

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Influencia de la compensación reactiva en las sub
estaciones Bolivar y San Jerónimo en la disminución de
las pérdidas de transmisión de energía en la empresa
minera Catalina Huanca, Ayacucho-2019**

Kevin Cristian Cairo Huaranga

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Pedro Ricardo Gurmendi Párraga

AGRADECIMIENTO

Se dedicó al ser que siempre guio mis pasos, a mi padre celestial, por acompañarme en todo momento y no dejarme caer en desesperación, por guiarme por el camino correcto y no abandonarme, al creador de todas las personas que amo en esta vida.

A mi madre Vilma, mi padre Santiago y a mis hermanos por formarme en la persona que soy hasta el día de hoy, pilares importantes por su apoyo y motivación; los logros que consigo se les debo a ustedes, entre los que incluye este.

A la persona que me guio hasta su momento por el mejor camino, por enseñarme a ser persistente y acompañarme en todo momento.

A mis amigos por compartir sus experiencias y conocimientos.

Gracias a todas las personas que me ayudaron directa e indirectamente en el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios, quien es mi norte para toda trayectoria de mi vida, bendiciéndome y brindándome fuerzas para concluir todas mis metas trazadas. A mis padres, que me brindan su apoyo incondicional, amor y confianza; ingredientes que me permiten lograr culminar todas mis metas.

ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE ECUACIONES	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Justificación Legal	18
1.3.2. Justificación Teórica	19
1.3.3. Justificación Tecnológica.....	19
1.3.4. Justificación Social	19
1.3.5. Justificación Económica	20
1.3.6. Importancia.....	20
1.4. Hipótesis y descripción de variables	21
1.4.1. Hipótesis	21
1.4.2. Descripción de variables	22
1.4.3. Operacionalización de variables	22
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	24
2.1. Antecedentes del problema.....	24
2.1.1. Antecedentes Locales	24
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	28
2.1.3. Antecedentes Internacionales	36
2.2. Bases teóricas	42
2.2.1. Compensación reactiva	43
2.2.2. Conceptos y definiciones básicas	43
2.2.3. Pérdidas de transmisión de energía.....	66
2.2.4. Ventajas al compensar reactivos	68
2.2.5. Problemas ocasionados por la energía reactiva	70
2.2.6. Energía en el sector minero	71
2.2.7. Usos inadecuados de la energía en los equipos eléctricos	74
2.2.8. Diagnóstico energético en una mina	76
2.2.9. Oportunidad de mejora para una mina.....	77
2.2.10. Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos	82
2.2.11. Opciones tarifarias y condiciones de ampliación de las tarifas a usuario final	85
2.2.12. Facturación por tipo de energía en el Perú	85
2.3. Definición de términos básicos.....	88
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	90
3.1. Método, y alcance de la investigación.....	90
3.1.1. Método.....	90
3.1.2. Alcance de la investigación	90

3.1.3.	Tipo.....	91
3.1.4.	Nivel de investigación.....	92
3.2.	Diseño de la investigación.....	92
3.3.	Población y Muestra.....	92
3.3.1.	Población:.....	92
3.3.2.	Muestra:.....	93
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	93
3.4.1.	Fuentes primarias.....	93
3.4.2.	Fuentes secundarias.....	94
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		95
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	95
4.1.1.	Actualidad de la empresa.....	95
4.1.2.	Ubicación del sistema de compensación reactiva.....	118
4.1.3.	Características del sistema de compensación reactiva.....	119
4.1.4.	Costo sin proyecto.....	123
4.1.5.	Costo con proyecto.....	130
4.1.6.	Estudio económico y financiero.....	142
4.2.	Prueba de hipótesis.....	152
4.2.1.	Hipótesis general.....	152
4.2.2.	Hipótesis específicas.....	156
4.3.	Discusión de resultados.....	169
CONCLUSIONES.....		174
RECOMENDACIONES.....		176
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		177
ANEXOS.....		181

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Puntos de medición evaluados	91
Tabla 2: Técnicas e instrumentos de recolección de datos	94
Tabla 3: Resultado de la campaña de mediciones con respecto a la potencia	97
Tabla 4: Análisis del factor de potencia	99
Tabla 5: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "A" 2017	105
Tabla 6: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "B" 2017	106
Tabla 7: Resultados de la evaluación de la potencia SET SAN JERÓNIMO 2017	107
Tabla 8: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "A" 2018 sin proyecto	109
Tabla 9: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "B" 2018 sin proyecto	110
Tabla 10: Resultados de la evaluación de la potencia SET SAN JERÓNIMO 2018 Avenida sin proyecto	111
Tabla 11: Resultados de la evaluación de la potencia SET SAN JERÓNIMO 2018 Estiaje sin proyecto	112
Tabla 12: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "A" 2018 con proyecto	115
Tabla 13: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "B" 2018 con proyecto	116
Tabla 14: Resultados de la evaluación de la potencia SET SAN JERÓNIMO 2018 Estiaje con proyecto	117
Tabla 15: Resumen de los datos técnicos del banco de condensador Bolívar	119
Tabla 16: Resumen de los datos técnicos del banco de condensador San Jerónimo	120
Tabla 17: Resumen de los datos técnicos del cable de unipolar tipo n2xsy de 50 mm ²	120
Tabla 18: Resumen de los datos técnicos de terminaciones para cables de energía de 50 mm ²	121
Tabla 19: Resumen de los datos técnicos de conductor de cobre para puesta a tierra 70 mm ²	122
Tabla 20: Resumen de los datos técnicos de conectores del sistema de puesta tierra	122
Tabla 21: Resumen de los datos técnicos de moldes y soldaduras exotérmica	123
Tabla 22: Resumen de los datos técnicos de tubo pvc - sap 3/4"	123
Tabla 23: Registro histórico 2016-2018 de penalidades por exceso de energía reactiva	125
Tabla 24: Penalidad pagada por el exceso de energía reactiva anualmente	126
Tabla 25: Proyección de la demanda energética sin compensación reactiva	127
Tabla 26: Proyección a pagar por el exceso de energía reactiva anualmente	130
Tabla 27: Lista de suministros y materiales de la compensación reactiva	131
Tabla 28: Costos de montaje de la compensación reactiva	133
Tabla 29: Costo de transporte de materiales y equipos	134
Tabla 30: Costos fijos de la investigación	135
Tabla 31: Resumen de los costos que involucra la investigación	136
Tabla 32: Potencia reactiva aproximada que suministrara máximo en la S.E. Bolívar	138
Tabla 33: Potencia reactiva aproximada que suministrara máximo en la S.E. San Jerónimo	138
Tabla 34: Proyección de la demanda energética con compensación reactiva aproximada	139
Tabla 35: Proyección de ahorros por las penalidades por exceso de energía reactiva	145
Tabla 36: Inversiones fijas del sistema de compensación reactiva	145
Tabla 37: Flujo de caja para la investigación	146
Tabla 38: Estado de resultados del sistema de compensación reactiva	146
Tabla 39: Flujo operativo del sistema de compensación reactiva	147
Tabla 40: Flujo de inversión del sistema de compensación reactiva	147
Tabla 41: Flujo económico	147
Tabla 42: Determinación del costo promedio ponderado del capital	148
Tabla 43: Indicadores económicos	148
Tabla 44: Periodo de recuperación de la inversión sin financiamiento	149
Tabla 45: Calculo de la cuota anual de la deuda	149

Tabla 46: Calendario de pago de la deuda	150
Tabla 47: Flujo de caja financiero	150
Tabla 48: Indicadores financieros	151
Tabla 49: Periodo de recuperación de la inversión con financiamiento.....	151
Tabla 50: Energía reactiva proyecta a ser consumida, sin compensación reactiva y con compensación reactiva.	152
Tabla 51: Prueba t para medias de dos muestras emparejadas	154
Tabla 52: Comparación del sistema eléctrica sin compensación reactiva y con compensación reactiva, con respecto al porcentaje de facturación.	157
Tabla 53: Nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva.	160
Tabla 54: Caídas de tensión en barras 2018- estiaje, sin compensación reactiva.....	162
Tabla 55: Caídas de tensión en barras 2018- estiaje, con compensación reactiva	163
Tabla 56: Transformadores de potencia de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo	164
Tabla 57: Potencia total de salida del Transformador "B" SET Bolívar 2018 - estiaje, sin compensación reactiva	165
Tabla 58: Potencia total de salida del Transformador "B" SET Bolívar 2018 - estiaje, con compensación reactiva	165
Tabla 59: Potencia total de salida del Transformador SET San Jerónimo 2018 - estiaje, sin compensación reactiva	165
Tabla 60: Potencia total de salida del Transformador SET San Jerónimo 2018 - estiaje, con compensación reactiva	166
Tabla 61: Cargabilidad del transformador "B" SET Bolívar, sin compensación reactiva y con compensación reactiva	166
Tabla 62: Cargabilidad del transformador SET San Jerónimo, sin compensación reactiva y con compensación reactiva.	167
Tabla 63: Pérdidas en el conductor con el Sistema sin compensación reactiva del tramo Chilcayoc – Bolívar	168
Tabla 64: Pérdidas en el conductor con el Sistema con compensación reactiva del tramo Chilcayoc – Bolívar	168
Tabla 65: Pérdidas en el conductor con el Sistema sin compensación reactiva del tramo Chilcayoc - San Jerónimo.....	168
Tabla 66: Pérdidas en el conductor con el Sistema con compensación reactiva del tramo Chilcayoc - San Jerónimo.....	169

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Forma fasorial de cargas lineales	43
Figura 2: Forma fasorial de cargas no lineales	44
Figura 3: Circuito, Forma de la onda de voltaje y corriente, y diagrama fasorial; de la Carga Resistiva	45
Figura 4: Circuito, Forma de la onda de voltaje y corriente, y forma fasorial; de una Carga Capacitiva	46
Figura 5: Circuito, Forma de la onda de voltaje y corriente, y forma fasorial; de una Carga Inductiva	46
Figura 6: Triangulo de Potencia	48
Figura 7: Utilización de un Capacitor de Potencia para Compensación	55
Figura 8: Comportamiento Operacional de Equipos y Motores	55
Figura 9: Corrección del factor de potencia mediante el uso de condensadores	56
Figura 10: Carga real con un bando de condensadores	58
Figura 11: Tipos de instalaciones de capacitores para corregir el factor de potencia	59
Figura 12: Compensación Individual	60
Figura 13: Compensación en Grupo o por sectores.	61
Figura 14: Compensación Centralizada	63
Figura 15: El control de la calidad de energía empieza desde la empresa de generación hasta el usuario final.	83
Figura 16: Factor de potencia promedio de la campaña de mediciones.	100
Figura 17: Factor de potencia mínima de la campaña de mediciones.	100
Figura 18: Factor de potencia máxima de la campaña de mediciones.....	101
Figura 19: Triángulo de potencia de un FP óptimo	102
Figura 20: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "A" – 2017.....	105
Figura 21: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "B" – 2017.....	106
Figura 22: Factor de potencia de la SET San Jerónimo 2017	107
Figura 23: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "A" – 2018 sin proyecto	109
Figura 24: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "B" – 2018 sin proyecto	110
Figura 25: Factor de potencia de la SET San Jerónimo 2018 Avenida sin proyecto	111
Figura 26: Factor de potencia de la SET San Jerónimo 2018 Estiaje sin proyecto.....	113
Figura 27: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "A" – 2018 con proyecto	115
Figura 28: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "B" – 2018 con proyecto	116
Figura 29: Factor de potencia de la SET San Jerónimo 2018 Estiaje con proyecto	117
Figura 30: Gráfica de probabilidad normal.....	154
Figura 31: Porcentajes facturables.....	160

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula para la Potencia Activa	49
Ecuación 2: Fórmula para la Potencia Reactiva	49
Ecuación 3: Fórmula para la Potencia Aparente.....	50
Ecuación 4: Fórmula para el Factor de Potencia	50
Ecuación 5: Fórmula alternativa para Factor de Potencia	51
Ecuación 6: Fórmula para las pérdidas por efecto Joule	53
Ecuación 7: Cálculo para encontrar la capacidad de condensadores	57
Ecuación 8: Cálculo del costo adicional por concepto de energía reactiva	70
Ecuación 9: Fórmula para el indicador de calidad de la tensión.....	84
Ecuación 10: Cálculo del factor de potencia con las variables "Q" y "P"	98
Ecuación 11: Fórmula para encontrar el FP libre de penalizaciones.....	102
Ecuación 12: Cálculo del factor de potencia con las variables "Q" y "P"	104
Ecuación 13: Fórmula para el cálculo del VANp	142

RESUMEN

La presente investigación tiene como título “Influencia de la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo en la disminución de las pérdidas de transmisión de energía en la empresa minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019”, tiene como objetivo general determinar la influencia de la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo para disminuir las pérdidas de transmisión de energía en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, mediante el uso de los bancos de condensadores que serán implementadas en el lado de baja tensión de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo, también de esta manera respetar lo que dictamina las normas del Estado peruano. El método de investigación desarrollado es el deductivo, por tal motivo nos regiremos con normas y conocimiento científico validado; el tipo de investigación es aplicada, el nivel de investigación es descriptivo y su diseño de investigación es cuasi-experimental. Al lograr satisfactoriamente la implementación, la presente investigación “Influencia de la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo en la disminución de las pérdidas de transmisión de energía en la empresa minera catalina huanca, Ayacucho – 2019”, se llega a la conclusión que es factible reducir la energía reactiva excesiva presente en la empresa Catalina Huanca, eliminando de esta manera las pérdidas de transmisión de energía.

