000	0.0097	0.0000	0.0792	0.0000	0.1167	0.0000	0.1542	0.0000	0.1971	0.0000	0.2401	0.0000	0.2831	0.0000	0.3262	0.0000	0.4233	0.0000	0.4233	1.7942	2.2526
0.0000	0.0386	0.0000	0.1106	0.0000	0.1495	0.0000	0.1884	0.0000	0.2329	0.0000	0.2775	0.0000	0.3222	0.0000	0.3670	0.0000	0.4679	0.0000	0.4679	1.5506	2.6277
0.0597	0.0000	0.0000	0.0042	0.0000	0.0386	0.0000	0.0731	0.0000	0.1126	0.0000	0.1521	0.0000	0.1917	0.0000	0.2313	0.0000	0.3207	0.0000	0.3207	2.4628	1.4448
0.0248	0.0000	0.0000	0.0420	0.0000	0.0780	0.0000	0.1141	0.0000	0.1554	0.0000	0.1967	0.0000	0.2381	0.0000	0.2796	0.0000	0.3731	0.0000	0.3731	2.1236	1.8502
0.0435	0.0000	0.0000	0.0219	0.0000	0.0572	0.0000	0.0925	0.0000	0.1329	0.0000	0.1734	0.0000	0.2140	0.0000	0.2547	0.0000	0.3464	0.0000	0.3464	2.3088	1.6393
0.0000	0.1705	0.0000	0.2559	0.0000	0.3022	0.0000	0.3486	0.0000	0.4018	0.0000	0.4553	0.0000	0.5091	0.0000	0.5631	0.0000	0.6854	0.0000	0.6854	0.7352	4.6745
0.0000	0.2908	0.0000	0.3876	0.0000	0.4400	0.0000	0.4927	0.0000													

### 4.2.3. Análisis de energético de redes con compensación reactiva

#### 4.2.3.1.- Red 22.9kv Puno

Tabla N° 24: Energía Reactiva - Con compensación

HORA	2017					2022					2027				
	ENERGIA [MVar]		SHUNTS			ENERGIA [MVar]		SHUNTS			ENERGIA [MVar]		SHUNTS		
	Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]	SHUNT 01	SHUNT 02	SHUNT 03	Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]	SHUNT 01	SHUNT 02	SHUNT 03	Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]	SHUNT 01	SHUNT 02	SHUNT 03
00:00:00	0	0.034461	0.099128	0.148762	0.099461	0	0.175689	0.098804	0.148303	0.099245	0	0.287215	0.098549	0.147941	0.099075
01:00:00	0	0.030864	0.099198	0.148848	0.099503	0	0.170913	0.098894	0.148413	0.099299	0	0.281448	0.098654	0.148069	0.099138
02:00:00	0	0.046156	0.099214	0.148866	0.099511	0	0.190281	0.098914	0.148428	0.099307	0	0.304006	0.098678	0.148087	0.099148
03:00:00	0	0.030376	0.099229	0.148886	0.099521	0	0.170206	0.098933	0.148461	0.099322	0	0.280542	0.0987	0.148126	0.099165
04:00:00	0	0.034517	0.099213	0.148864	0.099511	0	0.175508	0.098912	0.148433	0.099309	0	0.286771	0.098676	0.148093	0.09915
05:00:00	0	0.00505	0.099245	0.148918	0.099535	0	0.138013	0.098954	0.148502	0.09934	0	0.242937	0.098725	0.148174	0.099186
06:00:00	0.011092	0	0.099194	0.148865	0.099508	0	0.117669	0.098889	0.148434	0.099305	0	0.219337	0.098648	0.148094	0.099146
07:00:00	0	0.015305	0.099091	0.148728	0.099443	0	0.151492	0.098758	0.148259	0.099222	0	0.259095	0.098495	0.147889	0.099048
08:00:00	0	0.036412	0.099182	0.148826	0.099492	0	0.178002	0.098873	0.148385	0.099285	0	0.289762	0.09863	0.148037	0.099122
09:00:00	0	0.053069	0.099247	0.148896	0.099528	0	0.198968	0.098956	0.148474	0.09933	0	0.31406	0.098727	0.148141	0.099175
10:00:00	0	0.059045	0.099203	0.14884	0.099501	0	0.206674	0.0989	0.148403	0.099296	0	0.323164	0.098661	0.148057	0.099135
11:00:00	0	0.055574	0.099199	0.148837	0.099499	0	0.202279	0.098895	0.148399	0.099294	0	0.318045	0.098655	0.148053	0.099132
12:00:00	0	0.074905	0.099206	0.148835	0.099499	0	0.226803	0.098903	0.148397	0.099294	0	0.346646	0.098665	0.14805	0.099133
13:00:00	0	0.061405	0.09928	0.148932	0.099546	0	0.209466	0.098999	0.14852	0.099354	0	0.326231	0.098777	0.148195	0.099202
14:00:00	0	0.079273	0.099152	0.148769	0.099467	0	0.232499	0.098835	0.148312	0.099253	0	0.353433	0.098586	0.147951	0.099085
15:00:00	0	0.016113	0.099261	0.148931	0.099543	0	0.152013	0.098974	0.148519	0.099349	0	0.259234	0.098748	0.148194	0.099197
16:00:00	0	0.038458	0.099209	0.148858	0.099508	0	0.180521	0.098908	0.148425	0.099305	0	0.29263	0.098671	0.148084	0.099146
17:00:00	0	0.025761	0.099142	0.148783	0.099471	0	0.164602	0.098822	0.14833	0.099258	0	0.27424	0.09857	0.147972	0.09909
18:00:00	0	0.155876	0.098224	0.147615	0.098908	0	0.333923	0.097651	0.146836	0.098542	0	0.475683	0.097197	0.14622	0.098252
19:00:00	0	0.229384	0.09786	0.14714	0.098682	0	0.42961	0.097185	0.146228	0.098254	0	0.589566	0.09665	0.145504	0.097915
20:00:00	0	0.223314	0.097954	0.147256	0.098738	0	0.421231	0.097305	0.146376	0.098325	0	0.579155	0.096791	0.145679	0.097998
21:00:00	0	0.182611	0.098312	0.147707	0.098955	0	0.367295	0.097763	0.146955	0.098601	0	0.51409	0.09733	0.14636	0.098322
22:00:00	0	0.140101	0.098642	0.148125	0.099156	0	0.311637	0.098185	0.14749	0.098857	0	0.447561	0.097824	0.146988	0.098622
23:00:00	0	0.100043	0.098888	0.148441	0.099308	0	0.259758	0.098499	0.147893	0.09905	0	0.386068	0.098191	0.147461	0.098848

Elaboración por el equipo de trabajo.

Tabla N° 23: Energía Reactiva - Con compensación - B

2032					2037					TOTAL				
ENERGIA [MVar]		SHUNTS			ENERGIA [MVar]		SHUNTS			ENERGIA [MVar]		SHUNTS		
Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]	SHUNT 01	SHUNT 02	SHUNT 03	Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]	SHUNT 01	SHUNT 02	SHUNT 03	Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]	SHUNT 01	SHUNT 02	SHUNT 03
0	0.4964	0.098072	0.147262	0.098758	0	0.712536	0.09758	0.146562	0.098432	0	6.920098	2.067518	3.103883	2.079249
0	0.488632	0.098205	0.147426	0.098837	0	0.702499	0.097743	0.146763	0.098528	0	6.788771	2.069836	3.106735	2.080631
0	0.517103	0.098235	0.147448	0.09885	0	0.736986	0.09778	0.14679	0.098544	0	7.28678	2.070364	3.107119	2.080852
0	0.487289	0.098264	0.147498	0.098872	0	0.700618	0.097816	0.146851	0.098571	0	6.767132	2.070871	3.107987	2.08124
0	0.49528	0.098233	0.147457	0.098853	0	0.710462	0.097777	0.1468	0.098547	0	6.905708	2.070325	3.107264	2.080896
0	0.439562	0.098295	0.147559	0.098899	0	0.642471	0.097853	0.146925	0.098604	0	5.934768	2.071404	3.109046	2.081705
0	0.410001	0.098198	0.147457	0.098847	0	0.606953	0.097734	0.1468	0.098541	0.011092	5.426688	2.069715	3.107273	2.080806
0	0.461056	0.098002	0.147196	0.098724	0	0.669914	0.097495	0.146481	0.09839	0	6.300507	2.066309	3.102734	2.078651
0	0.499264	0.098175	0.147384	0.098818	0	0.715554	0.097706	0.146712	0.098505	0	6.973451	2.069312	3.106012	2.080287
0	0.529639	0.098298	0.147518	0.098885	0	0.751974	0.097857	0.146875	0.098586	0	7.507476	2.071456	3.108326	2.081453
0	0.541438	0.098214	0.147411	0.098833	0	0.766659	0.097755	0.146744	0.098524	0	7.710988	2.07	3.10647	2.080564
0	0.534979	0.098207	0.147405	0.09883	0	0.758838	0.097745	0.146737	0.09852	0	7.598003	2.069869	3.106369	2.080505
0	0.571168	0.098219	0.147402	0.098831	0	0.80279	0.097761	0.146734	0.098521	0	8.230159	2.070087	3.106318	2.080521
0	0.544867	0.098362	0.147586	0.098919	0	0.77025	0.097934	0.146959	0.098628	0	7.775083	2.072562	3.10952	2.082055
0	0.580103	0.098118	0.147276	0.09877	0	0.814082	0.097637	0.146579	0.098447	0	8.38302	2.068327	3.104121	2.079461
0	0.460107	0.098325	0.147584	0.098913	0	0.667328	0.097889	0.146957	0.09862	0	6.294357	2.071922	3.109492	2.081942
0	0.502723	0.098226	0.147445	0.098847	0	0.71954	0.097769	0.146786	0.098541	0	7.035451	2.070206	3.107059	2.080806
0	0.479874	0.098098	0.147302	0.098776	0	0.692327	0.097613	0.146611	0.098454	0	6.632424	2.067981	3.104579	2.07957
0	0.744387	0.096345	0.145059	0.097711	0	1.025962	0.095462	0.143853	0.097152	0	11.164476	2.037501	3.065629	2.061008
0	0.894082	0.095643	0.144138	0.097281	0	1.215057	0.094598	0.142715	0.096626	0	13.728381	2.025331	3.049682	2.053527
0	0.879344	0.095824	0.144364	0.097387	0	1.195113	0.094821	0.142994	0.096756	0	13.48516	2.028466	3.053583	2.055371
0	0.791743	0.096515	0.145239	0.0978	0	1.081865	0.095671	0.144076	0.097261	0	12.003077	2.040446	3.068751	2.062555
0	0.703633	0.097147	0.146045	0.098181	0	0.969781	0.096447	0.145068	0.097728	0	10.499996	2.051425	3.082721	2.069199
0	0.623433	0.097616	0.14665	0.098469	0	0.869309	0.097022	0.145811	0.098079	0	9.121096	2.05958	3.09323	2.074205
TOTAL										0.011092	196.47305	49.500813	74.333903	49.827059

Elaboración por el equipo de trabajo.



#### 4.2.4. Selección de equipo de compensación

Una vez obtenidos los datos y resultados, procederemos a seleccionar y dimensionar los Bancos compensadores de Energía Reactiva.

Según el tipo de energía reactiva presente en las redes CAPACITIVA O INDUCTIVA, deducimos el tipo de compensador de Energía Reactiva ya sea REACTORES o CONDENSADORES, Como también sistemas automáticos de compensación reactiva denominados SVC (Static Var Compensator).

##### 4.2.4.1.- Línea Primaria en 22.9 Kv Alimentadores 0101 y 0104 Puno

###### 4.1.4.1.1.- Reactor

Los reactores tendrán las características siguientes:

- Nivel de Tensión : 22.9 kV
- Potencia : 2X100 kvar + 1X150 KVAR
- Altura de Operación : 4000 msnm
- BIL : 170 kV
- Instalación : Exterior

##### 4.2.4.2. Subestación 60/22.9/10 Kv de llave

###### 4.2.4.2.1.- Reactor

El reactor tendrá las características siguientes:

- Nivel de Tensión : 22.9 kV
- Potencia : 3X0.5 MVAR
- Altura de Operación : 4000 msnm
- BIL : 170 kV
- Instalación : Exterior

#### 4.2.4.3.- Subestación 60/22.9/10 Kv de Pomata

##### 4.2.4.3.1- Reactor

El reactor tendrá las características siguientes:

- Nivel de Tensión : 22.9 kV
- Potencia : 3X0.5 MVAR
- Altura de Operación : 4000 msmn
- BIL : 170 kV
- Instalación : Exterior

##### 4.2.4.4. Tipo y condiciones técnicas de equipo

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en este capítulo (4.2.2, 4.2.3), Observamos que la cantidad de energía reactiva CAPACITIVA presente en las redes sin los equipos de compensación, en un rango de dentro de 10 años tiende a reducir hasta llegar a punto mínimo, para posteriormente invertirse y presentar energía reactiva INDUCTIVA.

**Tabla N° 25:** Análisis Económico de pagos a efectuar en RED 22.9 kv - Puno - sin compensación

2017		2028		2037	
Energía Capacitiva [S/.]	Energía Inductiva >36 y <42 % [S/.]	Energía Capacitiva [S/.]	Energía Inductiva >36 y <42 % [S/.]	Energía Capacitiva [S/.]	Energía Inductiva >36 y <42 % [S/.]
S/42,688.2	S/0.0	S/4,397.8	S/5,071.7	S/0.0	S/44,657.9
S/42,688.2		S/9,469.4		S/44,657.9	

Elaboración por el equipo de trabajo.