ABSTRACT

This research has the title "Influence of reactive compensation in the substations Bolívar and San Jerónimo in the reduction of energy transmission losses in the mining company Catalina Huanca, Ayacucho - 2019", has as general objective to determine the influence of the reactive compensation at the Bolívar and San Jerónimo substations to reduce energy transmission losses at the Catalina Huanca Mining Company, Ayacucho - 2019, through the use of capacitor banks that will be implemented on the low voltage side of the Bolívar substations and San Jerónimo, also in this way respect what dictates the norms of the Peruvian state. The research method developed is the deductive, for this reason we will be governed by standards and validated scientific knowledge; The type of research is applied, the level of research is descriptive and its research design is quasi-experimental. Upon successful implementation of this research "Influence of reactive compensation in the substations Bolívar and San Jerónimo in the reduction of energy transmission losses in the mining company Catalina Huanca, Ayacucho - 2019", it is concluded that it is possible to reduce the excessive reactive energy present in the Catalina Huanca company, thus eliminating energy transmission losses.

INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico en mina funciona por su naturaleza de forma muy dinámica, porque tiene cargas variables y una excesiva demanda de energía reactiva por la presencia de las líneas de transmisión y máquinas eléctricas como motores y transformadores, otros equipos como el sistema de ventilación, bombeo, perforadoras, aire comprimido, entre otras, también en la planta concentradora existen molinos, chancadoras, filtros, fajas transportadoras, etc.

La energía reactiva excesiva origina el incremento de pérdidas de energía y limitan la eficiencia completa de las máquinas eléctricas, como por ejemplo el transformador trabaja de una forma sobre exigida. Reducir las pérdidas de forma óptima, provocará una eficiencia energética en todo el sistema eléctrico. El método utilizado es la implementación de banco de condensadores en sitios estratégicos del sistema eléctrico, por tanto, esta implementación otorgará las siguientes ventajas: en principio la reducción en el recibo de electricidad por el concepto del exceso de energía reactiva permitido según indica la resolución OSINERGMIN N° 206 – 2013 - OS/CD y sus modificaciones, aumento de la potencia disponible, ya que los transformadores tendrán un mejor rendimiento y por ello se tendrá una disponibilidad de potencia para otras cargas o de reserva, disminución de las pérdidas por efecto Joule en los conductores y transformadores debido que estas pérdidas son contabilizadas como energía consumida, reducción de la caída de tensión para tener una tensión de buena calidad y para no infringir lo que dictamina la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE).

En la actualidad la penalización por el exceso de energía reactiva se ha incrementado y como consecuencia las empresas mineras pagan más en su facturación mensual innecesariamente. Las implementaciones de los bancos de condensadores brindarán estabilidad en el factor de potencia, adaptándose a las variaciones de cargas del momento, y de esta manera eliminará la facturación por penalizaciones de exceso de energía reactiva. El presente ahorro nos permitirá recuperar la inversión de todo el equipamiento en un mediano plazo.

El sistema de compensación reactiva tiene como finalidad de brindar energía reactiva, para que todo el grupo de instalaciones tengan el factor de potencia deseado. En la presente investigación este factor de potencia deseado debe ser como mínimo de 0.958 y como máximo cercano a la unidad, estas limitaciones nos evitarán las penalizaciones por exceso de energía reactiva emitidas en las facturaciones mensuales.

De tal forma la hipótesis general de la presente investigación es “La compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo tendrá una influencia positiva económica y técnicamente al disminuir las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019” debido a que el sistema de compensación reactiva minimizará las pérdidas de energía eléctrica, mejorará la caída de tensión, se tendrá una disponibilidad de potencia en los transformadores y en el caso de la facturación mensual de energía, se llegará a disminuir la facturación por el exceso de energía reactiva, así para evitar la penalización por exceso de energía reactiva.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Empresa Minera Catalina Huanca S.A.C., opera de forma subterránea, cuenta con depósitos de desmonte, una planta de producción llamada San Jerónimo para la producción de concentrados de plomo y zinc, así como una infraestructura compuesta por depósitos de relaves, laboratorios, oficinas administrativas, vías de acceso entre instalaciones, campamentos y otras instalaciones.

El Sistema Eléctrico de la Empresa Minera Catalina Huanca S.A.C., es suministrada por la subestación Andahuaylas, esta subestación brinda un nivel de tensión en 60 kV, la cual llega a la subestación Chilcayoc donde se distribuye en dos subestaciones: San Jerónimo y Bolívar, pertenecientes a la Empresa Minera Catalina Huanca. La subestación San Jerónimo tiene la siguiente configuración: 4.5 MVA en 33/4.16 kV con la conexión YNyn5, esta alimenta a la planta concentradora que cuenta con la chancadora, flotación, molinos, filtros, campamentos y oficinas. La subestación Bolívar tienen dos transformadores con las mismas características, que son: 3,5 MVA en 33/4.16 kV, estos transformadores están en paralelo, y alimentan a oficinas, al área de relaves mineros, operaciones en mina, compresoras y ventiladoras.

La Empresa Minera Catalina Huanca S.A.C. tiene como objetivo mejorar sus procesos productivos y expandir sus áreas de explotación, donde estas incrementarían la demanda de suministro eléctrico. Por tal motivo la empresa ha propuesto la reconfiguración del sistema eléctrico.

La rama de la Ingeniería nos da a conocer ciertos parámetros, fundamentos y normas del sector eléctrico, basados en el estudio del sector minero con el objetivo de realizar mejoras en la productividad del concentrado mineral, esto para estar en óptimas condiciones del nuevo volumen de producción en la planta concentradora.

Para el análisis de la corrección de reactivos se realizó una campaña de mediciones en las barras principales y alimentadores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo. Dicho análisis servirá para determinar el estado actual del sistema eléctrico de la empresa, y con ello garantizar un suministro eficaz y óptimo de energía eléctrica, para el desarrollo de los procesos en la mina. En la campaña de mediciones obtendremos los siguientes datos: la potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, tensiones, factor de potencia y armónicos.

De esta manera, se logrará reducir la facturación de energía eléctrica, por el concepto de cargo por energía reactiva. La reducción de pérdidas se logrará desarrollando una óptima reconfiguración del sistema eléctrico, y también se propondrá la ubicación adecuada del banco de capacitores con el objetivo de mejorar la optimización del sistema eléctrico, reduciendo pérdidas con el mejoramiento del nivel de tensión y reduciendo la potencia reactiva del sistema eléctrico Catalina Huanca.

La justificación de la presente tesis se realizará bajo un análisis logrado en campo y gabinete, obteniendo datos en la campaña de mediciones realizado en la empresa minera Catalina Huanca, esta campaña de mediciones se realizó bajo condiciones normales de operación. La finalidad es de asegurar el correcto procedimiento de suministrar energía a todas las instalaciones que brinda cada una de las subestaciones, con estándares de calidad como indica la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.2.1. Problema General

¿De qué manera la compensación reactiva de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo influye en las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho - 2019?

1.1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿En qué nivel la implementación del sistema de compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo reduce la facturación por exceso de consumo de energía reactiva en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019?
- b. ¿La caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca, es la adecuada para su correcta operación?
- c. ¿En qué porcentaje disminuye la cargabilidad de los transformadores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019?
- d. ¿En qué porcentaje disminuye las pérdidas en los conductores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo para disminuir las pérdidas de transmisión de energía en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar el nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva en la Empresa Minera Catalina Huanca, a través de la implementación del sistema de compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo, Ayacucho – 2019.
- b. Determinar si la caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca es la adecuada para su correcta operación.
- c. Estimar el porcentaje que disminuye de cargabilidad de los transformadores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.
- d. Estimar el porcentaje que disminuye en pérdidas en los conductores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.3.1. JUSTIFICACIÓN LEGAL

Mediante la emisión de la resolución OSINERGMIN N° 206-2013-OS/CD, se aprobó la norma “Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final” modificada hasta la actualidad por OSINERGMIN N° 172-2018-OS/CD, el cual en el Artículo 16° “Facturación de energía reactiva; hace mención a lo siguiente: Si el consumo de energía reactiva hasta el 30% de la energía activa total mensual, no existirá ningún cargo alguno, pero si es más del 30%, se tendrá que pagar una penalidad, la cual será el exceso de energía reactiva por el costo unitario.”

Para tal efecto, para la presente investigación se deberá mitigar los excesos de energía reactiva en el sistema eléctrico.

También se considerará la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos del Estado peruano, para tener en cuenta la caída de tensión.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La presente investigación servirá como base para otras investigaciones con respecto a compensación de energía reactiva, también servirá en el caso de que la empresa minera Catalina Huanca desea la implementación de esta investigación, ya que el presente análisis se desarrolló con datos de la empresa y se resalta los beneficios económicos y técnicos.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

La presente investigación tiene como respaldo aplicar la tecnología de los bancos de condensadores, como se describe en el marco teórico, para el desarrollo de la presente investigación, se consideró unos bancos de condensadores automáticos que se instalarán en el lado de baja tensión de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo.

Estos bancos llegarán a compensar la energía reactiva excesiva en el sistema eléctrico de la empresa minera Catalina Huanca, llegando a cumplir las exigencias demandadas por la empresa, que estas son:

- Incremento en la capacidad del sistema eléctrico de la Empresa Minera Catalina Huanca S.A.C.
- Reducción de caída de tensión.
- Disminución de pérdidas en conductores
- La reducción de costos por facturación eléctrica debido al exceso de energía reactiva establecida en la norma de opciones tarifarias y condiciones de ampliación de las tarifas a usuario final.
- Incremento de la disponibilidad de potencia de transformadores.
- Incremento de la vida útil de las instalaciones.

1.3.4. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Los usuarios y representantes de la empresa minera Catalina Huanca, recibirán una calidad de energía, representadas en la mejora de los servicios eléctricos de las

instalaciones de la empresa, de este modo evitarán contratiempos por frecuencia de fallas y penalizaciones innecesarias.

1.3.5. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Con lo que respecta a la parte económica se presenta dos características en particular, las cuales son:

- La paralización de producción en las empresas representa pérdidas económicas, ya que la empresa no genera la producción deseada mensualmente o anualmente (como ellos lo deseen), estas pérdidas económicas se generan por las pérdidas técnicas de su sistema eléctrico, estas son evidencias por tener una mala calidad de energía conllevando a interrupciones en el proceso de producción.
- Otro punto a tener en cuenta es la penalización generada por el exceso de consumo de potencia reactiva.

1.3.6. IMPORTANCIA

Es muy importante la compensación reactiva en las industrias y minas ya que nos brindará beneficios técnicos y económicos, con respecto a lo técnico nos optimizará el sistema eléctrico, reducirá la caída de tensión, en los transformadores nos brindará disponibilidad de potencia, se mejorará el factor de potencia en las instalaciones eléctricas y mejorará la continuidad del servicio.

Respecto al beneficio económico se tendrá una disminución en la facturación eléctrica por el cargo de energía reactiva, esto se logrará con el control del factor de potencia que no debe ser menor de 0.958, si nuestro factor de potencia es menor a lo que se indica, se tendrá que pagar la penalización por exceso de energía reactiva.

1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.1. HIPÓTESIS

1.4.1.1. Hipótesis General

La compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo tendrá una influencia positiva económica y técnicamente al disminuir las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.

1.4.1.2. Hipótesis Específica

- a. El nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva en la Empresa Minera Catalina Huanca, a través de la implementación de un sistema de compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo, Ayacucho – 2019, es alto.
- b. La caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca, es la adecuada para su correcta operación.
- c. El porcentaje estimado que disminuye de cargabilidad de los transformadores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 3.96% y 10.25% respectivamente, en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.
- d. El porcentaje estimado que disminuye en pérdidas en los conductores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 13.48% y 16.51% respectivamente, en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.

1.4.2. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.2.1. Variable independiente:

Compensación reactiva

1.4.2.2. Variable dependiente:

Pérdidas de transmisión de energía.

1.4.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En el presente ítem, se describirá la definición y operacionalización de variables que se utilizará en la presente investigación, para esto se tendrá en cuenta al autor Torres Gutierrez (2017), para tener como referencias algunas de sus dimensiones e indicadores, ya que estas coinciden con el presente tema de investigación.

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente Compensación reactiva	La compensación reactiva es la manera de reducir o eliminar la demanda de energía reactiva presente en un sistema eléctrico mediante la instalación de unos condensadores o filtros armónicos, con el objetivo de incrementar el radio de acción de la potencia activa respecto a la total	<ul style="list-style-type: none">- Potencia eléctrica- Voltaje de operación- Facturación por exceso de energía reactiva- Capacidad del banco de condensador	<ul style="list-style-type: none">- kW y kVAr- kV- Soles (S/)- kVAr
Variable Dependiente Pérdidas de transmisión de energía	La pérdida de transmisión de energía es la diferencia entre la energía comprada y la energía vendida, esto se genera al momento de trasladarse la energía eléctrica, iniciando desde la generación hasta los usuarios, mediante las redes de transmisión y distribución, se llega a producir pérdidas de energía y potencia, ya que cada componente eléctrico de la red eléctrica tiene una característica física peculiar que hace que no funcione a un	<ul style="list-style-type: none">- Pérdidas eléctricas- Consumo de energía reactiva- Niveles de tensión en barras- Factor de potencia	<ul style="list-style-type: none">- kW y kVAr- kVARh- kV y en p.u.- %

	100% el sistema, se llega a decir que no puede evitarse del todo.		
--	---	--	--

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. ANTECEDENTES LOCALES

- a. **En la tesis de Rojas Montero, Mardux titulada “Eficiencia energética del sistema eléctrico 22,9/4,16/0,46 kV de la Mina Animón” [1]**

Presenta los siguientes objetivos:

Como objetivo general planteó lo siguiente:

- Realizar un estudio de eficiencia energética del sistema eléctrico 22,9/4,16/0,46 kV para la Mina Animón.

Como objetivos específicos planteó lo siguiente:

- Determinar los niveles de pérdidas en el consumo de energía eléctrica y realizar una redistribución eficiente de los equipamientos de la Mina Animón.
- Realizar la simulación del flujo de potencia mediante el software DigSilent Power Factory y determinar los niveles de calidad para la Mina Animón.

Presenta los siguientes resultados:

Para un mejoramiento de los perfiles de tensión y una reducción de los niveles de pérdidas considerando un trabajo a plena carga se instalarían cuatro (4) compensadores reactivos que en total suman 10,44 MVAR para todo el sistema

eléctrico de la mina Animón, para mayor detalle los diagramas de simulación realizados en el software DigSilent Power Factory.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Se empleó el método de capacitores para la compensación de reactivos, debido a que su diseño es más económico y más fácil de implementar y que permite elevar la tensión bajo condiciones de incremento de la demanda y ayuda a mejorar el factor de potencia.
 - El método de compensación es más efectivo, pero también el más costoso ya que se tiene que conectar un banco por cada carga que se tenga conectado en el sistema, mientras que en los otros casos se puede tener un banco para un grupo determinado de cargas o un banco que realice la compensación de todo el sistema, minimizando con ello los costos por compra de capacitores.
 - La finalidad de corregir el factor de potencia es reducir o aún eliminar el costo de energía reactiva en la factura de electricidad.
 - La aplicación de los bancos de capacitores en las instalaciones industriales y en las redes de distribución, es la corrección del factor de potencia, esto se hace por una razón fundamental mejorar las condiciones operativas (voltajes y pérdidas) y tener una mejor economía de operación.
 - La inversión de recursos de una empresa en medidas de ahorro energético tiene siempre un saldo favorable para la empresa por los ahorros económicos que estas generan y por el periodo corto de recuperación de la inversión realizada, que en algunos casos como el monitoreo de la demanda para gestionar la potencia contratada con el fin de disminuir la facturación por este concepto ante la empresa eléctrica.
 - El monitoreo de los consumos de energía de los diferentes sectores de una empresa es una pieza clave para dar inicio a acciones de ahorro de energía.
- b. En la tesis de Caso Trujillo, Armando titulada “Análisis de los requerimientos para la asignación de la compensación de la energía reactiva en sistemas eléctricos de potencia”. [2]**

Presenta el siguiente objetivo:

- El objetivo que se persigue a través de este estudio es reducir las pérdidas de energía y de potencia de un sistema de distribución para diferentes niveles de carga minimizando el costo total de instalación y mantenimiento de los condensadores, manteniendo las magnitudes de tensión dentro de ciertos límites preestablecidos para garantizar un nivel adecuado de calidad de servicio.

Presenta la siguiente metodología:

En este trabajo se ha desarrollado una metodología basada en Algoritmos Genéticos con el propósito de determinar tamaño, ubicación, tipo y número de condensadores que puedan ser instalados en un sistema de distribución de topología conocida e invariante en el tiempo.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Un condensador destinado a la corrección del factor de potencia de una instalación se conectará en paralelo con el resto de carga, pues se trata de una carga más. El condensador podrá conectarse en diferentes puntos de la instalación. Dependiendo de esta ubicación se obtendrá beneficios en mayor y menor grado.
- En las instalaciones industriales un factor de potencia excesivamente bajo es debido por lo general a los motores de inducción con poca carga, pues el factor de potencia es mucho menor con carga parcial que a plena carga. Por ello, cuando los motores son de potencia excesiva es conveniente sustituirlos por otros más pequeños.
- Uno de los principales objetivos de toda organización, es optimizar en la medida de lo posible, los recursos con que dispone o dispondrá, lo que siempre justificará buscar continuamente la forma de optimizar los recursos, simplificar los procedimientos, eficientar procesos, entre otros.
- La Compensación de Potencia Reactiva es comúnmente tratada como un problema de optimización con objetivo simple. Básicamente consiste en determinar la adecuada ubicación y dimensión de bancos de capacitores/reactores. En este contexto, la función objetivo es una combinación lineal de varios factores tales como: inversión y pérdidas de transmisión, sujeto a restricciones operacionales tales como confiabilidad y perfil de tensiones.

- c. **En la tesis de Torres Gutierrez, David titulada “Localización óptima de capacitores en redes de distribución para mejorar la eficiencia energética del sistema eléctrico Chungar – Volcan”. [3]**

Presenta los siguientes objetivos:

Presenta como objetivo general:

- Optimizar la localización e implementar bancos de capacitores en redes de distribución, para mejorar la Eficiencia Energética en el Sistema Eléctrico Chungar - Volcan.

Presenta como objetivos específicos:

- Mejorar el factor de potencia, cerca de la unidad y minimizar las pérdidas y costo total del sistema. (Se considera que un sistema de distribución eficiente tiene menos del 10% de pérdidas técnicas en distribución en energía).
- Reducir al mínimo de la desviación media del perfil de tensiones en barras del sistema. La tensión en cada barra debe garantizar el cumplimiento de estándares técnicos, con una variación máxima de $\pm 5\%V_n$ para el suministro de voltaje. (Según el estándar NEMA, para arranque de motores de inducción, el nivel de tensión debe tener variación máxima de hasta $\pm 10\%V_n$, a condición de arranque).
- Reducir al mínimo la inversión total en capacitores para optimizar el soporte de potencia reactiva. (Los costos de inversión incluyen costos de compra, costos de instalación y costos de operación donde se consideran los costos de mantenimiento y depreciación).

Presenta la siguiente metodología:

El tipo de investigación es tecnológica porque tiene el propósito de aplicar el conocimiento científico, y dar solución al problema inherente a la eficiencia energética en un sistema eléctrico real, el nivel de investigación es experimental debido a que se manipuló los factores incluidos en la variable independiente “sistema eléctrico” para determinar el efecto que tiene sobre la “eficiencia energética”. Se utilizó un diseño de experimental con grupos de control y post prueba.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Se logró optimizar la localización e implementar bancos de capacitores en redes de distribución, mejorando la Eficiencia Energética en el Sistema Eléctrico Chungar – Volcan, con reducción del perfil de demanda de hasta 0.6 MW.
- El método propuesto de Localización Óptima de Capacitores OCP mejorado con el Análisis Combinatorio, además de los beneficios de la solución al problema multiobjetivo, resuelve el cuestionamiento de la compensación en baja tensión (cargas), media y/o alta tensión (distribución y transporte) al costo más eficiente. El máximo factor de potencia se obtuvo con el método propuesto, los datos fueron validados con el test de Kolmogorov indicando que los datos son normales.
- Se logró mejorar el factor de potencia, hasta 91.9% en barras de 50kV y 93.4 en barras de 22.9kV. Se logró reducir las pérdidas de potencia de 0.848 a 0.656 MW. El costo total del sistema de compensación es de US\$/. 517,500.00, con ahorros anuales en pérdidas eléctricas de US\$/. 158,571.1, el retorno de la inversión es de 4 años, para una vida útil de 15 años del planeamiento del proyecto.
- Se logró mejorar la desviación media del perfil de tensiones en barras del sistema, evitando violaciones de voltaje en todas las barras. El perfil logrado varía entre 96 y 103 %Vn en todas las barras, un resultado óptimo considerando las exigencias del CNE, NTCSE, y estándares internacionales como el IEC, que solicitan 95 – 105 %Vn.
- Con el resultado más eficiente del OCP en el sistema, se realizaron las relocalizaciones de bancos de capacitores existentes y la instalación de nuevos bancos, la inversión final es de US\$/. 173,500.00.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- En la tesis de Aliaga Bautista, Ruby titulada “Optimización de costos en la facturación eléctrica aplicados a la pequeña y micro empresa basados en una correcta aplicación del marco regulatorio y la ley de concesiones eléctricas y su reglamento. DL 25844 – DS 093-2003”. [4]**

Presenta los siguientes objetivos:

- Establecer alternativas de reducción de los costos de facturación por consumo eléctrico para pequeñas y micro empresas a nivel nacional, basadas en la normativa vigente de la Ley de Concesiones Eléctricas, las cuales se van renovando y/o cambiando cada cuatro años.
- Determinar factores de costos de consumo eléctrico, de diferentes rubros empresariales por sectores geográficos y condiciones de facturación, estableciendo valores estándares que permitirán su identificación para luego proponer mejoras en el mismo.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Con el presente trabajo, se aplicará soluciones prácticas basadas en la correcta aplicación de Pliegos Tarifarios y características de consumo eléctrico de determinada empresa o sector empresarial nivel nacional fomentando así la descentralización de estas soluciones.
 - El presente trabajo dará una visión clara al estudiante universitario de la realidad nacional en materia de facturación eléctrica, estableciéndola como una de los principales puntos coyunturales del empresario peruano.
 - La actual ley tarifaria, permite a las empresas optimizar sus costos de facturación eléctrica, pero un gran porcentaje de ellas desconocen la normativa en materia de ahorro energético.
 - El presente trabajo proporciona una guía práctica para establecer un sistema simple para monitorear la energía, a la vez muestra como las pequeñas y medianas empresas pueden reducir el costo de su facturación energética, haciendo uso de la información cotidiana acerca de la energía y sus procesos.
 - Un cambio simple de tarifa eléctrica, puede lograr ahorros bastante significativos.
- b. En la tesis de Calderón Villanueva, José y Medina Quezada, Edwin titulada “Metodología de estudio del diagrama de carga para el mejoramiento del factor de potencia de la planta frigorífica de la corporación Hayduk S.A.” [5]**

Presenta los siguientes objetivos:

Como objetivo general presenta lo siguiente:

- Aplicar la metodología de estudio del diagrama de carga en la Planta frigorífica de la corporación HAYDUK S.A para la mejora del factor de Potencia.