**Tabla N° 26:** Comportamiento de red 22.9 kv - PUNO – Sin compensación

2017		2028		2037	
ENERGIA [MVar]		ENERGIA [MVar]		ENERGIA [MVar]	
Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]	Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]	Capacitiva [MVar]	Inductiva [MVar]
6.65	0.00	0.54	1.25	0.00	11.02

Elaboración por el equipo de trabajo.

Este fenómeno se debe a la creciente demanda de energía, logrando así que la energía capacitiva producto de las largas distancias de las redes de media tensión sea compensada por mayor consumo en las redes mismas al transcurrir de los años.

Tomando en cuenta el avance en la tecnología, consideramos al SVC como el conjunto único más idóneo para el proyecto de investigación, con sus respectivos componentes necesarios para la operación satisfactoria de éste.

Normas aplicables al SVC **ANEXO 10**

Determinado el equipo a utilizarse deberá contar con las especificaciones y características dadas en el capítulo (4.2.4.1).

**Tabla N° 27:** Equipamiento Requerido

ITEM	UBICACIÓN	POTENCIA ACTIVA O REACTIVA (KVAR)		NIVEL DE TENSION	PASOS O MODULOS SUGERIDOS		UBICACION FISICA DEL EQUIPO			
		Inductiva	Capacitiva		CANT BANC	POTENCIA / EQUIPO (KVAR)	RP1	RP2	RP3	SE
		Reactor (TCR)	Capacitor (TSR)							
ZONA 5	PUNO	350		22.9 kV.	2, 1	100, 150	100	100	150	
ZONA 7	ILAVE	1500		22.9 kV.	3	500				1500
ZONA 8	POMATA	1500		22.9 kV.	3	500				1500

Elaboración por el equipo de trabajo.



#### **4.2.4.4. 1. Sistema de Enfriamiento.**

El sistema de enfriamiento de las válvulas de tiristores o de IGBTs, será de tipo cerrado con agua desmineralizada, con un sistema de bombeo redundante con transferencia automática y manual que asegure su correcta operación a plena carga ante cualquier condición climatológica del sitio, medio ambiente y temperatura extrema. El sistema de enfriamiento deberá activar los controles, bloqueos, alarmas y permisivos necesarios para la oportuna protección de las válvulas de tiristores o de IGBTs. El sistema de enfriamiento deberá diseñarse para que, en el evento de pérdida de alimentación de CA, el SVC soporte esta condición al menos por un tiempo 5 segundos sin dispararse. El fabricante debe proponer un sistema de UMD (Uninterruptible Motor Drive) para brindar un soporte como mínimo de 30 minutos garantizado y que permita sostener en funcionamiento las bombas de enfriamiento y ventiladores ante pérdida de alimentación CA. En cualquier caso, el SVC no se debe disparar por pérdida temporal de la alimentación de servicios auxiliares.

El sistema de enfriamiento será suministrado completo con todo el equipamiento necesario, incluyendo sin ser limitativo: tuberías de interconexión, bombas de circulación, ventiladores, intercambiadores de calor, reservorios, filtros, circuitos de tratamiento de agua, instrumentación, control automático, sistema eléctrico de distribución auxiliar, soportes y estructuras. El contratista debe garantizar materiales contra corrosión (tuberías de acero inoxidable u otro material que no sean corrosivos) y libre de fugas de agua.

El agua será usada a través del sistema de enfriamiento para prevenir congelamiento en el caso de pérdida de la fuente auxiliar de corriente de la subestación. Todas las válvulas, bombas y tuberías del sistema de enfriamiento deberán ser de acero inoxidable (“stainless steel”).



Los intercambiadores de calor deben contar con al menos un ventilador de respaldo.

El sistema de enfriamiento debe ser diseñado para permitir trabajar con falla en una bomba sin restringirse la operación del SVC.

El diseño y las pruebas de los recipientes de presión debe cumplir con la Norma ASME o equivalente. Para las tuberías se cumplirá con las Normas ISO/DIN aplicables, y para el diseño y pruebas de los circuitos eléctricos la Norma IEC correspondiente.

#### **4.2.4.4.1.1. Presiones:**

- Succión.
- Descarga.
- Sistema de sellado.
- Presiones de entrada y salida de filtros

#### **4.2.4.4.1.2. Temperaturas:**

- Agua de Alimentación
- Agua de Retorno
- Temperatura ambiente en el exterior del SVC
- Temperatura en la sala de válvula de tiristores

#### **4.2.4.4.1.3. Indicadores de Operación de:**

- Bombas
- Paquetes de Enfriamiento
- Alarmas de operación
- Alarmas de disparo



#### **2.2.4.4.1.4. Pruebas**

Todos los equipos que forman parte del SVC deberán contar con pruebas de prototipo y adicionalmente se les realizarán las pruebas de rutina en fábrica de acuerdo con lo indicado en las normas de referencia aplicables.

Las pruebas serán ejecutadas de acuerdo con las normas aplicables y los requerimientos particulares indicados en este documento. Si los requerimientos del presente documento discrepan con lo indicado en las normas indicadas, aplicará lo indicado en esta especificación.

Los Licitantes incluirán en sus propuestas una lista de pruebas, estableciendo claramente el tipo de pruebas que serán llevadas a cabo para este proyecto, e indicando las pruebas prototipo para las cuales solo entregará los reportes de pruebas previamente ejecutadas. La lista de pruebas deberá incluir pruebas de rutina y pruebas de aceptación en fábrica que serán llevadas a cabo en este proyecto.

#### **4.2.4.4.2. Apoyo Técnico**

##### **4.2.4.4.2.1. Capacitación**

La capacitación se impartirá con el personal calificado del fabricante del SVC para la puesta en operación del SVC.

##### **4.2.4.4.2.2. Montaje**

Durante las etapas de montaje y puesta en servicio del SVC, se deberá contar con el apoyo y la supervisión directa del fabricante del SVC.



#### 4.2.4.4.2.3. Evaluación de Pérdidas

Las pérdidas serán evaluadas de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$EPT = K * CUL_1 * PL_1 = CUC_1 * PC_1 = CUC_2 * PC_2 = CUC_3 * PC_3 =$$

$$CUL_1 * CUC_1 = CUC_2 = CUC_3 = 1$$

Siendo:

$PL_1$  = Pérdidas promedio en el intervalo de 0 - 10 MVar inductivos

$CUL_1$  = Coeficiente de utilización del SVC en el intervalo de 0 - 10 MVar inductivos.

$PC_1$  = Pérdidas promedio en el intervalo de 0 - 50 MVar capacitivos.

$CUC_1$  = Coeficiente de utilización del SVC en el intervalo de 0 - 50 MVar capacitivos.

$PC_2$  = Pérdidas promedio en el intervalo de 20 - 30 MVar capacitivos.

$CUC_2$  = Coeficiente de utilización del SVC en el intervalo de 20 - 30 MVar capacitivos

$PC_3$  = Pérdidas promedio en el intervalo de 30 - 50 MVar capacitivos.

$CUC_3$  = Coeficiente de utilización del SVC en el intervalo de 30 - 50 MVar capacitivos.

#### 4.2.4.5. Tipo de estructura y lugar de instalación de equipos

Dado el tipo de diseño requerido del Compensador estático de Energía Reactiva SVC

(Statu Var Compensador). Adecuamos los planos de soporte y conexión **ANEXO**

**PLANOS**

**Tabla N° 28:** Tipo de Armado para SVC - Según S.E.T.

S.E.T.	ESTRUCTURA
PUNO	PLANO 05
ILAVE	PLANO 04
POMATA	PLANO 04

Elaboración por el equipo de trabajo.

### 4.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA ENERGÉTICA Y EQUIPOS DE COMPENSACIÓN REACTIVA

#### 4.3.1. Evaluación económica energética

##### 4.3.1.1. Horizonte de proyección

El horizonte de proyección para la evaluación económica será también de 20 años.

Definido en el capítulo 4.1.1



### 4.3.1.2. Análisis económico de redes sin compensación

#### 4.3.1.2.1.- Red 22.9kv Puno

Tabla N° 29: Costos Generados por energía reactiva dentro de los 20 años - sin compensación reactiva

HORA	2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027	
	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]
00:00:00	\$/2,550	\$/0	\$/2,386.50	\$/0.00	\$/2,222.43	\$/0.00	\$/2,017.16	\$/0.00	\$/1,811.68	\$/0.00	\$/1,606.00	\$/0.00	\$/1,400.11	\$/0.00	\$/1,194.01	\$/0.00	\$/987.71	\$/0.00	\$/799.86	\$/0.00	\$/491.73	\$/0.00
01:00:00	\$/2,581	\$/0	\$/2,418.58	\$/0.00	\$/2,255.91	\$/0.00	\$/2,052.39	\$/0.00	\$/1,848.71	\$/0.00	\$/1,644.84	\$/0.00	\$/1,440.78	\$/0.00	\$/1,236.54	\$/0.00	\$/1,032.12	\$/0.00	\$/846.57	\$/0.00	\$/540.75	\$/0.00
02:00:00	\$/2,458	\$/0	\$/2,290.47	\$/0.00	\$/2,123.09	\$/0.00	\$/1,913.70	\$/0.00	\$/1,704.14	\$/0.00	\$/1,494.40	\$/0.00	\$/1,284.48	\$/0.00	\$/1,074.39	\$/0.00	\$/864.11	\$/0.00	\$/611.54	\$/0.00	\$/358.72	\$/0.00
03:00:00	\$/2,586	\$/0	\$/2,423.50	\$/0.00	\$/2,261.09	\$/0.00	\$/2,057.93	\$/0.00	\$/1,854.59	\$/0.00	\$/1,651.08	\$/0.00	\$/1,447.40	\$/0.00	\$/1,243.55	\$/0.00	\$/1,039.52	\$/0.00	\$/849.46	\$/0.00	\$/549.14	\$/0.00
04:00:00	\$/2,552	\$/0	\$/2,388.27	\$/0.00	\$/2,224.51	\$/0.00	\$/2,019.65	\$/0.00	\$/1,814.62	\$/0.00	\$/1,609.41	\$/0.00	\$/1,404.01	\$/0.00	\$/1,198.45	\$/0.00	\$/992.70	\$/0.00	\$/745.56	\$/0.00	\$/498.17	\$/0.00
05:00:00	\$/2,791	\$/0	\$/2,636.79	\$/0.00	\$/2,482.32	\$/0.00	\$/2,289.10	\$/0.00	\$/2,095.71	\$/0.00	\$/1,902.15	\$/0.00	\$/1,708.42	\$/0.00	\$/1,514.53	\$/0.00	\$/1,320.47	\$/0.00	\$/1,087.38	\$/0.00	\$/854.04	\$/0.00
06:00:00	\$/2,921	\$/0	\$/2,771.12	\$/0.00	\$/2,621.30	\$/0.00	\$/2,434.29	\$/0.00	\$/2,246.92	\$/0.00	\$/2,059.35	\$/0.00	\$/1,871.60	\$/0.00	\$/1,683.67	\$/0.00	\$/1,495.56	\$/0.00	\$/1,269.57	\$/0.00	\$/1,043.32	\$/0.00
07:00:00	\$/2,705	\$/0	\$/2,546.54	\$/0.00	\$/2,388.28	\$/0.00	\$/2,190.26	\$/0.00	\$/1,992.02	\$/0.00	\$/1,793.56	\$/0.00	\$/1,594.89	\$/0.00	\$/1,395.99	\$/0.00	\$/1,196.87	\$/0.00	\$/967.63	\$/0.00	\$/718.08	\$/0.00
08:00:00	\$/2,536	\$/0	\$/2,371.53	\$/0.00	\$/2,207.06	\$/0.00	\$/2,001.32	\$/0.00	\$/1,795.38	\$/0.00	\$/1,589.28	\$/0.00	\$/1,382.95	\$/0.00	\$/1,176.44	\$/0.00	\$/969.76	\$/0.00	\$/721.48	\$/0.00	\$/472.93	\$/0.00
09:00:00	\$/2,403	\$/0	\$/2,233.23	\$/0.00	\$/2,063.82	\$/0.00	\$/1,851.90	\$/0.00	\$/1,639.81	\$/0.00	\$/1,427.56	\$/0.00	\$/1,215.13	\$/0.00	\$/1,002.54	\$/0.00	\$/789.79	\$/0.00	\$/534.25	\$/0.00	\$/278.47	\$/0.00
10:00:00		\$/0		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00
11:00:00		\$/0		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00
12:00:00	\$/2,225	\$/0	\$/2,048.62	\$/0.00	\$/1,872.24	\$/0.00	\$/1,651.62	\$/0.00	\$/1,430.82	\$/0.00	\$/1,209.83	\$/0.00	\$/988.66	\$/0.00	\$/767.31	\$/0.00	\$/545.77	\$/0.00	\$/279.69	\$/0.00	\$/133.34	\$/0.00
13:00:00	\$/2,336	\$/0	\$/2,164.04	\$/0.00	\$/1,992.14	\$/0.00	\$/1,777.12	\$/0.00	\$/1,561.96	\$/0.00	\$/1,346.62	\$/0.00	\$/1,131.13	\$/0.00	\$/915.49	\$/0.00	\$/699.68	\$/0.00	\$/440.30	\$/0.00	\$/181.09	\$/0.00
14:00:00	\$/2,188	\$/0	\$/2,010.51	\$/0.00	\$/1,832.58	\$/0.00	\$/1,609.98	\$/0.00	\$/1,387.20	\$/0.00	\$/1,164.21	\$/0.00	\$/941.02	\$/0.00	\$/717.63	\$/0.00	\$/494.04	\$/0.00	\$/225.47	\$/0.00	\$/0.00	\$/0.00
15:00:00	\$/2,702	\$/0	\$/2,544.22	\$/0.00	\$/2,386.36	\$/0.00	\$/2,188.91	\$/0.00	\$/1,992.02	\$/0.00	\$/1,793.56	\$/0.00	\$/1,595.57	\$/0.00	\$/1,397.46	\$/0.00	\$/1,199.19	\$/0.00	\$/961.05	\$/0.00	\$/722.67	\$/0.00
16:00:00	\$/2,520	\$/0	\$/2,355.05	\$/0.00	\$/2,190.05	\$/0.00	\$/1,983.64	\$/0.00	\$/1,777.05	\$/0.00	\$/1,570.28	\$/0.00	\$/1,363.34	\$/0.00	\$/1,156.22	\$/0.00	\$/948.91	\$/0.00	\$/699.90	\$/0.00	\$/450.63	\$/0.00
17:00:00	\$/2,621	\$/0	\$/2,459.99	\$/0.00	\$/2,298.69	\$/0.00	\$/2,096.88	\$/0.00	\$/1,894.86	\$/0.00	\$/1,692.65	\$/0.00	\$/1,490.24	\$/0.00	\$/1,287.63	\$/0.00	\$/1,084.80	\$/0.00	\$/841.15	\$/0.00	\$/597.20	\$/0.00
18:00:00		\$/0		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/84.21		\$/215.50		\$/373.50		\$/1,064.03
19:00:00		\$/0		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/51.90		\$/198.56		\$/345.71		\$/493.34		\$/641.47		\$/819.87		\$/1,997.98
20:00:00		\$/0		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/20.23		\$/165.12		\$/310.46		\$/456.24		\$/602.47		\$/778.55		\$/1,910.57
21:00:00		\$/0		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/87.05		\$/222.63		\$/358.52		\$/522.01		\$/1,371.92
22:00:00		\$/0		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/0.00		\$/108.43		\$/259.65		\$/822.37		\$/2,371.92
23:00:00	\$/2,014	\$/1,828.89	\$/1,643.35	\$/0.00	\$/1,411.16	\$/0.00	\$/1,178.68	\$/0.00	\$/946.89	\$/0.00	\$/712.80	\$/0.00	\$/479.40	\$/0.00	\$/245.70	\$/0.00	\$/0.00	\$/0.00	\$/17.57	\$/0.00	\$/316.42	\$/0.00
TOTAL	\$/42,688	\$/0	\$/39,878	\$/0	\$/37,065	\$/0	\$/33,547	\$/0	\$/30,025	\$/72	\$/26,501	\$/364	\$/22,973	\$/743	\$/19,441	\$/1,256	\$/15,907	\$/1,926	\$/11,696	\$/2,771	\$/7,770	\$/7,527
TOTAL ANUAL	\$/42,688		\$/39,878		\$/37,065		\$/33,547		\$/30,098		\$/26,864		\$/23,716		\$/20,698		\$/17,833		\$/14,467		\$/15,297	