Como objetivos específicos presenta lo siguiente:

- Dimensionar el sistema de compensación reactiva inductiva que permitan mejorar el factor de potencia.
- Cuantificar el ahorro de energía mediante la instalación del banco de condensadores.
- Evaluar la rentabilidad económica de la instalación del banco de condensadores.

Presenta la siguiente metodología:

El método de investigación presentado es el cuantitativo, el tipo de estudio es explicativo y el diseño es pre experimental.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Se realizó un análisis de los diagramas de carga de la Planta Frigorífica de la Empresa Hayduk S.A. identificándose las características de operación de las 02 unidades conformantes, tal como son la Cámara Frigorífica y el Túnel de Congelamiento, analizándose para cada uno de ellos los diagramas de carga en función a la estación de verano e invierno, así como del requerimiento de demanda máxima y demanda mínima.
- Se obtuvo un factor de potencia en la Cámara frigorífica de 0.8831 y para el túnel de congelamiento de 0.8591, aplicando la metodología del diagrama de carga, con un valor promedio de toda la instalación de 0.8712.
- Se dimensionó 02 sistemas de compensación de energía reactiva por grupos, según las siguientes características: Para la cámara frigorífica se tiene la siguiente configuración: 1:2:3:4:4:4:4 con un total de 7 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 1 de 30 KVAR y 4 de 40 KVAR, sumando 220 KVAR. Para el túnel de congelamiento se tiene una configuración: 1:2:3:3:4:4:4 con 7 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 2 de 30 KVAR y 3 de 40 KVAR, sumando 210 KVAR.

- Se dimensionó un total de 14 Condensadores individuales con los siguientes detalles: 06 Motores de 134 KW (180 HP) cada uno con un condensador individual de 25 KVAR, 02 Motores de 111 KW (150 HP) cada uno con un condensador individual de 13 KVAR y 06 Motores de 93 KW (125 HP) cada uno con un condensador individual de 5 KVAR.
- Se obtiene un factor de potencia global de 0.9598 desde un valor inicial de 0.8712, mejorando en un 0.33 % el valor meta fijado de 0.9567, valor en el cual se suprime la penalidad por consumo de energía reactiva.
- Se obtiene un ahorro económico anual de S/ 37,150 o U\$ 11,831.00 a instalar el sistema de compensación reactiva compuesto por 02 Bancos de condensadores automáticos grupales y 14 condensadores individuales para motores de gran potencia.
- Se tiene los siguientes indicadores de rentabilidad: Valor Actual Neto de U\$ 54,873, Tasa Interna de Retorno de 48% y un pay back de 1 año 9 meses, con el cual con una Inversión de U\$ 22,000.00 el proyecto de instalación de un sistema de compensación reactiva es entable para la empresa.

c. En la tesis de Cajaleon Pastor, Alejandro titulada “Análisis del mejoramiento de la calidad de energía en una planta industrial mediante la compensación de la energía reactiva” [6]

Presenta los siguientes objetivos:

Presenta como objetivo general:

- Analizar el mejoramiento de la calidad de energía en una planta industrial de acuerdo a la normatividad vigente a fin de mejorarla compensando la energía reactiva y analizando el efecto de la presencia de armónicos.

Presenta como objetivos específicos:

- Exponer los beneficios técnicos y económicos que se obtienen al compensar el factor de potencia de la instalación.
- Analizar el tiempo en que se recuperaría la inversión de optar por la implementación del banco de condensadores.

Presenta las siguientes conclusiones:

- El factor de potencia actual en la planta está muy por debajo del factor de potencia óptimo, ya que se tiene un factor de potencia de 0.4 y 0.5 cuando lo óptimo sería tener un factor de potencia de 0.98.
- Según las medidas realizadas, podemos concluir que, pese al factor de potencia desfavorable, el resto de parámetros eléctricos estipulados en la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE) en lo referente a la calidad de suministro se encuentra dentro de los parámetros requeridos.
- Para poder elevar el factor de potencia será necesario la instalación de 02 (dos) bancos de condensadores, uno a la salida del transformador de 630 kVA y otro a la salida del transformador en paralelo (1000 y 750 kVA). Las potencias de dichos bancos serán de 336.6 kVAR y 882.76 kVAR respectivamente.
- Se ha podido comprobar que la implementación de los bancos de condensadores es económicamente viable, ya que, por el comportamiento de la carga y el costo de inversión de los bancos de condensadores, estos se pagarían en menos de 6 meses. Adicionalmente, se observa que la tasa interna de retorno (TIR) es mucho mayor a la tasa de recuperación para los trabajadores eléctricos por lo que reafirma la viabilidad del proyecto.
- Se puede concluir adicionalmente que el hecho de la implementación de los bancos de condensadores, no solo evitará las penalidades y el ahorro consecuente de dinero por concepto de energía reactiva, sino que optimizará la instalación eléctrica obteniéndose para el transformador de 630 kVA una disponibilidad de carga adicional del 37.5% y para los transformadores en paralelo una posibilidad adicional de 31.69%.

- d. **En la tesis de Jaco Torrejón, Jhames y Blas Agüero, Jhon titulada “Modelo para soluciones avanzadas de sistemas de compensación de energía reactiva para el proyecto minero Tambomayo - Arequipa.” [7]**

Presenta los siguientes objetivos:

Presenta el siguiente objetivo general:

- Efectuar un modelo de simulación del sistema eléctrico del proyecto minero Tambomayo - Arequipa para evaluar la calidad potencia con el fin de diseñar óptimas soluciones avanzadas en sistemas de compensación de energía reactiva.

Presenta los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el comportamiento y la influencia de las cargas no Lineales mediante el software ETAP 12.6 para la selección de soluciones Avanzadas en sistemas de compensación de energía reactiva.
- Definir metodologías y configuraciones de soluciones avanzadas en sistemas de compensación de energía reactiva con el fin de evitar los efectos producidos por distorsión armónica para mejorar la calidad de potencia.

Presenta la siguiente metodología:

El tipo de investigación que se realizó fue descriptiva y aplicada, de tal forma que tengamos una descripción, análisis e interpretación de la realidad actual en el proyecto minero Tambomayo - Arequipa.

Presenta los siguientes resultados:

Los resultados fueron realmente favorables considerando que se redujo la polución en el sistema eléctrico cumpliendo con las normas y recomendaciones prácticas referentes a calidad de potencia y mejorando el factor de potencia deseado de acuerdo al procedimiento N° 20 para clientes libres mayores a 2.5MW.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Es de suma importancia modelar el sistema eléctrico del proyecto minero Tambomayo para mejorar la calidad de potencia, entre los análisis requeridos para evaluar sistemas eléctricos mineros tenemos el análisis armónico y de flujo de potencia, ya que solo verificando dichos escenarios se podrá tener un

panorama mayor del comportamiento de la red eléctrica y optar por implementar optimas soluciones avanzadas en sistemas de compensación de energía reactiva soluciones en los puntos analizados.

- Modelando las cargas, tanto de elementos lineales, como no lineales podemos predecir el comportamiento de la red eléctrica minera en base a simulaciones de ella, y así se planteó soluciones avanzadas en sistemas de compensación de energía reactiva con ello mejoro el factor de potencia global teniendo como consecuencia una mejor calidad de potencia.
 - Al definir metodologías y configuraciones de soluciones avanzadas en sistemas de compensación de energía reactiva se evitó los efectos producidos por la distorsión armónica y a su vez se mejoró la calidad de potencia en los puntos analizados, ya que el factor de potencia promedio en cada CCM analizado en baja y en media tensión (10kV) tiene como promedio 0.97, cumpliendo así con los requerimientos del Procedimiento 20 (PR20) del COES.
- e. **En la tesis de Manrique Jaeger, Ricardo y Sanz Moya, Carlo titulada “Estudio de instalaciones eléctricas en MT/BT para alimentación de fuerza a través de centro de control de motores y compensación de energía reactiva para nueva fábrica de alimento de mascotas – Molitalia” [8]**

Presenta los siguientes objetivos:

Presenta como objetivo general:

- Desarrollar el estudio para la implementación de un centro de control de motores y la compensación de energía reactiva en la fábrica para alimento de mascotas – Molitalia, demostrando los beneficios técnicos y económicos, el impacto en la producción y la mejor organización de los sistemas a través de la centralización de equipos.

Presenta como objetivos específicos:

- Demostrar que mediante la regulación de la corriente de arranque se puede mejorar la vida útil de los motores, limitar gastos de mantenimiento y reducir

el consumo de corriente eléctrica obteniendo una mejora económica para la empresa.

- Realizar un análisis básico de la presencia de armónicos en la instalación, y de ser necesario mitigar los efectos de los armónicos presentes en la instalación.
- Desarrollar un análisis del diseño eléctrico en media tensión [MT] y baja tensión [BT].

Presenta la siguiente metodología:

Para el estudio de la compensación de energía reactiva se realiza la metodología de la cuantificación de las cargas instaladas.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Se obtienen satisfactoriamente beneficios económicos por la instalación del sistema de compensación de Energía Reactiva mediante el ahorro anual de una posible facturación de \$11,961.23. Los indicadores de Rentabilidad para una inversión de los sistemas contemplados muestran resultados óptimos.
- Como resultado de la compensación de Energía Reactiva se logran satisfactoriamente beneficios técnicos como la disminución de pérdidas en los conductores hasta de 21.53%; disminución de la caída de Tensión de 1.96% a 1.06% en el alimentador principal y hasta de 2.46% a 1.84% en alimentadores de cargas; y un aumento de la potencia disponible de 4.59% a 15.48%.
- La implementación de arrancadores electrónicos como Soft Starter y Variadores de Velocidad VFD permiten reducir los costos que se producen en el arranque de motores eléctricos, se obtuvo un ahorro del 44% con respecto arrancadores directos traducidos en un ahorro aproximado del S/.20,318.26 anuales; reduciendo no solo el consumo de energía eléctrica por arranque si no también conservando la vida útil de motores y sus componentes, así mismo se comprobó que la implantación de VFD permite optimizar lo operación de motores que trabajan a potencias menores que su plena carga permitiendo la regulación de la velocidad según requerimiento de la carga.
- Se realizó un análisis de armónicos en la instalación tomando como referencia principal la presencia los condensadores y los variadores de frecuencia,

lográndose valores máximos de THD para voltajes de 1.38 %, menores al de 3.00% máximo recomendado por las normas internacionales. Así como se tomaron las precauciones necesarias para evitar el fenómeno de resonancia en presencia de condensadores.

2.1.3. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- a. **En la tesis de LLumiquinga Loya, Fredy titulada “Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfood S.A.” [9]**

Presenta los siguientes objetivos:

Presenta el siguiente objetivo general:

- Diseñar un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfood S.A. basada en un estudio técnico económico.

Presenta los siguientes objetivos específicos:

- Tomar medidas y datos de los parámetros eléctricos de todas las cargas eléctricas del sistema de la empresa.
- Determinar los beneficios técnicos y económicos que implica tener un factor de potencia mayor a 0.92.
- Estudiar y analizar la factibilidad técnica económica de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia.

Presenta la siguiente metodología:

Para la presente tesis se usará la metodología deductiva y analítica debido a que se va a partir de normas y leyes que permitirán obtener valores adecuados para el diseño del banco de condensadores y el análisis técnico económico.

Presenta las siguientes conclusiones:

- El factor de potencia promedio es de 0,84; para corregir este factor de potencia se empleará un banco de condensadores automático de 9 kVAr y de tres pasos. el banco de condensadores se lo colocara en el lado de baja tensión del transformador para evitar la penalización que impone la empresa eléctrica Quito.

- El ahorro que se obtendrá por evitar la penalización es de 194,31 USD/año, con una inversión de 1476,39 USD; con un periodo de recuperación de la inversión de 12 meses.
 - Uno de los principales beneficios técnicos es la potencia liberada en el transformador. Al corregir el actor de potencia se tiene la posibilidad de incrementar carga al transformador, a que con un factor de potencia de 0,84 se tenía una disponibilidad de aumentar carga al transformador de un 25,23%. Al corregir el factor de potencia a 0,98 la disponibilidad de aumentar carga al transformador se incrementa a un 35,93%, es decir, que del 100% de la capacidad del transformador se está utilizando un 64,07% de su capacidad y se puede incrementar la carga en un 35,93% y seguir operando con normalidad dentro de los parámetros eléctricos normales del transformador.
- Del análisis de sensibilidad se establece que para los valores actuales o menores y con una tasa de interés del 10% el proyecto es factible económicamente. Si la tasa de interés disminuye el proyecto es más rentable.

b. En la tesis de Gonzales Rodríguez, Pedro titulada “Análisis de alternativas para compensación de energía reactiva en los alimentadores de 23 kv de la estación de Caaguazú” [10]

Presenta los siguientes objetivos:

Presenta el siguiente objetivo general:

- Determinar la mejor solución técnica y económica para la compensación de potencia reactiva en el sistema de distribución dependiente de la ES – CZU.

Presenta los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un análisis de las variaciones de las cargas reactivas en los alimentadores y en la barra de 23 kV de la ES-CZU.
- Evaluar alternativas para corregir el factor de potencia en el sistema de distribución.
- Diseñar el sistema de compensación reactiva de acuerdo a la mejor alternativa evaluada.

Presenta la siguiente metodología:

El nivel que trabajo es el descriptivo, presenta un diseño no experimental y para su recolección de datos adopto la técnica de observación libre.

Presenta los siguientes resultados:

- Con el método de la compensación concentrada se logra elevar el factor de potencia aguas arriba del transformador de potencia a un valor mayor o igual a 0,95 durante la demanda máxima y un promedio mensual mayor o igual a 0,92, según el reglamento vigente de la ANDE, también se logra reducir las pérdidas en kW, y aumentar la disponibilidad del mismo en términos de kVA.
- Con el método de la compensación distribuida, se logra elevar el factor de potencia presente en los alimentadores de distribución, a un valor mayor o igual a 0,95 durante la demanda máxima y un promedio mensual mayor o igual a 0,92, según el reglamento vigente de la ANDE.
- Otro beneficio de la compensación distribuida es lograr aumentar el nivel de tensión en los tramos finales de los alimentadores, con esto se consigue una mejor regulación de los bancos reguladores de tensión, reduciendo las pérdidas de los mismos y se garantiza a los usuarios una tensión dentro de los límites permitidos según el reglamento vigente de la ANDE.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Con este trabajo se concluye que la mejor alternativa técnica y económica para compensar la energía reactiva en el sistema de distribución dependiente a la ES-CZU, es la de instalar bancos de capacitores en los alimentadores de distribución (método de compensación distribuida), en lugar de instalar bancos de capacitores en la barra de 23 kV (método de compensación concentrada en barra).
- Al elevar el factor de potencia en los alimentadores de distribución, se logra reducir la corriente reactiva presente en los mismos, esto tiene como beneficio la reducción de pérdidas en kW presente en el centro de distribución y en las líneas de transmisión contiguas a la ES-CZU.
- Al reducir la potencia reactiva presente en los alimentadores de distribución, se consiguió aumentar la capacidad de transmisión y la disponibilidad de potencia activa en la ES-CZU, según las simulaciones de flujo de potencia y

resultados expuestos en capítulo 9. Esto tiene como beneficio el uso eficiente del transformador de potencia y equipos, aumentando de esta manera la vida útil de los mismos.

- c. En la tesis de López Paiz, Gerardo titulada “Corrección del factor de potencia y diseño e instalación óptima de banco de capacitores bajo el efecto de distorsión armónica en la industria de producción de cloro” [11]**

Presenta los siguientes objetivos:

Presenta el siguiente objetivo general:

- Calcular y diseñar un banco de capacitores para minimizar los efectos de las armónicas dentro de un sistema de eléctrico de distribución y mantener el factor de potencia dentro de las normas establecidas por las empresas suministradoras de energía eléctrica.

Presenta los siguientes objetivos específicos:

- Analizar los diferentes tipos de conexión del banco de capacitores y escoger el más adecuado tanto, en la parte técnica, como en la parte económica.
- Reducir los costos en la facturación de energía.
- Aumentar la disponibilidad de potencia de los equipos.
- Incrementar la vida útil tanto de las instalaciones como de los equipos.
- Mejorar la regulación de tensión en la red.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Utilizar un variador de frecuencia con un filtro de armónicas con una inductancia de $690\mu\text{H}$ ayuda a que el factor de potencia mejore de 0.735 a 0.92, provocando un ahorro energético en la instalación.
- Un ahorro anual del 7.40% se obtendrá evitando las penalizaciones mensuales al corregir el factor de potencia de 0.82 a 0.95.
- Al corregir el factor de potencia disminuyen las corrientes que circulan por los conductores, al mismo tiempo disminuyen las pérdidas por Efecto Joule, que al final, se traducen en un ahorro anual de 0.75% del total de la factura.

d. En la tesis de Trigo García, Ángel titulada “Gestión óptima de potencia reactiva en sistemas abiertos a la competencia” [12]

Presenta los siguientes objetivos:

- Marca como objetivo principal de esta tesis el control de los flujos de potencia reactiva en los puntos frontera entre el transporte y la distribución.

Presenta las siguientes conclusiones:

- En esta tesis se ha analizado la legislación internacional vigente respecto al control de tensiones y la gestión de la potencia reactiva en los sistemas eléctricos de potencia. La primera conclusión que se puede extraer es que debido al carácter local del control de tensiones y a la complejidad de implantar un mercado competitivo para la gestión de la potencia reactiva, se opta, a nivel internacional, por tratar esta tarea como un servicio complementario.
- Como característica común de estos servicios complementarios, decir que se establecen unos requisitos mínimos obligatorios de conexión a la red de transporte para los distintos agentes involucrados. En este sentido se observa como en la mayoría de los casos se extienden estos a los gestores de las redes de distribución en los puntos frontera con el transporte, tratándolos como grandes consumidores. La filosofía en la que se basa esta legislación es la de que cada agente gestione sus necesidades de potencia reactiva.
- Centrándose en el hecho de que el tránsito de potencia reactiva entre el transporte y la distribución queda limitado, se hace necesario introducir restricciones que contemplen esta nueva situación en las herramientas utilizadas en el proceso de operación del sistema eléctrico, que sirven de apoyo a los operadores del sistema.
- Debido a las características de los sistemas estudiados, donde existen dos niveles de tensión diferenciados, transporte y distribución, se ha extraído otra conclusión importante. Si el problema de optimización se plantea de forma conjunta minimizando las pérdidas del todo el sistema, se cuenta con todas las variables de control y se imponen todas las restricciones, proporciona mejores resultados que si se realiza el estudio de forma disjunta, considerando los niveles de transporte y distribución por separado. Estas

mejoras se concretan en un mejor valor de las pérdidas del conjunto y de las pérdidas en los niveles por separado. Además, la optimización por partes puede llevar a perder variables de control, que no estarán disponibles para futuras actuaciones. La elección de la función objetivo la tendrá que realizar el operador del sistema en base al control que quiera realizar, influyendo ésta en las actuaciones de control. Si pretende minimizar las pérdidas, se obtendrán un mayor número de actuaciones en cantidades mayores que si la opción es minimizar las actuaciones para conseguir devolver al sistema a un estado admisible.

- e. **En la tesis de Hidalgo Lavayen, Giovanny y Paguay Castro, Galo titulada “Reducción de pérdidas de energía eléctrica en los alimentadores mediante compensación reactiva considerando clientes finales industriales” [13]**

Presenta los siguientes objetivos:

Presenta el siguiente objetivo general:

- Realizar un estudio técnico y económico para determinar la ubicación óptima de los bancos de condensadores a lo largo del recorrido de los alimentadores con el fin de reducir las pérdidas de energía eléctrica en el sistema mediante compensación reactiva considerando a clientes finales industriales, cumpliendo con las normas del CONELEC para el factor de potencia, nivel de voltaje y calidad de servicio eléctrico frente a variaciones de carga industriales en los otros tipos de clientes no industriales de los alimentadores primarios industriales.

Presenta los siguientes objetivos específicos:

- Reducir al mínimo las pérdidas técnicas y económicas de energía eléctrica ubicando bancos de condensadores en el punto óptimo a lo largo del recorrido de los alimentadores con carga de características con predominio industrial y netamente industrial que alimenta a sectores industriales específicos de Quito considerandos los más conflictivos.

- Alcanzar el objetivo anterior mediante la mejora del factor de potencia y niveles de voltaje tanto en los alimentadores como en los clientes finales industriales cumpliendo con los límites para estos valores establecidos por el CONELEC y conservando los parámetros ideales de la red.
- Establecer las diferencias técnicas y económicas, antes y después de incorporar los condensadores en la red, entre los alimentadores con carga de característica industrial y un alimentador con carga netamente industrial.
- Cuantificar el impacto de las pérdidas antes y después de incorporar los bancos de condensadores.
- Análisis de los beneficios económicos obtenidos al efectuar la reducción de pérdidas de energía eléctrica mediante la compensación reactiva capacitiva mejorando el factor de potencia.

Presenta las siguientes conclusiones:

- Con la instalación de los bancos de condensadores a lo largo del alimentador se logra mejorar el factor de potencia y reducir las pérdidas de potencia y energía aguas arriba del punto de instalación ya que la corriente en la troncal principal disminuye.
 - Se logró mejorar el factor de potencia hasta 0.95 en cada uno de los alimentadores, debido a que con una compensación mayor se sobre compensaban ciertos tramos de la red.
 - Al instalar los bancos de condensadores solo en los alimentadores industriales de las subestaciones en estudio, los desvíos de reactivos se redujeron, pero no tan significativamente como lo hubiera sido al instalar en todos los alimentadores con bajo factor de potencia de la empresa distribuidora.
 - Pese a que la reducción de los desvíos de reactivos es mínima, económicamente es el factor que más beneficios trae para que el proyecto de compensación reactiva mediante instalación de condensadores sea factible.
- En el alimentador 27C se tiene que los niveles de voltaje como de factor de potencia están dentro de los límites permitidos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. COMPENSACIÓN REACTIVA

La compensación de energía reactiva es la manera de reducir o eliminar la demanda de energía reactiva presente en un sistema eléctrico mediante la instalación de unos condensadores o filtros armónicos, con el objetivo de incrementar el radio de acción de la potencia activa respecto a la total. Idealmente, al compensar la energía reactiva debería tenderse a conseguir un factor de potencia igual a uno: toda la potencia suministrada a la instalación se convierte en potencia útil, pero no siempre será así, ya que algunos equipos eléctricos necesitan de potencia reactiva.

2.2.2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES BÁSICAS

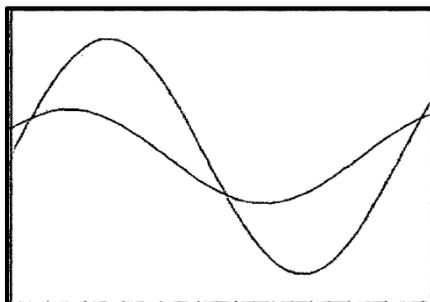
2.2.2.1. Cargas eléctricas

“Una carga es un elemento que consume energía eléctrica, en general existen dos tipos de cargas dentro de los sistemas eléctricos: Cargas lineales y las Cargas no lineales”. [5]

Ahora bien, ¿Qué es una carga lineal?, significa que, al aplicar una tensión, la forma de onda de la corriente conserva esa misma forma. Una carga eléctrica que aparece en un sistema estable, presentará una impedancia de carga constante durante todo el ciclo del contaje aplicado. Existen los siguientes casos para las cargas lineales:

- Cargas lineales resistivas
- Cargas lineales capacitivas
- Cargas lineales inductivas

Figura 1: Forma fasorial de cargas lineales



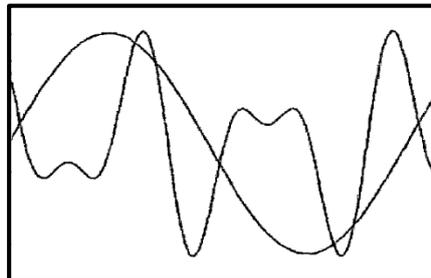
Fuente: (CALDERON VILLANUEVA, y otros, 2015

En el caso de las cargas no lineales, nos afirman lo siguiente: “Se dice que una carga es no lineal cuando la relación tensión/corriente no es constante. Las cargas no lineales conectadas a la red de corriente alternan absorben corrientes que no son senoidales. La Carga eléctrica que demanda corriente discontinuamente o cuya impedancia varia durante el ciclo de la forma de onda del voltaje alterno aplicado”. [5]

Se tiene algunas cagas típicas no lineales:

- Equipos electrónicos, generalmente monofásicos que internamente trabajan con corriente continua (impresoras, ordenadores, etc.)
- Instalaciones de iluminación con lámparas de descarga.
- Transformadores, cuya curva de magnetización es no lineal.