Energía Capacitiva [\$/]	2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		
	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]	Energía Capacitiva [\$/]	Energía Inductiva >36 y <42% [\$/]		
\$/243.27	\$/0.00	\$/0.00	\$/149.68	\$/0.00	\$/293.54	\$/0.00	\$/439.25	\$/0.00	\$/606.04	\$/0.00	\$/773.10	\$/0.00	\$/940.44	\$/0.00	\$/1,108.05	\$/0.00	\$/1,486.21	\$/0.00	\$/1,486.21	\$/0.00	
\$/294.66	\$/0.00	\$/0.00	\$/121.05	\$/0.00	\$/263.78	\$/0.00	\$/408.02	\$/0.00	\$/573.10	\$/0.00	\$/738.42	\$/0.00	\$/903.98	\$/0.00	\$/1,069.79	\$/0.00	\$/1,443.76	\$/0.00	\$/1,443.76	\$/0.00	
\$/105.63	\$/0.00	\$/0.00	\$/224.28	\$/0.00	\$/369.94	\$/0.00	\$/518.26	\$/0.00	\$/687.97	\$/0.00	\$/857.93	\$/0.00	\$/1,028.12	\$/0.00	\$/1,198.56	\$/0.00	\$/1,582.91	\$/0.00	\$/1,582.91	\$/0.00	
\$/303.57	\$/0.00	\$/0.00	\$/115.96	\$/0.00	\$/258.41	\$/0.00	\$/402.32	\$/0.00	\$/566.99	\$/0.00	\$/731.90	\$/0.00	\$/897.04	\$/0.00	\$/1,062.40	\$/0.00	\$/1,435.34	\$/0.00	\$/1,435.34	\$/0.00	
\$/250.51	\$/0.00	\$/0.00	\$/145.08	\$/0.00	\$/288.45	\$/0.00	\$/433.59	\$/0.00	\$/599.69	\$/0.00	\$/766.02	\$/0.00	\$/932.59	\$/0.00	\$/1,099.40	\$/0.00	\$/1,475.60	\$/0.00	\$/1,475.60	\$/0.00	
\$/620.45	\$/0.00	\$/113.52	\$/0.00	\$/0.00	\$/79.97	\$/0.00	\$/216.86	\$/0.00	\$/373.51	\$/0.00	\$/530.39	\$/0.00	\$/687.49	\$/0.00	\$/844.81	\$/0.00	\$/1,199.61	\$/0.00	\$/1,199.61	\$/0.00	
\$/816.80	\$/0.00	\$/325.08	\$/0.00	\$/59.79	\$/0.00	\$/0.00	\$/102.94	\$/0.00	\$/254.98	\$/0.00	\$/407.26	\$/0.00	\$/559.79	\$/0.00	\$/712.56	\$/0.00	\$/1,057.21	\$/0.00	\$/1,057.21	\$/0.00	
\$/478.20	\$/0.00	\$/0.00	\$/21.56	\$/0.00	\$/161.87	\$/0.00	\$/302.64	\$/0.00	\$/463.79	\$/0.00	\$/625.24	\$/0.00	\$/786.98	\$/0.00	\$/949.01	\$/0.00	\$/1,314.68	\$/0.00	\$/1,314.68	\$/0.00	
\$/224.10	\$/0.00	\$/0.00	\$/159.74	\$/0.00	\$/303.66	\$/0.00	\$/449.53	\$/0.00	\$/616.46	\$/0.00	\$/783.65	\$/0.00	\$/951.09	\$/0.00	\$/1,118.78	\$/0.00	\$/1,497.01	\$/0.00	\$/1,497.01	\$/0.00	
\$/22.44	\$/0.00	\$/0.00	\$/269.53	\$/0.00	\$/416.39	\$/0.00	\$/566.37	\$/0.00	\$/737.99	\$/0.00	\$/909.84	\$/0.00	\$/1,081.91	\$/0.00	\$/1,254.20	\$/0.00	\$/1,642.70	\$/0.00	\$/1,642.70	\$/0.00	
	\$/27.96		\$/312.67		\$/460.96		\$/612.86		\$/786.68		\$/960.75		\$/1,135.06		\$/1,309.62		\$/1,703.27		\$/1,703.27		\$/1,703.27
	\$/6.52		\$/289.26		\$/436.88		\$/587.86		\$/760.63		\$/933.65		\$/1,106.92		\$/1,280.43		\$/1,671.73		\$/1,671.73		\$/1,671.73
\$/0.00	\$/126.64	\$/0.00	\$/420.55	\$/0.00	\$/571.96	\$/0.00	\$/728.18	\$/0.00	\$/906.94	\$/0.00	\$/1,085.94	\$/0.00	\$/1,265.18	\$/0.00	\$/1,444.67	\$/0.00	\$/1,849.41	\$/0.00	\$/1,849.41	\$/0.00	
\$/0.00	\$/39.28	\$/0.00	\$/324.53	\$/0.00	\$/472.86	\$/0.00	\$/624.92	\$/0.00	\$/798.90	\$/0.00	\$/973.10	\$/0.00	\$/1,147.50	\$/0.00	\$/1,322.11	\$/0.00	\$/1,715.78	\$/0.00	\$/1,715.78	\$/0.00	
\$/0.00	\$/156.27	\$/0.00	\$/453.34	\$/0.00	\$/605.92	\$/0.00	\$/763.68	\$/0.00	\$/944.23	\$/0.00	\$/1,125.05	\$/0.00	\$/1,306.13	\$/0.00	\$/1,487.48	\$/0.00	\$/1,896.50	\$/0.00	\$/1,896.50	\$/0.00	
\$/484.06	\$/0.00	\$/0.00	\$/17.07	\$/0.00	\$/156.53	\$/0.00	\$/296.33	\$/0.00	\$/456.32	\$/0.00	\$/616.52	\$/0.00	\$/776.93	\$/0.00	\$/937.57	\$/0.00	\$/1,299.79	\$/0.00	\$/1,299.79	\$/0.00	
\$/201.10	\$/0.00	\$/0.00	\$/172.12	\$/0.00	\$/316.29	\$/0.00	\$/462.53	\$/0.00	\$/629.88	\$/0.00	\$/797.47	\$/0.00	\$/965.31	\$/0.00	\$/1,133.38	\$/0.00	\$/1,512.43	\$/0.00	\$/1,512.43	\$/0.00	
\$/352.96	\$/0.00	\$/0.00	\$/89.61	\$/0.00	\$/231.66	\$/0.00	\$/374.91	\$/0.00	\$/538.86	\$/0.00	\$/703.08	\$/0.00	\$/867.58	\$/0.00	\$/1,032.35	\$/0.00	\$/1,404.07	\$/0.00	\$/1,404.07	\$/0.00	
	\$/691.03		\$/1,048.86		\$/1,224.80		\$/1,412.98		\$/1,628.92		\$/1,845.80		\$/2,063.63		\$/2,282.41		\$/2,778.21		\$/2,778.21		\$/2,778.21
	\$/1,178.83		\$/1,588.43		\$/1,783.56		\$/1,997.15		\$/2,242.50		\$/2,489.21		\$/2,737.26		\$/2,986.69		\$/3,552.99		\$/3,552.99		\$/3,552.99
	\$/1,132.68		\$/1,536.19																		

### 4.3.1.3. Análisis económico de redes con compensación

#### 4.3.1.3.1.- Red 22.9kv Puno

**Tabla N° 30:** Costos Generados por energía reactiva dentro de los 20 años - con compensación reactiva

HORA	2017				2022			
	PAGO GENERADO ENERGIA REACTIVA [S/.]				PAGO GENERADO ENERGIA REACTIVA [S/.]			
	Energia Capacitiva [S/.]	BLOQUE 1 Energia Inductiva >36 y <42 % [S/.]	BLOQUE 2 Energia Inductiva >=42 y <48 % [S/.]	BLOQUE 3 Energia Inductiva >48% [S/.]	Energia Capacitiva [S/.]	BLOQUE 1 Energia Inductiva >36 y <42 % [S/.]	BLOQUE 2 Energia Inductiva >=42 y <48 % [S/.]	BLOQUE 3 Energia Inductiva >48% [S/.]
00:00:00	0				0			
01:00:00	0				0			
02:00:00	0				0			
03:00:00	0				0			
04:00:00	0				0			
05:00:00	0				0			
06:00:00	90				0			
07:00:00	0				0			
08:00:00	0				0			
09:00:00	0				0			
10:00:00		0	0	0		0	0	0
11:00:00		0	0	0		0	0	0
12:00:00	0				0			
13:00:00	0				0			
14:00:00	0				0			
15:00:00	0				0			
16:00:00	0				0			
17:00:00	0				0			
18:00:00		0	0	0		0	0	0
19:00:00		0	0	0		0	0	0
20:00:00		0	0	0		0	0	0
21:00:00		0	0	0		0	0	0
22:00:00		0	0	0		0	0	0
23:00:00	0				0			
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



### 4.3.2.2. Análisis económico de instalación equipos seleccionados

**Tabla N° 32: Costos totales de suministro e instalación de equipos - PUNO**

LOCALIDAD : PUNO (Puno, Mañazo, Paucarcolla, Laraqueri)		METRADO		COSTOS S/.	
EQUIPO : 3 de 100 kVAR		UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
SISTEMA : TRIFÁSICO 22.9kV.		REGIÓN : PUNO			
FECHA : ENERO 2020		PROVINCIA : PUNO			
		DISTRITO : Puno, Mañazo, Paucarcolla, Laraque			
<b>I</b>	<b>RED PRIMARIA</b>				
<b>A</b>	<b>MATERIALES</b>				
<b>1.00</b>	<b>POSTES, MENSULAS Y ACCESORIOS</b>				
1.01	Poste de C.A.C. de 13/400/180/375, incluye perilla	Und.	6	974.80	5,848.80
1.02	Armado Simple metálico de F°G° (derivación aérea), incluye los siguientes materiales: 1 cruceta metálica de F°G° de 3"x3"x1/4"x2,40m, incluye media abrazadera de platina de F°G° de 21/2"x1/4"x255mm Ø, incluye pernos de fijación de 5/8"x2", adecuado con dados para fijación de espiga tipo PIN y/o con pernos maquinado y/o pernos ojo. 2 riostra de F°G° tipo L de 3"x3"x1/4"x1,22m, incluye pernos de fijación de 5/8"x2" 1 abrazadera partida tipo CAS doble de platina de F° G de 3"x1/4"x250mm Ø, incluye pernos de fijación de 5/8"x2"	Jgo	3	211.86	635.58
1.03	Cruceta Simétrica de C.A.V De 2.4 m	Pza.	3	105.95	317.85
1.03	Cruceta Asimétrica de C.A.V. de 2.40m para soporte de equ. de protección y maniobra	Pza.	3	105.95	317.85
1.04	Media loza de C.A.V. para soporte de Compensador Reactor, incluye platina metálica para unión	Und.	6	203.50	1,221.00
	<b>SUB TOTAL 1,0</b>				<b>8,341.08</b>
<b>2.00</b>	<b>CONDUCTORES ELECTRICOS Y ACCESORIOS</b>				
2.01	Conductor de Aleación de Aluminio tipo AAAC de 70mm²	m	113.40	3.02	342.47
	<b>SUB TOTAL 2,0</b>				<b>342.47</b>
<b>3.00</b>	<b>AISLADORES Y ACCESORIOS</b>				
3.01	Aislador de Goma Silicon RPP-25	Pza.	15	59.40	891.00
3.02	Grapa de anclaje tipo pistola 80kN, 50mm², de 3 pernos	Pza.	15	25.80	387.00
3.03	Cinta plana de armar	m	15	2.00	30.00
3.04	Perno ojo de A°G° de 16x305mm 55kN con tuerca y contratuerca	Pza.	15	8.90	133.50
3.05	Tuerca ojo de 16mm, 80x35x14,5mm, 56kN	Pza.	0	8.50	0.00
	<b>SUB TOTAL 3,0</b>				<b>1,441.50</b>
<b>4.00</b>	<b>EQUIPOS DE COMPENSACION, MANOBR A Y CONTROL</b>				
4.01	Compensador INDUCTIVO de las siguientes características: - Potencia nominal: 100 KVAR. - Frecuencia: 60 Hz. - Número de terminales en el Primario: 03 - Tipo de Refrigeración : ONAN - Altura de trabajo: 4000 ms.n.m - Tipo de montaje: exterior Equipado con todos sus accesorios	Eq.	2	21,757.44	43,514.88
4.02	Compensador INDUCTIVO de las siguientes características: - Potencia nominal: 150 KVAR. - Frecuencia: 60 Hz. - Número de terminales en el Primario: 03 - Tipo de Refrigeración : ONAN - Altura de trabajo: 4000 ms.n.m - Tipo de montaje: exterior Equipado con todos sus accesorios	Eq.	1	17,365.85	17,365.85
4.03	Seccionador fusible unipolar tipo CUT OUT, 25kV, 100 A, 170 NBA, con portafusible de expulsión, para operación a 4,000 msnm con accesorios de montaje.	Equipo	9	296.61	2,669.49
4.04	Pararrayos Unipolar Porcelana de óxido de Zinc 21 kV de tensión nominal, 10 kA y 170 NBA para operación a 4,000 ms.n.m con accesorios de montaje	Equipo	9	296.61	2,669.49
4.05	Fusibles tipo chicote de 50K	Pza.	9	22.50	202.50
	<b>SUB TOTAL 3,0</b>				<b>66,422.21</b>
<b>5.00</b>	<b>FERRETERIA Y ACCESORIOS.</b>				
5.01	Sistema de puesta a tierra constituido por: - Conductor de cobre desnudo, cableado, temple suave de 25mm² - Conductor de cobre aislado, cableado, temple suave de 25mm² - Varilla de Cu de 5/8"x2,40mts - Conector tipo ANDERSON - Conector Al-Cu. Para Al. 16-50/Cu. 2.5-10mm² (SM 2.11 o similar) - Bolsa de cemento conductivo - Carbon vegetal - Caja de registro de concreto para mantenimiento de 0,45x0,45x0,25m, con marca del símbolo de puesta a tierra en bajo relieve - Tierra negra de cultivo	Eq.	6		
		m	75	7.20	540.00
		m	60	8.90	534.00
		Unid.	6	110.18	661.08
		Unid.	6	6.35	38.12
		Unid.	6	7.20	43.20
		Bolsa	6	67.80	406.80
		Kg.	120	2.00	240.00
		Unidad	6	23.73	142.38
		m³	12	40.00	480.00
5.02	Conector de doble vía aluminio-aluminio de 35-70/35-70mm²	Pza.	36	8.50	306.00
5.03	Terminales de cobre estañado para conductor de 35-70 mm², para conexión de aterramiento	Unidad	18	2.80	50.40
5.04	Conector de derivación tipo perno partido (SLIP BOLT) P/35mm²	Pza.	6	2.50	15.00
5.05	Plancha doblada de cobre tipo J para toma de ESP-PER	Pza.	6	3.10	18.60
5.06	Cemento Portland tipo I	Bolsa	36	18.65	671.40
5.07	Hormigon	m³	2.26	45.00	101.70
5.08	Piedra	m³	2.26	45.00	101.70
	<b>SUB TOTAL 5,0</b>				<b>4,350.38</b>



Continua.

6.00 OTROS MATERIALES COMPLEMENTARIOS (Pintado numeracion de postes y simbolos)					
6.01	Pintura Spray color Blanco	Tubo	2	8.00	12.00
6.02	Pintura Spray color Negro	Tubo	2	8.00	12.00
6.03	Pintura Spray color Rojo	Tubo	2	8.00	12.00
6.04	Pintura Spray color Amarillo	Tubo	2	8.00	12.00
6.05	Cinta Masking Tape	Rollo	2	2.00	3.00
6.06	Carton Cartulina	Pliego	2	2.00	4.00
6.07	Cuchilla (Cuter)	Pza.	2	1.50	3.00
<b>SUB TOTAL</b>					<b>58.00</b>
<b>SUB TOTAL MATERIALES</b>					<b>80,955.64</b>
<b>B MONTAJE ELECTROMECANICO</b>					
1.01	lzae de postes de C"A" de 13m , incluye excavación de hoyos, acarreo de materiales de relleno y cimentación.	Jgo.	6.00	388.50	2,331.00
1.02	Instalación de Armado de Anclaje trifásico (TS-3F), incluye aisladores y Accesorios de fijación.	Jgo	3.00	124.50	373.50
1.03	Instalación de Armado de anclaje de derivacion trifásico (DS-3F), incluye conexonado y montaje de: aisladores, crucetas, ferreteria en la nueva estructura de derivacion y todo accesorios de fijación.	Jgo	3.00	182.50	547.50
1.04	Montaje de Sub Estación Aerea Biposte (SAB-3F), incluye equipo de compensacion, conexonado, seccionadores y equipos de protección, aisladores, crucetas y accesorios de fijación.	Jgo	3.00	1,824.50	5,473.50
1.05	Instalación de empalme aéreo y/o estructura.	Jgo	6.00	92.80	556.80
1.06	Tendido de conductor de aleación de aluminio de 70mm²	m	113.40	1.80	204.12
1.07	Apertura de hoyos e instalación del sistema de puesta a tierra.	Jgo.	6.00	412.50	2,475.00
1.08	Instalación del aterramiento de partes metalicas de las estructuras, incluye apertura de hoyo	Jgo.	3.00	67.50	202.50
1.09	Pintado de Numeracion de Postes y Simbolos de puesta a Tierra	Unid.	3.00	10.00	30.00
1.10	Replanteo topografico.	Global	3.00	235.50	706.50
1.11	Ingeniería de detalle.	Global	3.00	235.50	706.50
1.12	Revisión, Pruebas Eléctricas y Puesta en Servicio.	Global	3.00	235.50	706.50
1.13	Expediente de Liquidacion de Obra (1 original y 3 copias)	Global	3.00	250.00	750.00
<b>SUB TOTAL</b>					<b>15,063.42</b>
<b>RESUMEN GENERAL</b>					
<b>I.- REDES PRIMARIAS</b>					
A	SUMINISTRO DE MATERIALES				80,955.64
B	MONTAJE ELECTROMECANICO				15,063.42
C	TRANSPORTE DE MATERIALES (5 % de A)				4,047.78
D	<b>COSTO DIRECTO (A+B+C)</b>				<b>100,066.84</b>
E	GASTOS GENERALES (9% de D).				9,006.02
F	UTILIDADES (6% de D).				6,004.01
G	SUPERVISION (5% de D).				5,003.34
<b>COSTO DIRECTO TOTAL</b>					<b>120,080.21</b>
IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS I.G.V. ( 18% )					21,614.44
<b>COSTO TOTAL DE LA OBRA INCLUIDO IGV S/.</b>					<b>141,694.65</b>

Elaboración por el equipo de trabajo.

**Tabla N° 33: Costos totales de suministro e instalación de equipos - ILAVE**

MÓDULO ESTÁNDAR PARA REACTOR - ILAVE																
NOMBRE DEL MODULO		REACTOR - 22.9 KV, SIERRA (más de 4000 msnm) - TIPO FIJO														
CODIGO		104.822.66														
TIPO DE EQUIPAMIENTO		REACTOR		FUNCIONAMIENTO:		FIJO		PASOS DE		500 KVAR						
NIVEL DE TENSIÓN		22.9 KV		POTENCIA:		800 KVAR										
LUGAR		SIERRA (más de 4000 msnm)														
TIPO DE MODULO		SISTEMA DE COMPENSACION														
													FECHA DE IMPRESIÓN		11/05/2020	
													TIPO DE CAMBIO (US\$ POR S/.)		3.200	
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	SUMINISTROS IMPORTADOS				SUMINISTROS NACIONALES (M.N.)		FLETE DE SUMINISTROS A OBRA (M.N.)		OBRAS CIVILES Y MONTAJE ELECTROMECANICO				TOTAL GENERAL (US\$)
				UNITARIO (US \$)	TOTAL (US \$)	ARANCEL (M.N.)	GG ADUANAS (M.N.)	UNITARIO (US \$)	TOTAL (US \$)	UNITARIO (US \$)	TOTAL (US \$)	UNITARIO (US \$)	TOTAL (US \$)	UNITARIO (US \$)	TOTAL (US \$)	
<b>I OBRAS CIVILES</b>																
<b>1.0 BASES DE EQUIPOS Y PORTICOS</b>																
1.1	Bases de REACTOR	Und.	1										11,364.69	11,364.69	11,364.69	11,364.69
<b>SUB TOTAL OBRAS CIVILES</b>														11,364.69	11,364.69	
<b>II OBRAS ELECTROMECANICAS</b>																
<b>1.0 EQUIPOS PRINCIPALES</b>																
1.3	Reactor trifasico 22.9 KV, 500 KVAR, 95 KV/p (BIL)	Cto	3	20,333.00	60,999.00	0.00	1,998.59	0.00	0.00	505.08	505.08		1,965.45	1,965.45	1,965.45	65,468.12



Continua.

Interruptor tripolar para 22,9 kV, 36 kV, 170 kVp (BIL), 630 A, 10 kA, Incluye montaje.	UND	1,00	8,021	8,021.25		301			1,262	1,262		1,380	1,380	1,380	10,964.24
Seccionador tripolar con puesta a tierra para 22,9 kV 36 kV, 170 kVp (BIL) y 630 A, Incluye montaje.	UND	1,00	4,000	4,000		150			1,262	1,262		1,380	1,380	1,380	6,792.20
										0.00					
<b>2.0 EQUIPOS COMPLEMENTARIOS</b>										0.00					
2.1 Cables de Control	Cjto	1	0.00	0.00	0.00	0.00	370.79	370.79	4.29	4.29		254.50	254.50	254.50	629.58
2.2 Conexión al sistema de RTP de los equipos	Cjto	1	0.00	0.00	0.00	0.00	990.32	990.32	11.45	11.45		59.08	59.08	59.08	1,060.85
2.3 Canaletas y ductería	Gbl	1	0.00	0.00	0.00	0.00	1,350.00	1,350.00	16.44	16.44		59.08	59.08	59.08	1,425.52
2.4 Cable NZSXY 50-120mm2	Gbl	1	0.00	0.00	0.00	0.00	2,280.00	2,280.00	16.44	16.44		59.08	59.08	59.08	2,355.52
															0.00
<b>3.0 PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO</b>	Gbl	1										1,597.50	1,597.50	1,597.50	1,597.50
<b>4.0 INGENIERIA</b>	Gbl	1										3,164.43	3,164.43	3,164.43	3,164.43
<b>SUB TOTAL OBRAS ELECTROMECHANICAS</b>				73,020.25	0.00	2,449.39		4,991.12		3,078.02			9,919.20	9,919.20	93,457.97
<b>TOTAL COSTO I + II</b>				73,020.25	0.00	2,449.39		4,991.12		3,078.02		11,364.69	9,919.20	21,283.89	104,822.66
<b>III GASTOS GENERALES DEL CONTRATISTA</b>															0.00
<b>IV UTILIDADES DEL CONTRATISTA</b>															0.00
<b>TOTAL GENERAL</b>															<b>104,822.66</b>

Elaboración por el equipo de trabajo.