Figura 2: Forma fasorial de cargas no lineales

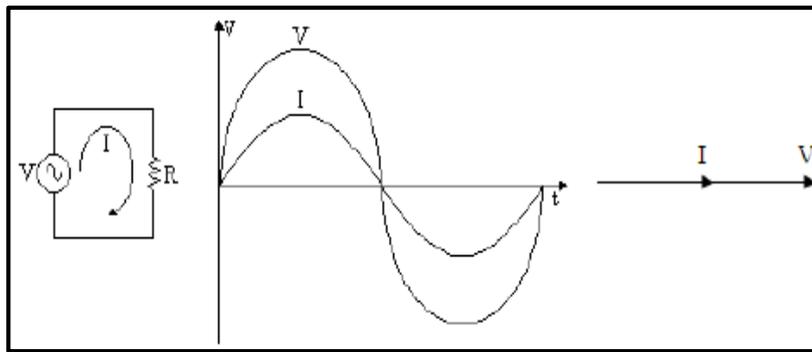


Fuente: CALDERON VILLANUEVA, y otros, 2015

a. Cargas resistivas

Transforma la energía eléctrica en calorífica, esto sucede cuando el resistor de un equipo eléctrico, llega soportar el flujo de la electricidad, dando como resultado que una parte de la energía eléctrica se disipe como calor. Claros ejemplos son las lámparas incandescentes, planchas, calefactores, entre otras, donde algunas de estas pueden llegar a producir luz o calor.

Figura 3: Circuito, Forma de la onda de voltaje y corriente, y diagrama fasorial; de la Carga Resistiva.



Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

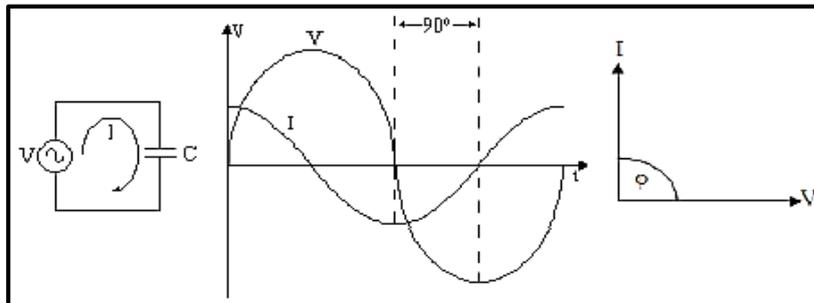
La corriente y el voltaje en una carga resistiva, llegan estar en fase, esto quiere decir que, si el voltaje llegara a incrementar o disminuir, a la corriente le sucederá lo mismo; por lo tanto, se logra obtener un factor de potencia igual a la unidad. Otra característica en este tipo de carga, es respecto al ángulo de desfase que forma la corriente y el voltaje, este ángulo será igual a cero, debido a que la corriente y el voltaje se encuentran en fase como se muestra en la figura N° 3.

b. Cargas capacitivas

Las cargas capacitivas como los capacitores o condensadores, tienen una característica eléctrica de poder almacenar energía. La carga capacitiva se caracteriza porque la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje en 90° , debido a lo cual existe un desfase positivo

como se indica en la figura N° 4. En las cargas capacitivas se logra obtener un factor de potencia adelantado.

Figura 4: Circuito, Forma de la onda de voltaje y corriente, y forma fasorial; de una Carga Capacitiva



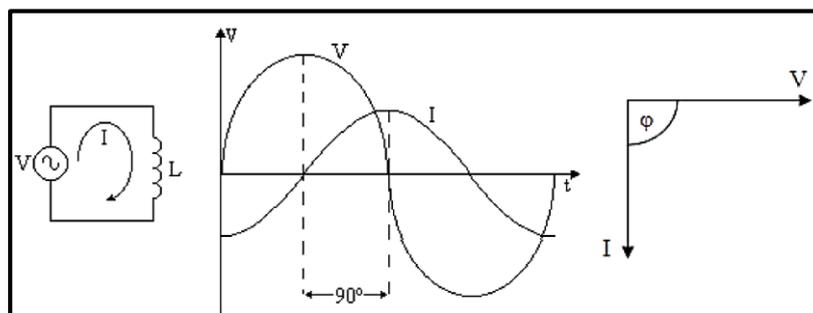
Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

c. Cargas inductivas

Las cargas inductivas se encuentran en todo equipo eléctrico que contenga bobinas, como los motores y transformadores, para el funcionamiento de los equipos, estos necesitan tanto de potencia activa como de la potencia reactiva, de este modo trabajarán con un factor de potencia menor a 1.0. por esta razón se dice que las cargas inductivas originan el bajo factor de potencia.

De acuerdo al modelo fasorial, la corriente se halla retrasada con respecto al voltaje, esto quiere decir que existe un desfase negativo (-90°), por lo tanto, se tiene un factor de potencia retrasado, tal como se observa en la figura N° 5.

Figura 5: Circuito, Forma de la onda de voltaje y corriente, y forma fasorial; de una Carga Inductiva



Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

d. Cargas combinadas

En un sistema eléctrico real, las cargas eléctricas están compuestas por cargas resistivas, inductivas y capacitivas, estas tres cargas coexisten en todo circuito eléctrico. No obstante, para el sector minero la carga predominante llega a ser la inductiva por ello se realiza la compensación reactiva como en la presente tesis. Para poder ser abastecidas de energía un sistema eléctrico, estas deben estar suministradas a través de una red eléctrica. Por otro lado, el suministro de potencia reactiva capacitiva llega a ser abastecida normalmente por bancos de capacitores.

2.2.2.2. Potencia eléctrica

“En líneas generales la potencia eléctrica se define como la capacidad que tiene un equipo eléctrico para realizar un trabajo o la cantidad de trabajo que realiza por unidad de tiempo.” [14]

La potencia eléctrica se mide por vatio (W). Las máquinas eléctricas trabajan con corriente alterna, el cual su funcionamiento se basa en el electromagnetismo, producen sus propios campos magnéticos (motores, transformadores, etc.), donde prevalecen tres tipos diversos de potencia:

- Potencia Activa (P)
- Potencia Reactiva (Q)
- Potencia Aparente (S)

a. Potencia Activa (P)

La potencia activa refleja la potencia útil medida en vatios (W), dicho de otro modo, es la energía que verdaderamente se logra utilizar cuando la máquina eléctrica se pone a operar y realiza su debida función.

b. Potencia Reactiva (Q)

Esta potencia es consumida por toda máquina o equipo eléctrico que contenga algún tipo de bobina, la cual crea un campo electromagnético; estos equipos o máquinas eléctricas pueden ser motores, transformadores, bobinas, etc. Esta potencia no genera trabajo útil, sin embargo, perjudica la transmisión de energía en las líneas eléctricas, generando pérdidas tanto técnicas como económicas. La potencia reactiva se mide en voltamperios reactivos (VAr).

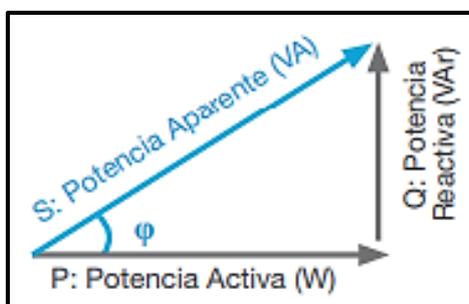
c. Potencia Aparente (S)

La potencia aparente o potencia total, es el resultado según indica el teorema de Pitágoras, de la potencia reactiva y activa. Estas potencias mencionadas representan la potencia total necesaria para alimentar la carga. Se mide en voltamperios (VA)

d. Triángulo de Potencia

Las potencias mencionadas se logran vincular unas a otras mediante el triángulo de potencia. La potencia activa y la potencia aparente, llegan a formar un ángulo " ϕ ", esto da a conocer el desfase que resulta entre corriente (I) y el voltaje (U), donde la función coseno es igual al factor de potencia (FP), esto siempre y cuando el sistema eléctrico no presenta interferencias de armónicos. La figura N° 6 muestra las tres potencias eléctricas con sus respectivas unidades de medida.

Figura 6: Triángulo de Potencia



Fuente: EMPRESA RTR ENERGIA, 2018

Donde se logra deducir lo siguiente con respecto a la potencia activa, ver la ecuación N° 1.

Ecuación 1: Fórmula para la Potencia Activa

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

Fuente: EMPRESA RTR ENERGIA;, 2018

Donde:

P: potencia activa (W).

Φ : ángulo de desfasaje (°).

$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$; para sistemas trifásicos (VA).

$S = U \cdot I$; para sistemas monofásicos (VA).

Y se logra deducir también con respecto a la potencia reactiva, ver la ecuación N° 2.

Ecuación 2: Fórmula para la Potencia Reactiva

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

Fuente: EMPRESA RTR ENERGIA, 2018

Donde:

Q: potencia reactiva (VAr).

Φ : ángulo de desfasaje (°).

$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$; para sistemas trifásicos (VA).

$S = U \cdot I$; para sistemas monofásicos (VA).

Mediante el teorema de Pitágoras, se puede lograr calcular la potencia aparente, ver la ecuación N° 3.

Ecuación 3: Fórmula para la Potencia Aparente

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

Donde:

P: potencia activa (W).

Q: potencia reactiva (VAR).

S: potencia aparente (VA).

e. Angulo “ φ ”

En la figura N° 6, se logra identificar el ángulo, el cual hace referencia si la intensidad de corriente y el voltaje se encuentran en fase. Esto dependerá del tipo de carga, por lo tanto, el factor de potencia podría ser: Igual a 1, esta es una carga resistiva.

Adelantado, esta es una carga predominantemente capacitiva.

Retrasado, esa es una carga predominantemente inductiva.

2.2.2.3. Factor de potencia

“El coseno de phi o el factor de potencia es uno de los principales indicadores del rendimiento o nivel de eficiencia de nuestra instalación.”

[15]

El factor de potencia (FP) es la relación que existe entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), se puede definir también que es la relación entre la potencia útil y la potencia total demanda, ver la ecuación N° 4.

Ecuación 4: Fórmula para el Factor de Potencia

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Fuente: FRANCESC FORNIELES, 2019

Donde:

P: potencia activa (W).

Q: potencia reactiva (VAR).

S: potencia aparente (VA).

FP: factor de potencia.

Se dice también que el coseno del ángulo que se forma entre la corriente y la tensión, puede ser igual al factor de potencia, siempre y cuando la forma de la onda sinusoidal de la corriente y de la tensión es perfecta (sin presencia de armónicos), ver la ecuación N° 5.

Ecuación 5: Fórmula alternativa para Factor de Potencia

$$FP = \cos \varphi = \frac{P \text{ (potencia activa)}}{S \text{ (potencia aparente)}}$$

Fuente: FRANCESC FORNIELES, 2019

Donde:

P: potencia activa (W).

S: potencia aparente (VA).

FP: factor de potencia.

Φ : ángulo de desfasaje (°).

Para poder tener un mejor control de la energía eléctrica, se realiza un análisis al factor de potencia, este factor se encuentra entre los intervalos de 0 a 1.0, donde el valor de 1.0 es el valor máximo y por consiguiente es el valor deseable para el sistema eléctrico.

De la siguiente manera llegan a afirmar lo siguiente: “[...] El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil”. [16]

También se llega a definir como: “[...] Se entiende por factor de potencia la eficiencia con la cual los equipos conectados a la red aprovechan la energía que se le suministra. [...]” [17]

a. Rectificación del factor de potencia

En las industrias las cargas eléctricas llegan ser por su naturaleza eléctrica de forma reactiva, debido a la existencia de transformadores y motores, y entre otras como lámparas fluorescentes

Líneas arriba se llegó a explicar que la potencia reactiva no produce un trabajo útil en los equipos, pero es muy necesaria para llegar a producir un flujo electromagnético, para poder dar marcha al funcionamiento de motores, transformadores, entre otros equipos ya mencionados.