**Tabla N° 34: Costos totales de suministro e instalación de equipos - POMATA**

MÓDULO ESTÁNDAR PARA REACTOR - POMATA																
NOMBRE DEL MODULO		REACTOR - 22.9 KV, SIERRA (más de 4000 msnm) - TIPO FIJO														
CODIGO		104,822.66														
TIPO DE EQUIPAMIENTO		REACTOR		FUNCIONAMIENTO:		FIJO										
NIVEL DE TENSIÓN		22,9 KV		POTENCIA: 1000 KVAR		PASOS DE 500 KVAR										
LUGAR		SIERRA (más de 4000 msnm)														
TIPO DE MODULO		SISTEMA DE COMPENSACION														
													FECHA DE IMPRESIÓN		11/05/2020	
													TIPO DE CAMBIO (US\$ POR S/.)		3.200	
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	SUMINISTROS IMPORTADOS				SUMINISTROS NACIONALES (M.N.)		FLETE DE SUMINISTROS A OBRA (M.N.)		OBRAS CIVILES Y MONTAJE ELECTROMECHANICO				TOTAL GENERAL (US\$)
				PRECIO CIF	ARANCEL (M.N.)	GG ADUANAS (M.N.)	UNITARIO (US \$)	TOTAL (US \$)	UNITARIO (US \$)	TOTAL (US \$)	UNITARIO (US \$)	TOTAL (US \$)	UNITARIO (US \$)	TOTAL (US \$)	UNITARIO (US \$)	
<b>I OBRAS CIVILES</b>																
<b>1.0 BASES DE EQUIPOS Y PORTICOS</b>																
1.1	Bases de REACTOR	Und.	1										11,364.69	11,364.69	11,364.69	
<b>SUB TOTAL OBRAS CIVILES</b>													11,364.69	11,364.69		
<b>II OBRAS ELECTROMECHANICAS</b>																
<b>1.0 EQUIPOS PRINCIPALES</b>																
1.3	Reactor trifasico 22,9 kV, 500 KVAR. 95 KV/p (BIL)	Cjto	3	20,333.00	60,999.00	0.00	1,998.59	0.00	0.00	505.08	505.08		1,965.45	1,965.45	65,468.12	
	Interruptor tripolar para 22,9 kV, 36 kV, 170 kVp (BIL), 630 A, 10 kA, Incluye montaje.	UND	1,00	8,021	8,021.25		301			1,262	1,262		1,380	1,380	10,964.24	
	Seccionador tripolar con puesta a tierra para 22,9 kV 36 kV, 170 kVp (BIL) y 630 A, Incluye montaje.	UND	1,00	4,000	4,000		150			1,262	1,262		1,380	1,380	6,792.20	
										0.00						
<b>2.0 EQUIPOS COMPLEMENTARIOS</b>																
2.1	Cables de Control	Cjto	1	0.00	0.00	0.00	0.00	370.79	370.79	4.29	4.29		254.50	254.50	629.58	
2.2	Conexión al sistema de RTP de los equipos	Cjto	1	0.00	0.00	0.00	0.00	990.32	990.32	11.45	11.45		59.08	59.08	1,060.85	
2.3	Canaletas y ductería	Gbl	1	0.00	0.00	0.00	0.00	1,350.00	1,350.00	16.44	16.44		59.08	59.08	1,425.52	
2.4	Cable NZSXY 50-120mm2	Gbl	1	0.00	0.00	0.00	0.00	2,280.00	2,280.00	16.44	16.44		59.08	59.08	2,355.52	
															0.00	
<b>3.0 PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO</b>	Gbl	1											1,597.50	1,597.50	1,597.50	
<b>4.0 INGENIERIA</b>	Gbl	1											3,164.43	3,164.43	3,164.43	
<b>SUB TOTAL OBRAS ELECTROMECHANICAS</b>				73,020.25	0.00	2,449.39		4,991.12		3,078.02			9,919.20	9,919.20	93,457.97	
<b>TOTAL COSTO I + II</b>				73,020.25	0.00	2,449.39		4,991.12		3,078.02		11,364.69	9,919.20	21,283.89	104,822.66	
<b>III GASTOS GENERALES DEL CONTRATISTA</b>																
<b>IV UTILIDADES DEL CONTRATISTA</b>																
<b>TOTAL GENERAL</b>																

Elaboración por el equipo de trabajo.

#### 4.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA GENERAL DE PROYECTO

**Tabla N° 35:** Evaluación costo económico general del proyecto.

S.E.T.	COSTO TOTAL DE INSTALACION DE COMPENSADORES	
PUNO	S/	141,694.65
ILAVE	S/	104,822.66
POMATA	S/	104,822.66
<b>TOTAL</b>	<b>S/</b>	<b>351,339.97</b>

Elaboración por el equipo de trabajo.

##### 4.4.1. Hallamos el valor actual neto (Van) y la tasa interna de retorno (Tir)

Los parámetros del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) pueden ayudarnos a estudiar la viabilidad de ciertos proyectos a nivel económico.

##### 4.4.1.1.- Van+

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1 + K)^2}$$

Donde:

A = Monto de inversión

Q1 = Pagos evitados por energía reactiva anuales (20 años).

K = Tasa de descuento o el tipo de interés mínimo suponiendo que lo esperado es 10%.

$$VAN = \$ 203,220.63$$

El resultado al aplicar la fórmula anterior al ser el VAN mayor que cero, quiere decir que el valor actualizado con la tasa de rentabilidad elegida (el 10%) de los pagos que generará la inversión dará beneficios, en este caso, de S/. 203,220.63.



En el caso de que el VAN hubiera sido igual o menor que cero, el proyecto de inversión no generaría beneficios o directamente generaría pérdidas por los que no debería llevarse a cabo.

#### 4.4.1.2.- Tir

Tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero

$$0 = -A + \frac{Q_1}{(1 + R)^2}$$

Donde:

R = Taza interna de retorno

$$\mathbf{R = 4.84 \%}$$



## V. CONCLUSIONES

Para evaluar la problemática del excesivo pago por energía reactiva en las zonas del área de influencia, se ha efectuado inspecciones, donde se ha podido ver los beneficios que aportara el proyecto, como:

- Mejora financiera de la Empresa y niveles de tensión a los usuarios, disminuyendo las compensaciones por mala calidad de producto.
- Reducción de las pérdidas de energía por transmisión y mayor disponibilidad de transformadores de potencia y líneas de transmisión.
- Este método de compensación genera buenos resultados para corregir el factor de potencia, dado que su valor se calcula en función de la energía activa y reactiva consumida durante un período de tiempo determinado, pero es poco efectivo para garantizar una buena regulación de voltaje y para poder disminuir en forma significativa las pérdidas en barras, cables y transformadores.

Los resultados y contribuciones con la presente tesis de investigación ayudan en gran parte a la eficiencia, la capacidad, optimizar el diseño de las Redes Eléctricas y también en cuestión de costos para la Empresa distribuidora concesionaria.

Mediante la simulación en el SOFTWARE NEPLAN que se utilizó se pudo observar el comportamiento de los equipos diseñados para la compensación de energía en modo predictivo y tener los datos disponibles para futuros datos de las Redes Eléctricas en pérdidas de energía y costos económicos que conllevarían éstas.

Respecto a la sostenibilidad, los costos de operación y mantenimiento del proyecto se cubren con los beneficios obtenidos por la venta de energía a los beneficiarios del proyecto, lográndose la Sostenibilidad del Proyecto.



## VI. RECOMENDACIONES

- Para una óptima interpretación de datos obtenidos y recolectados, se recomienda utilizar diferentes fuentes de información nacionales e internacionales de estudios de mercado eléctrico.
- Los Datos históricos fueron obtenidos de los anuarios estadísticos del OSINERGMIN, las Memorias Anuales de ELECTROPUNO, de las bases de datos del SICOM y SICLI e información comercial y registros del Centro de Control de Operaciones de ELECTROPUNO (en adelante “CCO”).
- La proyección de la demanda se realizó mediante, el método de tendencias y el método econométrico; el primero determina la tendencia a largo plazo; mientras que el segundo, determina la tendencia a mediano plazo. Posteriormente la proyección final se obtendrá por la mixtura de los resultados de los dos modelos.
- Se debe considerar los filtros para esta armónica y evitar sobrecargar los equipos de protección y medición (en caso el equipo lo requiera).
- El presente proyecto es Atractiva para inversión de empresas eléctricas, puesto que permite reducir los altos montos por concepto de energía reactiva capacitiva que se viene pagando (fuente Of. Facturación ELPUNO).



## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

### BIBLIOGRAFÍA

RTR ENERGIA (2012), "compensación de energía reactiva", artículo publicado por "RTR energía".

E. Pincolini E. (2009), "Compensación de energía reactiva o factor de potencia", CIET (consultoría en instalaciones eléctricas y termo mecánicas), España.

Barrero F. (2004), "Sistemas de energía eléctrica", editorial paraninfo, España.

Barrero F., Gonzales E. (2012), "Fundamentos de instalaciones eléctricas", 1ª edición, ESPAÑA.

Comín P. (2011), "Calculo y diseño de líneas eléctricas de alta tensión", 1ª edición, España.

Gallero A. (2005), "Compensación de energía reactiva o factor de potencia", Europa.

Hernández J. (2009), "Soluciones para la compensación de la energía reactiva la calidad de energía", revista técnica "CEMENTO HORMIGÓN" España.

J. Grainer, S. Lee (1981), "optimum size and location of shunt capacitors for reduction off losses on distribution feeders", IEE. T.P.A.S., vol. 100

Azarcoya, Z. (2003).

Canepa R., S. (2012). Compensacion de la energia reactiva para la optimizacion del alimentador de media tension coishco industrial de la unidad de negocios hidrandina sur s.a. Nuevo Chimbote, Ancash: repositorio - Universidad Nacional del Santa.

Carrillo C., C. J. (2003). Compensadores Estáticos de potencia reactiva SVC. vigo, ESPAÑA.



- Dirección de Planificación de Transmisión - COES. (2012). ANTEPROYECTO  
“COMPENSACIÓN REACTIVA CAPACITIVA DE 20 MVAR EN 60 KV -  
SUBESTACIÓN PUCALLPA” . Lima, Perú: Comité de Operación Económica  
del sistema Interconectado Nacional.
- Grainer, J., & Lee, S. (1981). “optimum size and location of shunt capacitors for  
reduction off loses on distribution feeders. IEE. T.P.A.S.
- Herrera A., R. (2019). Análisis del proyecto de compensación de energía reactiva en  
baja tensión, implementado por Electronoroeste S.A. Piura: Repositorio  
Univesrsidad de Piura.
- MACHACA, J., & COILA, A. (2016). “ESTUDIO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL  
DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL ALTIPLANO, UTILIZANDO UN ANALIZADOR DE  
REDES - 2016” . Puno: Repositorio Institucional Universidad Nacional del  
Altiplano.
- Mendez, N. (2013).
- OSINERGMIN. (2003). Horarios de consumo y costos de energia reactiva en el Perú.  
Lima.
- LUMINEX, Capacitores de potencia tipo seco de baja tensión.
- MERLING GERING. Guía de utilización de los condensadores BT.
- MERLING GERING. Reactive power compensation and harmonic filtering.  
Rectiphase LV capacitors and Banks. México.
- ECUATRAN. Características eléctricas de transformadores trifásicos.



SQUARE COMPANY. Effect of power factor on equipment size. Bulletin D-412C.

MANUAL SPRAGUE ELECTRIC COM. Guía para la corrección del factor de potencia para el ingeniero de planta.

Westinghouse consulting application guide. 1991-1992

Aclaraciones técnicas sobre aparatos de maniobra de baja tensión, instalaciones y distribuciones. CATÁLOGO NS0/NV0 1978 SIENES.

CENTRO DE FORMACIÓN. CT-142. maniobra para baterías de condensadores H.T. Grupo Schneider. Denis Koch. Edición de agosto 93.

CYDESA. Condensadores de potencia.

NASSIR SAPAG CHAIN. Preparación y Evaluación de Proyectos 2da Edición.

HERNÁNDEZ R. Metodología de la investigación. Editorial, MCGRAW HILL, E.E.U.U.