Por otro lado, se tendrá el caso de máquinas eléctricas que requieran de más potencia reactiva para su óptimo funcionamiento, para esto se le suministrará la cantidad que requiera para su adecuado rendimiento y funcionamiento, esto provocará que se disminuya porcentualmente el factor de potencia. Es por estos casos que se debe llegar a mejorar el factor de potencia disminuido, pero teniendo en cuenta los aspectos técnicos y económicos.

De la siguiente manera llegan a afirmar lo siguiente: “[...] Uno de los objetivos de compensar la reactiva es corregir el factor de potencia, esto a través de bancos de capacitores hasta donde sea posible económicamente.” [17]

b. Causas del descenso del factor de potencia

“Las cargas inductivas como motores, balastos, transformadores, etc., son el origen del bajo factor de potencia ya que son cargas no lineales que contaminan a la red eléctrica, en este tipo de equipos el consumo de corriente se desfasa con relación al voltaje lo que provoca un bajo factor de potencia.” [18]

c. Consecuencias del descenso del factor de potencia

El exagerado consumo de potencia reactiva, llegará a ocasionar la deficiente regulación de voltaje, esto quiere decir que nuestro factor de potencia se encuentra debajo del 1.0, donde este indicador nos indicará que el sistema eléctrico, se encuentra deficiente, tanto en alta tensión y baja tensión.

Estas son algunas consecuencias del descenso del factor de potencia.

d. Incremento de las pérdidas por efecto Joule

Las pérdidas por efecto Joule, son las pérdidas de potencia, ver la ecuación N° 6.

Ecuación 6: Fórmula para las pérdidas por efecto Joule

$$P_{p\acute{e}rdidas} = I^2 \cdot R$$

Fuente: MENDEZ SERRANO, 2004

Donde:

$P_{p\acute{e}rdidas}$: Pérdidas de potencia (W).

I: intensidad de corriente que atraviesa el conductor (A).

R: resistencia óhmica del conductor (Ω)

De esta manera “I” es la corriente total y “R” es la resistencia eléctrica de los equipos como: transformadores, conductores, bobinados de los generadores, entre otras. Estas pérdidas se llegan a manifestar de la siguiente manera.

- Manifestándose en altas temperaturas de los embobinados de los transformadores.
- Manifestándose con el calentamiento de cables.
- El disparo inusual, de origen extraño de los dispositivos de protección.

- El sobrecalentamiento de equipos eléctricos provoca problemas mayores, uno de estos es el desgaste del aislamiento de los conductores, este provocará la reducción de vida útil de los equipos, dando como consecuencia futuros cortos circuitos.

e. Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución

“El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los generadores, transformadores y líneas de distribución, trabajen con cierta sobre carga y reduzca su vida útil, debido que estos equipos, se diseñan para un cierto valor de corriente y no para dañarlos, se debe operar sin que este se rebase.” [18]

f. Aumento de la caída de tensión

El recorrido de la corriente dentro de los conductores, genera una disminución de potencia en el transporte por el cable, una caída de tensión o variación entre el voltaje inicial y lo que conduce. Esta caída de tensión lleva al deficiente suministro de potencia a las cargas conectadas como lámparas, motores, etc.; estas cargas eléctricas llegan a tener una disminución de potencia en la salida. Dichas caídas de voltaje influyen en:

- Los embobinados de los transformadores de distribución
- Los cables de alimentación
- Sistemas de protección y control

g. Incremento en la facturación eléctrica

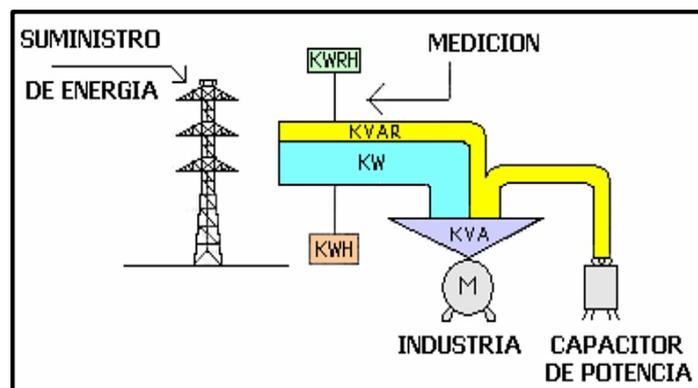
El incremento en la facturación eléctrica es ocasionado al bajo factor de potencia, ya que esta implica pérdidas de energía en el sistema eléctrico, es por eso que las empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica, están en la necesidad de sancionar económicamente al usuario, es por eso que el incremento de la facturación eléctrica llega a incrementar, y en algunos casos a largo plazo llegan ser económicamente exagerada.

2.2.2.4. Banco de condensadores

“Un condensador es un dispositivo eléctrico formado por dos placas conductoras aisladas y separadas por un dieléctrico. Este dispositivo puede almacenar energía en forma de campo eléctrico.” [9]

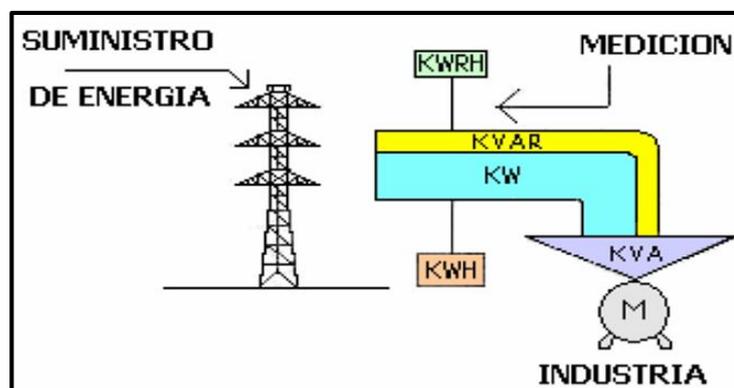
De esta manera los condensadores al conectarse en paralelo al sistema eléctrico abastecen de potencia reactiva (ver figura N° 7), donde anteriormente lo suministraba el mismo sistema eléctrico (ver figura N° 8). Este manejo con condensadores conseguirá la disminución de la corriente, por tal razón, ya no es necesario transportar la potencia reactiva.

Figura 7: Utilización de un Capacitor de Potencia para Compensación



Fuente: OLA GARCIA, 2016

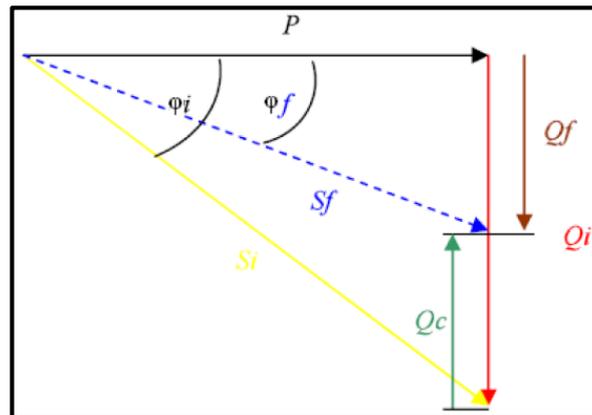
Figura 8: Comportamiento Operacional de Equipos y Motores



Fuente: OLA GARCIA, 2016

Dicho de esta manera, si se llega a reducir la potencia reactiva, se llegará a corregir el factor de potencia. En la figura N° 9, se tiene el triángulo de potencia, donde se llega explicar cómo los condensadores llegan a mejorar el factor de potencia.

Figura 9: Corrección del factor de potencia mediante el uso de condensadores



Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

Donde:

P : Potencia activa [W]

Q_i : Potencia reactiva inductiva inicial [VAr]

S_i : Potencia aparente inicial [VA]

Φ_i : Factor de potencia inicial

Q_c : Potencia reactiva capacitiva [VAr]

Q_f : Potencia reactiva inductiva final [VAr]

S_f : Potencia aparente final [VA]

Φ_f : Factor de potencia final

De la figura N° 9, se llega a indicar dos ángulos que son los siguientes: el ángulo de la fase inicial " Φ_i " y el ángulo de fase final " Φ_f ", también se llega a indicar que el ángulo de la fase final, pertenece al factor de potencia deseado. Con respecto a la potencia reactiva final " Q_f ", se obtuvo por la diferencia entre la potencia reactiva inicial " Q_i " con la potencia reactiva

capacitiva “Qc”, esta última suministrada por los condensadores. Ahora bien, para el obtener la capacidad de condensadores que requiere el sistema eléctrico para la optimización en el factor de potencia se llega a indicar en la ecuación N° 7. Donde $Q_i = P \cdot \tan \varphi_i$ y $Q_f = P \cdot \tan \varphi_f$.

Ecuación 7: Cálculo para encontrar la capacidad de condensadores

$$Q_c = Q_i - Q_f = P(\tan \varphi_i - \tan \varphi_f)$$

Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

Donde:

Qc: Potencia reactiva capacitiva (VAr).

Qi: Potencia reactiva inductiva inicial (VAr).

Qf: Potencia reactiva inductiva final (VAr).

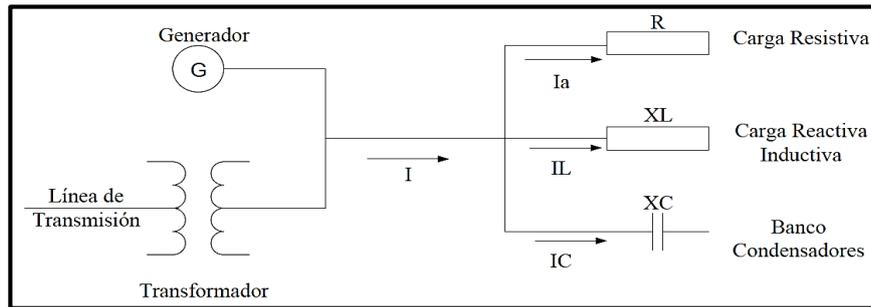
P: Potencia activa (W)

Φ_i : Ángulo inicial (°).

Φ_f : Ángulo final (°)

En una planta industrial, se llega a presentar cargas complejas, una de estas se llega a indicar en la figura N° 8; en este sistema se observa la presencia de un banco de condensadores, con reactancia XC, conectada en paralelo como ya se había mencionado anteriormente, esta conexión se realiza en la carga global de la planta.

Figura 10: Carga real con un bando de condensadores



Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

De la figura N° 7, se logra concluir que toda la potencia reactiva ya no será suministrada por las empresas distribuidoras, porque el banco de condensadores de igual forma puede suministrar potencia reactiva desde la planta industrial, llegan aliviar las facturaciones eléctricas por el exceso de demanda de potencia reactiva.

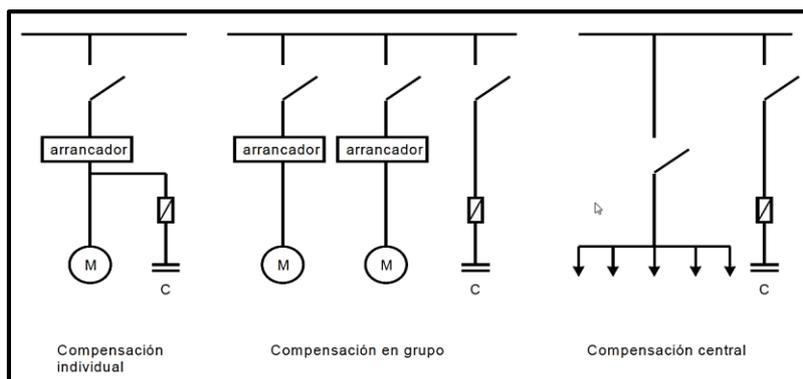
Así mismo en la figura N° 9, se llega a observar que agregando potencia reactiva de tipo capacitivo "Qc", adquirida por un banco de condensadores conectado en paralelo, da como resultado en algunos casos que el factor de potencia se aproxime al valor de la unidad (FP = 1).

Métodos e instalación de banco de condensadores

Los métodos más destacados para mejorar el factor de potencia son los siguientes:

- Compensación individual
- Compensación en grupo o por sectores
- Compensación centralizada

Figura 11: Tipos de instalaciones de capacitores para corregir el factor de potencia



Fuente: MENDEZ SERRANO, 2004

La instalación de los bancos de capacitores puede ser en varios puntos del sistema eléctrico de la planta, ver la figura N° 11. Cada una de estas instalaciones (ver figura N° 11) atribuye a una aplicación única específica, sin embargo, es de suma importancia recalcar que antes de cualquier tipo de instalación de banco de capacitores, se debe tomar en cuenta estos factores: los tipos de cargas eléctricas, variaciones y distribución de estas mismas, el factor de carga, disposición y longitud de los circuitos, tensiones de las líneas de distribución y transmisión, entre otros.