A. CHEVALIER- Dibujo Industrial. Montaner y Simón. Barcelona, 1979



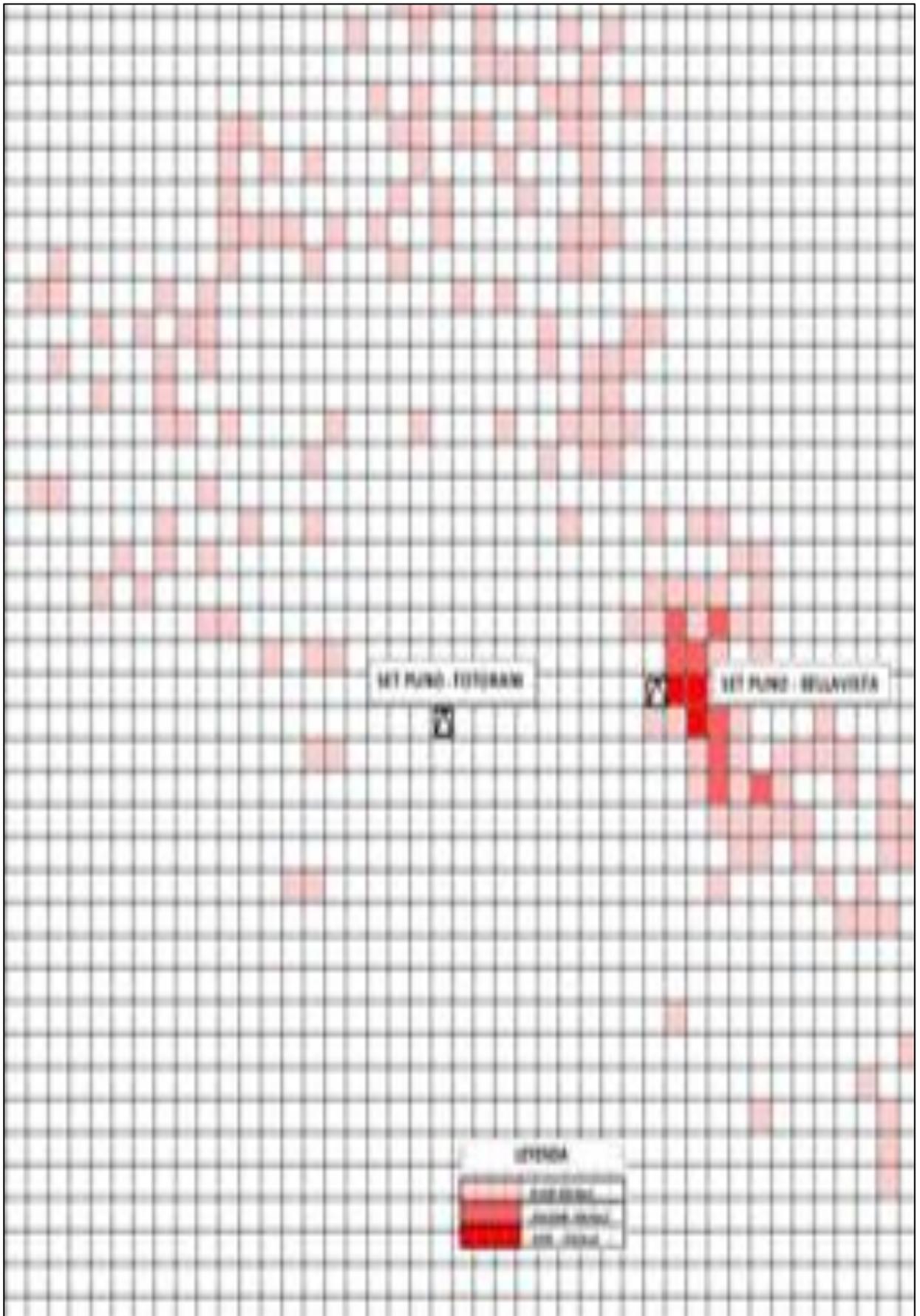
## ANEXOS

### Anexo 1. Fuente Data ELPY y Medición Propia

Electro Puno S.A.A.		PUNO 22.9 kV			
FECHA	HORA	ENERGIA kWh	POTENCIA kW	INDUCTIVA kVARh	CAPACITIVA kVARh
12.2017	00:15:00	99.15	396.58	0	116.34
12.2017	01:15:00	96.86	387.45	0	116.43
12.2017	02:15:00	94.41	377.65	0	116.39
12.2017	03:15:00	92.74	370.97	0	116.59
12.2017	04:15:00	91.53	366.11	0	116.61
12.2017	05:15:00	90.57	362.27	0	116.83
12.2017	06:15:00	89.68	358.71	0	116.49
12.2017	07:15:00	89.15	356.61	0	116.45
12.2017	08:15:00	88.72	354.88	0	116.53
12.2017	09:15:00	88.82	355.28	0	115.9
12.2017	10:15:00	88.63	354.52	0	115.53
12.2017	11:15:00	88.33	353.3	0	115.54
12.2017	12:15:00	88.05	352.2	0	115.71
12.2017	13:15:00	87.61	350.43	0	115.8
12.2017	14:15:00	87.87	351.48	0	115.74
12.2017	15:15:00	88.61	354.45	0	115.63
12.2017	16:15:00	89.63	358.53	0	115.64
12.2017	17:15:00	91.59	366.35	0	115.23
12.2017	18:15:00	94.33	377.31	0	114.96
12.2017	19:15:00	97.44	389.77	0	114.78
12.2017	20:15:00	100.98	403.93	0	114.43
12.2017	21:15:00	106.61	426.43	0	113.17
12.2017	22:15:00	111.56	446.22	0	113.91
12.2017	23:15:00	112.26	449.02	0	115.51
12.2017	00:15:00	101.78	407.11	0	119.53
12.2017	01:15:00	89.41	357.63	0	122.82
12.2017	02:15:00	88.48	353.93	0	123.43
12.2017	03:15:00	89.35	357.4	0	123.24
12.2017	04:15:00	89.54	358.15	0	122.81
12.2017	05:15:00	89.37	357.49	0	121.51
12.2017	06:15:00	89.8	359.2	0	118.22
12.2017	07:15:00	88.15	352.59	0	117.15
12.2017	08:15:00	85.63	342.5	0	115.76
12.2017	09:15:00	83.57	334.27	0	113.91
12.2017	10:15:00	83.03	332.11	0	113.25
12.2017	11:15:00	82.1	328.41	0	111.75
12.2017	12:15:00	81.69	326.76	0	110.13
12.2017	13:15:00	81.22	324.86	0	108.56
12.2017	14:15:00	80.73	322.92	0	107.18
12.2017	15:15:00	80.94	323.76	0	106.72
12.2017	16:15:00	80.84	323.35	0	106.37
12.2017	17:15:00	80.26	321.05	0	106.13
12.2017	18:15:00	79.92	319.67	0	105.66
12.2017	19:15:00	80.02	320.08	0	106.64
12.2017	20:15:00	79.99	319.98	0	106.07
12.2017	21:15:00	80.59	322.37	0	105.64
12.2017	22:15:00	79.43	317.73	0	104.35
12.2017	23:15:00	79.51	318.03	0	104.93
12.2017	00:15:00	79.02	316.08	0	105.06
12.2017	01:15:00	77.35	309.41	0	105.84
12.2017	02:15:00	76.13	304.53	0	107.19
12.2017	03:15:00	75.13	300.51	0	107.52
12.2017	04:15:00	74.59	298.34	0	108.42
12.2017	05:15:00	74.54	298.17	0	109.98
12.2017	06:15:00	75.56	302.25	0	109.56
12.2017	07:15:00	76.52	306.09	0	108.56
12.2017	08:15:00	77.24	308.96	0	107.95
12.2017	09:15:00	78.38	313.52	0.01	108.34
12.2017	10:15:00	79.83	319.32	0	108.78
12.2017	11:15:00	80.32	321.29	0	108.14
12.2017	12:15:00	80.47	321.89	0	107.75
12.2017	13:15:00	81.05	324.21	0	107.54
12.2017	14:15:00	81.96	327.83	0	107.07
12.2017	15:15:00	82.75	331.01	0	105.99
12.2017	16:15:00	82.81	331.22	0	106.58
12.2017	17:15:00	82.29	329.14	0	108.09
12.2017	18:15:00	83.31	333.26	0	108.34
12.2017	19:15:00	85.11	340.44	0	108.46
12.2017	20:15:00	88.89	355.57	0	109.56
12.2017	21:15:00	95.44	381.77	0	109.74
12.2017	22:15:00	112.29	449.14	0	105.88
12.2017	23:15:00	143.23	572.92	0	102.82
12.2017	00:15:00	165.69	662.75	0	101.52
12.2017	01:15:00	186.69	746.75	0	99.99
12.2017	02:15:00	207.04	828.14	0	98.54
12.2017	03:15:00	221.75	887.02	0.06	98.16
12.2017	04:15:00	227.25	909.02	0	99.73
12.2017	05:15:00	228.04	912.18	0	101.42
12.2017	06:15:00	226.22	904.87	0	101.54
12.2017	07:15:00	222.74	890.96	0	101.56
12.2017	08:15:00	217.31	869.24	0	102.07
12.2017	09:15:00	209.87	839.46	0	103.08
12.2017	10:15:00	201.17	804.7	0	104.29
12.2017	11:15:00	190.32	761.26	0	105
12.2017	12:15:00	180.23	720.93	0	106.29
12.2017	13:15:00	169.82	679.27	0.01	107.72
12.2017	14:15:00	160.12	640.49	0.01	109.24
12.2017	15:15:00	150.78	603.13	0	110.69
12.2017	16:15:00	142.14	568.57	0.06	112.67
12.2017	17:15:00	134.02	536.09	0.1	113.77
12.2017	18:15:00	125.94	503.76	0.08	114.46
12.2017	19:15:00	119.2	476.81	0.07	114.95
12.2017	20:15:00	113.02	452.08	0.08	115.89
12.2017	21:15:00	108.71	434.84	0	115.59
12.2017	22:15:00	105.06	420.25	0	115.85



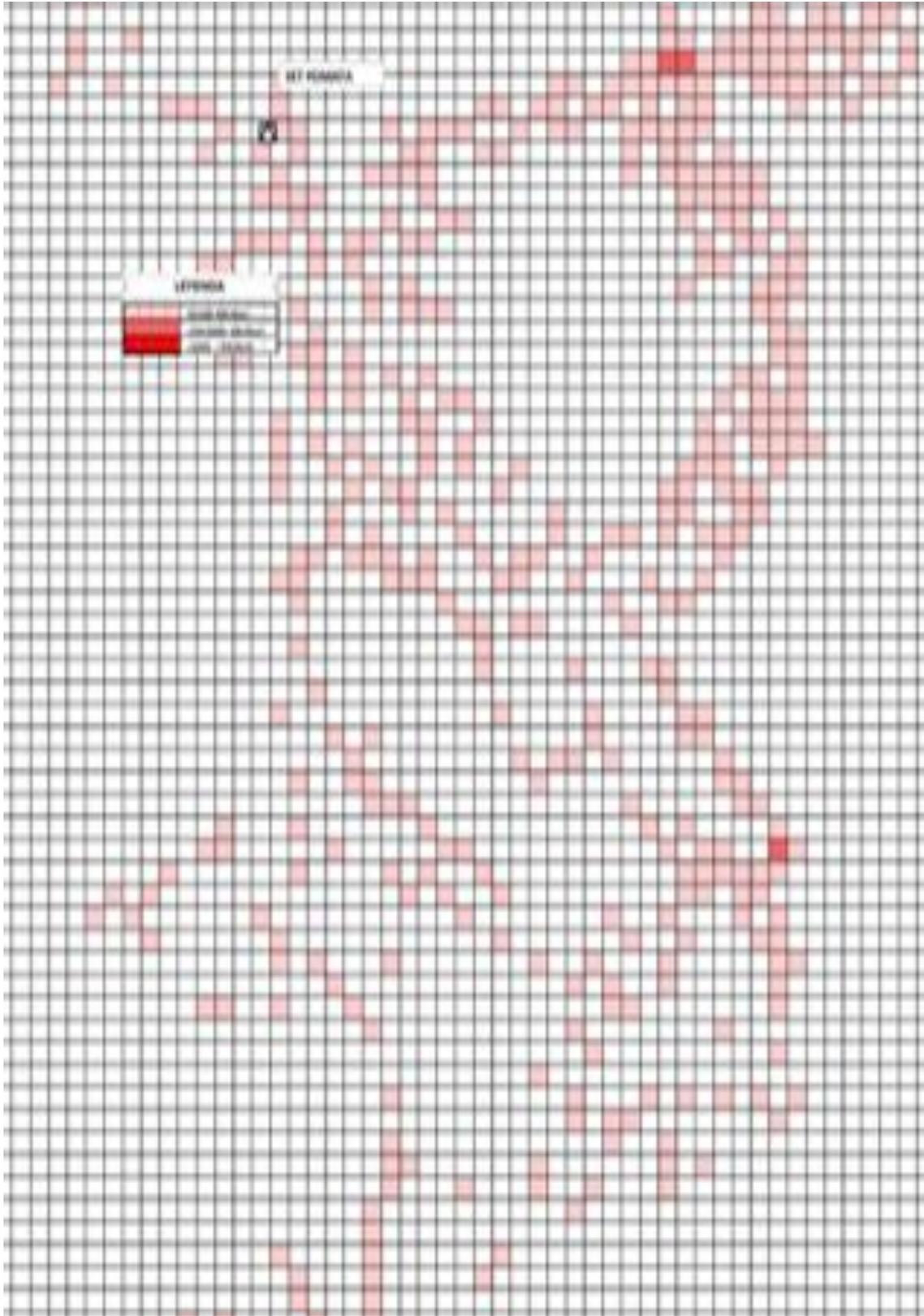
## A) PUNO





## Anexo 2. Mapa de densidad 22.9Kv – Puno – Ilave y Pomata

### a) POMATA

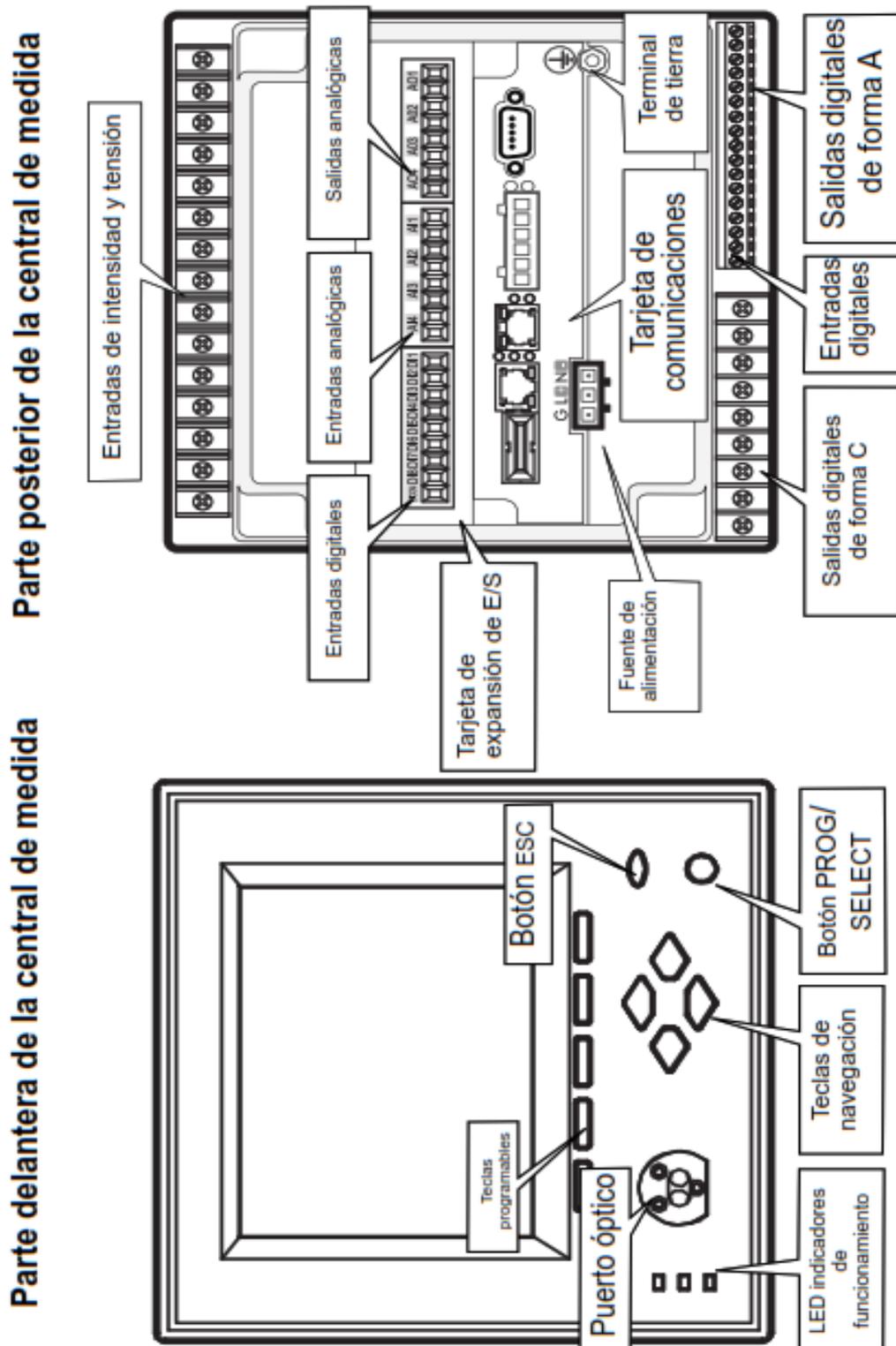


### Anexo 3. Comportamiento de carga - Consumo de Reactivas

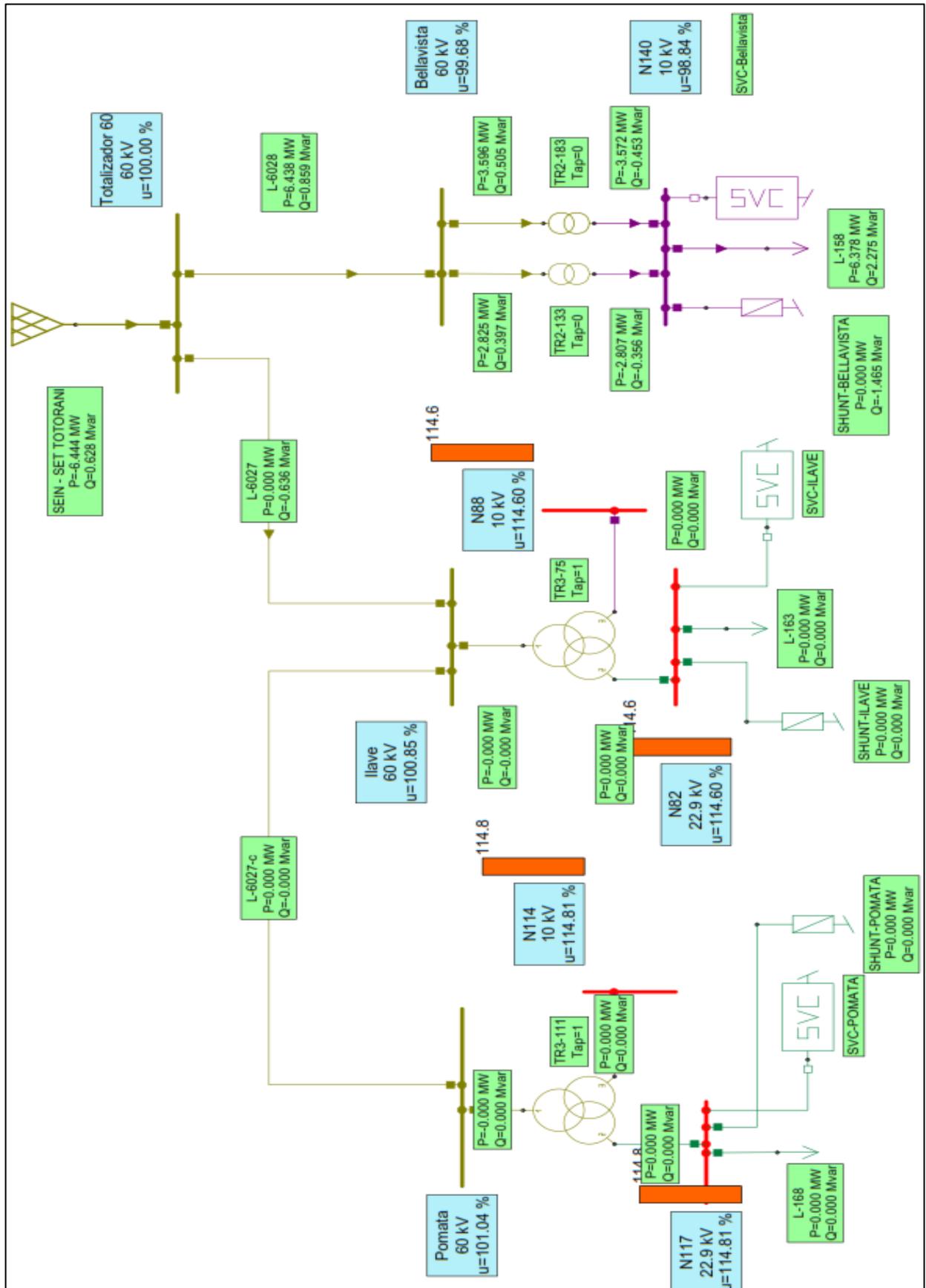
MES	Consumo													TOTAL ELPU
	BARRAS	PUNO 60 KV	PUNO 22.9 KV	JULIACA 22.9 KV	JULIACA 10 KV	AZANGARO 22.9 KV	AZANGARO 60 KV	AYAVIRI 22.9 KV	AYAVIRI 10 KV	SAN GABAN 13.8	TOTAL ELPU			
Ene-16	KVARH-Ind	401,198.12	4.45	97,788.73	1,175,580.24	0.00	400,704.84	0.88	53,999.33	0.00	2,129,276.59			
	KVARH-Cap	128,709.83	162,371.28	2,908.30	0.00	397,974.97	130,424.46	281,412.96	0.16	0.00	1,103,801.96			
Feb-16	KVARH-Ind	383,135.72	80.51	88,156.86	1,084,238.32	4.55	545,825.37	0.82	49,470.75	0.00	2,150,912.90			
	KVARH-Cap	102,741.31	133,285.66	3,987.48	0.00	382,909.85	10,222.78	245,101.72	0.06	0.00	878,248.86			
Mar-16	KVARH-Ind	387,768.27	17.32	103,699.26	1,250,918.90	1.59	77,507.03	0.00	55,169.90	0.00	1,875,082.28			
	KVARH-Cap	154,581.54	165,934.63	1,314.98	0.00	378,446.13	584,551.38	276,909.59	0.00	0.00	1,561,738.25			
Abr-16	KVARH-Ind	410,361.56	2.82	67,705.20	1,175,182.54	23.39	195,641.29	0.01	54,644.99	0.00	1,903,561.81			
	KVARH-Cap	147,308.00	163,413.67	3,647.59	5,905.75	354,604.06	231,392.37	272,874.92	0.18	0.00	1,179,146.54			
May-16	KVARH-Ind	392,027.82	0.00	74,011.19	1,287,957.26	0.04	156,774.61	0.00	60,388.35	0.00	1,971,159.27			
	KVARH-Cap	204,702.76	156,771.42	5,637.79	0.00	398,052.96	371,985.81	283,384.31	0.57	0.00	1,420,535.62			
Jun-16	KVARH-Ind	393,555.85	0.00	100,890.86	1,240,447.93	0.00	208,340.96	0.00	58,950.58	0.00	2,002,186.18			
	KVARH-Cap	198,191.11	159,672.06	3,058.91	0.00	393,640.76	205,197.20	273,821.49	0.00	0.00	1,233,581.53			
Jul-16	KVARH-Ind	395,176.89	0.00	115,083.35	1,273,627.66	0.00	250,572.67	0.05	60,550.29	0.00	2,095,010.90			
	KVARH-Cap	218,414.51	167,427.56	723.15	0.00	397,258.23	169,253.68	270,709.29	0.44	0.00	1,223,786.86			
Ago-16	KVARH-Ind	395,560.98	0.94	77,304.18	1,243,234.09	0.00	94,125.12	0.04	58,778.64	0.00	1,869,003.97			
	KVARH-Cap	192,622.27	180,053.17	3,520.45	0.00	385,399.91	493,990.87	284,985.82	0.00	0.00	1,675,476.13			
Set-16	KVARH-Ind	405,390.33	102.44	57,597.41	1,214,776.66	1.54	182,425.09	0.08	58,737.53	0.00	1,919,031.07			
	KVARH-Cap	164,833.15	158,159.18	20,963.89	0.00	362,147.55	268,311.09	288,854.93	0.00	0.00	1,243,269.79			
Oct-16	KVARH-Ind	427,007.29	0.28	108,892.88	1,256,652.77	3.46	200,540.17	0.00	58,786.53	0.00	2,051,883.39			
	KVARH-Cap	149,842.88	177,273.21	1,484.23	1.50	361,826.33	388,858.17	272,100.11	0.00	0.00	1,351,386.43			
Nov-16	KVARH-Ind	408,113.83	0.00	139,455.76	1,225,514.90	0.26	163,507.72	0.39	56,760.76	0.00	1,993,353.63			
	KVARH-Cap	155,425.81	179,946.96	1,225.64	0.00	386,952.61	394,223.88	263,350.34	0.93	0.00	1,381,126.17			
Dic-16	KVARH-Ind	460,732.11	24.57	135,777.33	1,289,506.32	98.12	266,690.24	0.19	58,998.74	0.00	2,211,827.62			
	KVARH-Cap	108,640.34	173,630.46	2,765.06	0.00	364,648.34	200,183.68	288,651.83	0.05	0.00	1,118,519.76			
Ene-17	KVARH-Ind	391,462.39	84.40	140,544.33	1,191,680.51	0.49	151,539.72	0.37	50,941.54	0.00	1,926,253.74			
	KVARH-Cap	142,094.99	211,173.12	1,641.16	0.00	415,510.95	201,042.50	276,497.06	0.05	0.00	1,247,959.83			
Feb-17	KVARH-Ind	339,022.74	0.06	152,772.50	1,089,594.40	0.00	123,232.59	0.09	44,686.57	0.00	1,749,308.95			
	KVARH-Cap	140,108.54	192,108.46	908.05	0.74	418,573.82	171,263.07	255,375.26	0.05	0.00	1,178,337.99			
Mar-17	KVARH-Ind	422,939.07	0.03	170,285.43	1,217,964.33	0.26	309,929.53	0.03	53,803.78	0.00	2,174,912.45			
	KVARH-Cap	136,478.04	227,465.04	842.53	24.54	448,479.97	76,591.63	296,568.50	0.02	0.00	1,186,450.27			
Abr-17	KVARH-Ind	423,440.62	0.06	119,665.27	1,188,524.56	0.00	220,631.62	0.07	55,678.85	0.00	2,007,941.06			
	KVARH-Cap	148,827.95	216,017.90	6,097.51	0.00	429,984.88	186,458.56	278,707.81	0.00	0.00	1,266,094.61			
May-17	KVARH-Ind	453,026.42	0.01	106,048.43	1,202,243.91	0.03	83,610.04	0.04	60,015.96	0.00	1,904,944.84			
	KVARH-Cap	155,051.19	248,385.91	1,140.65	264.94	453,353.89	595,227.56	287,153.07	0.07	0.00	1,742,577.28			
Jun-17	KVARH-Ind	439,719.15	0.00	101,640.95	1,164,106.26	0.00	171,399.10	0.06	59,758.45	0.00	1,936,623.98			
	KVARH-Cap	175,400.82	197,280.28	3,809.03	0.00	395,078.50	200,595.41	289,931.11	0.00	0.00	1,242,095.15			
	BARRAS	PUNO 60 KV	PUNO 22.9 KV	JULIACA 22.9 KV	JULIACA 10 KV	AZANGARO 22.9 KV	AZANGARO 60 KV	AYAVIRI 22.9 KV	AYAVIRI 10 KV	SAN GABAN 13.8	TOTAL ELPU			
	KVARH-Ind	7,329,639.17	317.90	1,957,319.91	21,771,741.57	133.74	3,802,997.72	3.11	1,010,121.53	0.00	35,872,274.65			
	KVARH-Cap	2,823,975.04	3,270,369.97	67,676.40	6,197.47	7,124,843.71	4,879,774.10	4,926,390.12	2.58	0.00	23,099,229.39			

Anexo 4. Proceso de extracción de Data fuente de MEDIDOR “ION 7650

ANALIZADOR – MULTIPARAMETRO”



Anexo 5. Diagrama Unifilar de Barras Puno, Ilave y Pomata



Anexo 6. Normatividad de Armónicos

ORDEN (n) DE LA ARMONICA ó THD	TOLERANCIA	
	Vi'   o   THD'   (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Para tensiones mayores a: 60 kV	Para tensiones menores o iguales a: 60 kV
<b>(Armónicas Impares no múltiplos de 3)</b>		
5	2	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores 25	$0.1 + 2.5/n$	$0.2 + 12.5/n$
<b>(Armónicas Impares múltiplos de 3)</b>		
3	1.5	5
9	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
mayores a 21	0.2	0.2
<b>Pares</b>		
2	1.5	2
4	1	1
6	0.2	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
mayores a 12	0.2	0.2
THD	3	8

Anexo 7. Data Armónicos – Totorani – 22.9kv

Resumen data de medición de armónicos 22.9 kv Puno- Totorani												
THD12	THD23	THD31										
2.47423	2.52715	2.32408										
H2 U12	H3 U12	H4 U12	H5 U12	H6 U12	H7 U12	H8 U12	H9 U12	H10 U12	H11 U12			
H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11			
0.0819837	0.354292	0.0982703	2.35981	0.0671599	0.338045	0.0433226	0.0366088	0.043089	0.0943517			
H12 U12	H13 U12	H14 U12	H15 U12	H16 U12	H17 U12	H18 U12	H19 U12	H20 U12	H21 U12			
H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21			
0.0104188	0.0438999	0.00633629	0.0108327	0.00464085	0.0132617	0.00336606	0.0106755	0.0154158	0.0042186			
H22 U12	H23 U12	H24 U12	H25 U12	H26 U12	H27 U12	H28 U12	H29 U12	H30 U12	H31 U12			
H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31			
0.00326666	0.00717846	0.00307567	0.0127109	0.0175185	0.00407454	0.00852526	0.0157937	0.00371758	0.048065			
H32 U12	H33 U12	H34 U12	H35 U12	H36 U12	H37 U12	H38 U12	H39 U12	H40 U12				
H32	H33	H34	H35	H36	H37	H38	H39	H40				
0.0143017	0.00586132	0.00413661	0.0274859	0.00324829	0.0159118	0.00469795	0.00384477	0.00450844				

Anexo 8. Data Armónicos - Totorani - 60kv

Resumen data de medición de armónicos 60 kv Puno- Totorani												
THD1	THD2	THD3										
0.73286837	0.76619292	0.69690348										
H2 UL1	H3 UL1	H4 UL1	H5 UL1	H6 UL1	H7 UL1	H8 UL1	H9 UL1	H10 UL1	H11 UL1			
H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11			
0.0774846	0.372147	0.102596	1.65386	0.0335027	0.45561	0.0377818	0.0438655	0.0182368	0.0296312			
0.00600386	0.13849339	0.01052594	2.7352529	0.00112243	0.20758047	0.00142746	0.00192418	0.00033258	0.00087801			
H12 UL1	H13 UL1	H14 UL1	H15 UL1	H16 UL1	H17 UL1	H18 UL1	H19 UL1	H20 UL1	H21 UL1			
H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21			
0.0120795	0.0464258	0.00850171	0.00899868	0.00687992	0.0225819	0.00405907	0.0151008	0.0129737	0.00506529			
0.00014591	0.00215535	7.2279E-05	8.0976E-05	4.7333E-05	0.00050994	1.6476E-05	0.00022803	0.00016832	2.5657E-05			
H22 UL1	H23 UL1	H24 UL1	H25 UL1	H26 UL1	H27 UL1	H28 UL1	H29 UL1	H30 UL1	H31 UL1			
H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31			
0.00383119	0.00780071	0.00238201	0.01576	0.012275	0.00450682	0.00750929	0.0116431	0.0035346	0.0458298			
1.4678E-05	6.0851E-05	5.674E-06	0.00024838	0.00015068	2.0311E-05	5.6389E-05	0.00013556	1.2493E-05	0.00210037			
H32 UL1	H33 UL1	H34 UL1	H35 UL1	H36 UL1	H37 UL1	H38 UL1	H39 UL1	H40 UL1				
H32	H33	H34	H35	H36	H37	H38	H39	H40				
0.0302172	0.00789661	0.00842823	0.0261909	0.00286567	0.00615512	0.00675839	0.00350509	0.00667959				
0.00091308	6.2356E-05	7.1035E-05	0.00068596	8.2121E-06	3.7886E-05	4.5676E-05	1.2286E-05	4.4617E-05				



### Anexo 9. Data Armónicos - Totorani - 60kv

<b>NORMA</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>
ISO 9001	Quality Assurance
ISO 1000	Metric Standards
ISO 1459, 1461	Hot-dip galvanizing
IEC 60068	Environmental Testing, Part 2
IEC 60296	Fluids for Electrotechnical applications
IEC 60060	High Voltage Test Techniques
IEC 60071	Insulation Coordination
IEC 60168	Tests on Post Insulators
IEC 61954	Testing of Thyristor Valves for Static VAR Compensators
IEC 60747	Semiconductor Devices
IEC 60076	Power Transformers
IEC/TR 600871-1;-4	Shunt Capacitors
IEC 60289	Reactors
IEC 61869-3	Instrument transformers - Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers
IEC 60137	Bushings
IEC/TR 60815	Selection of insulators
IEC 62271-102	High-voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches
IEC 60099	Surge Arresters
IEC 60688	Transducers for Electrical Measurements
IEC 61869-1,2	Instrument transformers
IEC 60794	Optical Fiber Cables
IEC 60694	Common clauses for HV SWG and controls stds
IEC 60439	Low voltage switchgear/control gear assemblies
IEC 60255	Electrical Protective Relays

## Anexo 10. Especificaciones Técnicas del equipo ION7550 - MULTIPARÁMETRO

### Ficha técnica del producto Características

**M7550A0C0B5A0A0A**  
ION7550, wDispl, 5MB 256s, 5A  
240VAC/300VDC 50Hz - RS+T2 - 8I+3R+4O



#### Principal

Gama	PowerLogic
Nombre corto del dispositivo	ION7550
Tipo de producto o componente	Medidor de calidad de potencia y energía

#### Complementario

Análisis de calidad de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>índice de armónico</li> <li>detección huecos y picos</li> <li>captura de onda de corriente</li> <li>supervisión de cumplimiento</li> <li>dip y swell, transitorio</li> <li>detección de dirección de interferencias</li> <li>programabilidad (funciones lógica y matemática)</li> <li>aprendizaje del punto de ajuste</li> <li>Hasta armónico 63</li> </ul>
Aplicación del dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corrección del transformador del instrumento</li> <li>Cogeneración y supervisión de PIE (Productor Independiente de Energía)</li> <li>Demanda y control del factor de potencia</li> <li>Reducción de la carga</li> <li>Control y supervisión del equipo</li> <li>Medición de la tarifa</li> <li>Totalización y impulso de energía</li> </ul>
Tipo de medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corriente</li> <li>Tensión</li> <li>Frecuencia</li> <li>Potencia aparente total</li> <li>Factor de potencia total</li> <li>Potencia aparente por fase</li> <li>Factor de potencia por fase</li> <li>Potencia activa total</li> <li>Potencia activa por fase</li> <li>Potencia reactiva total</li> <li>Potencia reactiva por fase</li> </ul>
Supply voltage	<ul style="list-style-type: none"> <li>110...300 V DC</li> <li>85...240 V CA 47...63 Hz</li> </ul>
Frecuencia de red	50 Hz

18/05/2020

Life is On Schneider

1

Descargo de responsabilidad: Esta documentación no ha sido diseñada como reemplazo, ni se debe utilizar para delimitar la idoneidad o la contabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de usuarios.



[In] corriente nominal	5 A
Type of network	1P + N 3P 3P + N
Consumo de potencia en VA	20 VA en 85...240 V AC 20 VA en 110...300 V CC
Consumo de potencia en VA	45 VA en 85...240 V CA 45 VA en 110...300 V DC
Resolución de la pantalla	320 x 240 pixels QVGA
Tipo de pantalla	LCD retroiluminada
Velocidad de muestreo	256 muestras/ciclo
Corriente de medición	0...5 A
Input type	corriente 0,005...20 A (impedancia 0.002 Ohm)
Tensión de medida	100...600 V CA fase a fase 57...347 V CA fase a neutro
Frecuencia	42...69 Hz
Número de entradas	8 digital 120 V DC
Precisión de medida	Corriente 0.1 % 1...5 A Tensión 0.1 % 57...288 V Energía 0.2 %
Clase de precisión	Clase 0,2S energía acorde a IEC 62053-22
Número de salidas	3 relé 4 estado sólido
Protocolo de puerto de comunicaciones	Telnet DNP3 en <= 115,2 kbits/s ION en <= 115,2 kbits/s Modbus en <= 115,2 kbits/s Modbus, maestro
Soporte del puerto de comunicación	SUB-D 9, estado 1 RS485/RS232 Bloco terminal, estado 1 RS485 Infrarrojos
Registro de datos	Valores instantáneos mín./máx. Análisis de tendencias /previsión Registros de eventos Sellado de tiempo Registros de datos Sincronización GPS Secuencia de registro de eventos
Velocidad de transmisión	300...57600 bauds 300...115200 baudios <= 19200 baudios
Capacidad de memoria	5 MB
Servicios web	Servidor web
Inviolabilidad de los ajustes	Protegido por código de acceso
Código de compatibilidad	ION7550

## Entorno

Compatibilidad electromagnética	Prueba de inmunidad oscilatoria/ráfagas eléctrica acorde a IEC 61000-4-4 Descarga electrostática acorde a IEC 61000-4-2 Susceptibilidad frente a campos electromagnéticos acorde a IEC 61000-4-3 Pruebas de inmunidad de ondas de choque 1,2/50 µs acorde a IEC 61000-4-5 Emisiones conducidas y radiadasB acorde a CISPR22
Tipo de montaje	Empotrado
Soporte de montaje	Puerta envolv.
Tipo de instalación	Instalación interior
Categoría de sobretensión	III
Grado de protección IP	Negro, estado 1 IP30 acorde a IEC 60529 Frontal, estado 1 IP50 acorde a IEC 60529
Humedad relativa	5...95 %
Grado de contaminación	2

## PLANOS

Un dibujo es una representación gráfica de una cosa real. Por consiguiente, el dibujo es un lenguaje gráfico, ya que emplea imágenes para comunicar pensamientos e ideas. Debido a que estas imágenes las entienden personas de diferentes nacionalidades, se dice que el dibujo es un “lenguaje universal”. (DEL CASTILLO RODRIGUEZ, 2015)

### NORMAS Y PARÁMETROS APLICADOS:

#### ISO (ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTANDARIZACIÓN)

Las normas internacionales ISO no tienen carácter obligatorio; son recomendaciones para los organismos nacionales de normalización a fin de que adopten como suyas según vaya siendo posible.

#### ANSI (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE)

#### DIN 17 (DAT IST NORM) /ASA (AMERICAN ESTÁNDARS ASSOCIATION) /ANSI

Norma alemana de escritura para rotular dibujos y dimensiones

### DIMENSIONES, FORMATO DE LÁMINA.

SERIE DE TAMAÑO	DESIGNACIÓN	DIMENSIONES
ISO - A (Primera Elección)	A0	841 x 1189
	A1	394 x 841
	A2	420 x 594
	A3	297 x 420
	A4	210 x 297
ALARGADO ESPECIAL (Segunda Elección)	A3x3	420 x 891
	A3x4	420 x 1189
	A4x3	297 x 630
	A4x4	297 x 841
	A4x5	297 x 1051
ALARGADO EXCEPCIONAL (Tercera Elección)	A0x2	189 x 1682
	A0x3	1189 x 2523
	A1x3	841 x 1783
	A1x4	841 x 2378
	A2x3	594 x 1261
	A2x4	594 x 1682
	A2x5	594 x 2102
	A3x5	420 x 1486
	A3x6	420 x 1783
	A3x7	420 x 2080
	A4x6	297 x 1261
	A4x7	297 x 1471
	A4x8	297 x 1682
A4x9	197 x 1892	