Es necesario tener en cuenta la siguiente afirmación: “En principio la compensación ideal es aquella que limita el campo de actuación de la energía reactiva al entorno más próximo a su creación. Pero los criterios técnicos – económicos determinaran su situación y ubicación” [9]

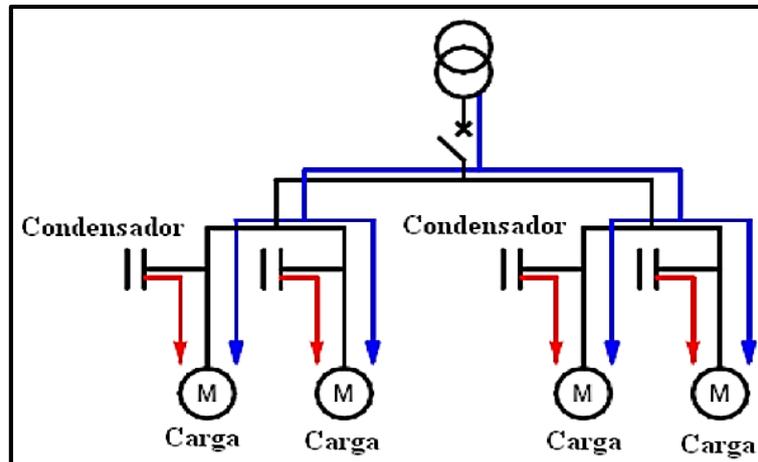
a. Compensación Individual

“La compensación individual es empleada principalmente en quipos que tienen una operación continua y cuyo consumo de la carga inductiva es representativo.” [9], estos equipos llegan a ser en su mayoría transformadores y motores eléctricos.

Los condensadores se llegan a instalar en de cada una de las cargas como se muestra en la figura N° 12, de tal manera que los únicos

conductores afectados por la energía reactiva, serán los que unen la carga con el condensador.

Figura 12: Compensación Individual



Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

La compensación individual tiene las siguientes ventajas:

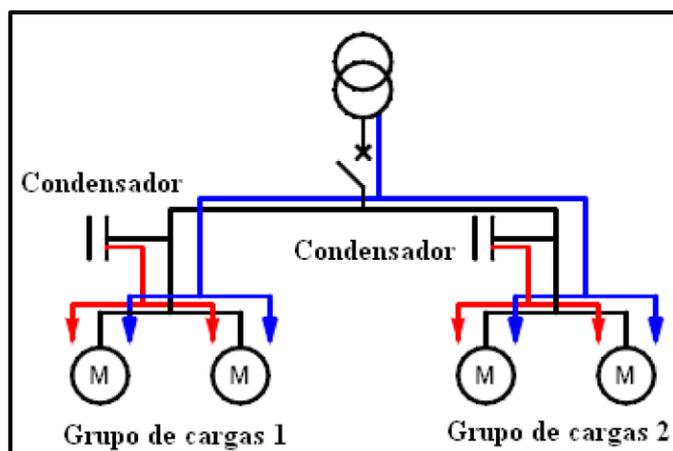
- La energía reactiva queda limitada entre la carga y el condensador, dando como resultado que quede libre de energía reactiva las líneas transmisión y/o distribución.
- Los condensadores entran en servicio solo cuando la carga está conectada, ya que el arrancador puede servir como interruptor del condensador de manera que no son necesarios otros sistemas de regulación.
- La compensación es precisa porque los condensadores son exclusivos para una carga.
- Se disminuye las pérdidas por el efecto Joule (calentamiento), en las líneas de los alimentadores, recalcando que la corriente total disminuye considerablemente respecto a la inicial por la presencia de los capacitores

- Con lo que respecta a la corriente final, la caída de tensión también llega a disminuir en cada alimentador, favoreciendo al rendimiento a la carga conectada, como motores y transformadores.
- También llegan a presentar algunas desventajas que son los siguientes:
- El primordial llega a ser la parte económica, ya que el precio de varios condensadores por separado llega a ser mucho más costoso que un condensador que se aproxime al requerido o equivalente.
- Las cargas que no son utilizadas con mucha frecuencia, da como resultado que los condensadores pueden estar expuesto a desgaste como del polvo y entre otras ocasionadas por el entorno.

b. Compensación en grupo o por sectores

Este tipo de compensación se presenta cuando un grupo de cargas, ya sean iguales o diferentes, se llegan a conectar simultáneamente y por ende demandará reactivos constantes, o también cuando se tiene diversos grupos de cargas ubicados en diferentes lugares, ver figura N° 13.

Figura 13: Compensación en Grupo o por sectores.



Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

Este tipo de compensación tiene sus ventajas, las cuales son:

- El banco de condensador se utilizará cuando las cargas están en funcionamiento.
- En la parte económica es más favorable en comparación a la compensación individual.
- Elimina los reactivos de las líneas de transmisión y/o distribución de energía eléctrica.
- La ubicación de la batería de condensadores se podrá instalar en la sala de control.

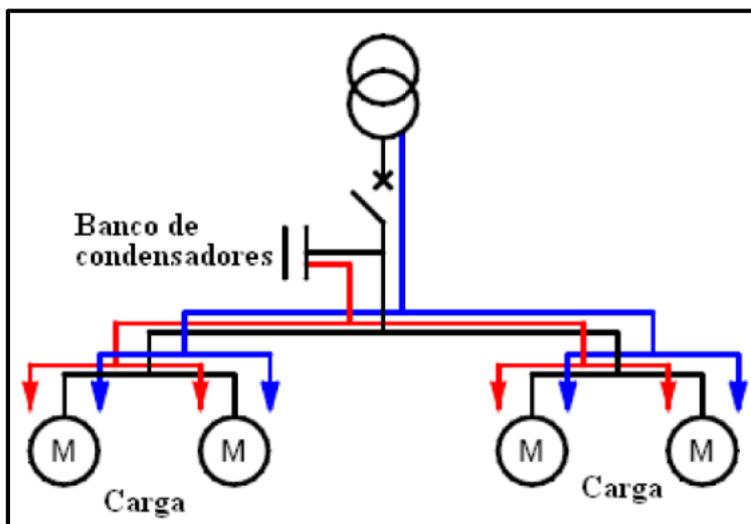
La desventaja que tiene este tipo de compensación son los siguientes:

- Se encuentra en las líneas de alimentación principal donde la sobrecarga de potencia reactiva no se llega a reducir, esto quiere decir que no desaparece la energía reactiva entre la sala de control y los motores.
- El riesgo de sobrecompensación, si existe la posibilidad de grandes variaciones de carga.

c. Compensación centralizada

La compensación centralizada corrige el factor de potencia de una forma generalizada, donde el banco de condensadores se ubica al inicio del sistema eléctrico, ver la figura N° 14. La instalación se realiza en la acometida, en la mayoría cerca del tablero principal, estos tableros controlan motores, transformadores y entre otros equipos eléctricos, las cuales son muy diferentes en potencia y en tiempos de operación, las cuales suministran de potencia reactiva.

Figura 14: Compensación Centralizada



Fuente: LLUMIQUINGA LOYA, 2012

Este tipo de compensación tiene las siguientes ventajas:

- El aprovechamiento de la capacidad de los condensadores será mayor.
- Mejor regulación del voltaje en el sistema eléctrico.
- El suministro de la potencia reactiva, será inmediato según el requerimiento.
- Respecto a la parte económica, es la más viable debido a que la instalación se da en un único lugar.
- Con lo que respecta al control y monitoreo será asequible.
- Su instalación es simple, y no interviene las cargas en los mantenimientos.

Entre las desventajas respecto a la compensación centralizada son los siguientes:

- No se logra una compensación precisa.
- No se logra disminuir las pérdidas de energía en los cables, ni el calentamiento de estas.
- No se llega a corregir la caída de tensión como se requiere.

- No se puede incrementar el rendimiento de motores y otras cargas.
- Las líneas de transmisión no están descargadas de potencia reactiva
- Es necesario un regulador automático en la instalación.

Tipos de bancos de condensadores

Con lo que respecta al área industrial, las formas de compensar son las siguientes:

- Banco de condensadores de tipo fijo
- Banco de condensadores de tipo automático

a. Banco de condensadores de tipo fijo

Para la instalación de este tipo de banco de condensadores, se utiliza uno o varios condensadores, esto para poder obtener un nivel constante de compensación. Respecto a la potencia reactiva suministrada, esta llega ser constante e independiente de instalación del banco de condensadores. Los bancos de condensadores se encienden manualmente (interruptor) o algunos casos semiautomáticos, mediante un contactor accionado por control remoto.

Con lo que respecta a este tipo de banco de condensadores tiene las siguientes ventajas:

- Compensa las pérdidas reactivas en los transformadores
- Compensa individualmente a motores.
- Indicado para instalaciones con carga constante (funcionamiento seguido).

Así como tiene algunos puntos a favor este tipo de banco de condensador, también tiene algunos puntos débiles, las cuales son:

- La operación se debe realizar manualmente, mediante interruptores o seccionadores, o también se puede realizar de forma semiautomática, o por medio de contactores.

- Si se presenta cargas variables, no podrán cumplir correctamente la potencia reactiva a compensar, esto ocasionando que el factor de potencia llega a variar.
- Existe probabilidad de que el factor de potencia aumente considerablemente, en cargas ligeras, donde esto provocara sobretensión, saturaciones del transformador, funcionamiento defectuoso en los grupos electrógenos y sanciones por las empresas suministradoras de energía eléctrica.

b. Banco de condensadores de tipo automático

En este tipo de banco de condensadores, la potencia reactiva a suministrar se puede regular según varíe el factor de potencia y las cargas conectadas.

El banco de condensadores de tipo automático se constituye por varios pasos de condensadores, todas estas conectadas en paralelo, donde el control de los pasos es desarrollado por un regulador electrónico incorporada en el banco. El prendido y apagado de todo o parte del banco de condensador, está vinculado por un controlador de factor de potencia integrado.

Este tipo de banco de condensador llega a solucionar en los siguientes casos:

- Para las instalaciones donde las variaciones del estado de carga son considerables.
- Para las barras de distribución de una placa de distribución principal.
- Para los terminales de un cable de alimentación muy cargado.
- Con lo que respecta a su instalación, esta debe estar ubicada en los puntos donde existe mayor variación de potencia activa o potencia reactiva, por ejemplo:
 - Al comienzo de los tableros generales
 - A la salida de las instalaciones muy cargadas.

Operación de un banco compensador

“La potencia reactiva requerida (capacitiva) no es completamente constante durante las 24 horas del día. El requerimiento para potencia reactiva puede ser en tres categorías.” [5]

a. Requerimiento Prácticamente Constante:

La carga reactiva es constante, esto es cierto considerando la compensación de la corriente de magnetización de un transformador de distribución, por ejemplo: un capacitor fijo puede ser usado.

b. Requerimiento Variable:

La carga reactiva total varía durante el día, pero es aún demasiado pequeña para ser compensada individualmente en los objetos de carga diferentes (por razones de costo). Para este caso se debe usar un capacitor con potencia reactiva variable con la carga. Esto es un banco automático de capacitores.

c. Requerimientos Instantáneos:

Este caso se aplica cuando el requerimiento es significativo en tamaño y la conmutación rápida es esencial (entre 0 y 0.25 ms). Capacitores controlados por tiristores pueden ser empleados.

2.2.3. PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA

La pérdida de transmisión de energía es la diferencia entre la energía comprada y la energía vendida, esto se genera al momento de trasladarse la energía eléctrica, iniciando desde la generación hasta los usuarios, mediante las redes de transmisión y distribución, se llega a producir las pérdidas de energía y potencia, ya que cada componente eléctrico de la red eléctrica tiene una característica física peculiar que hace que no funcione a un 100% el sistema, se llega a decir que no se puede evitar del todo.

De la siguiente manera llegan a describir lo siguiente: “Se estima que en general las pérdidas de energía en las redes de distribución oscilan entre el 5 y 6 por ciento de la energía entregada a los usuarios, y entre el 2,5 y 4 por ciento de la energía transportada en los sistemas de transmisión [...]” [19], comenta del mismo modo

que si bien los porcentajes son bajos, estas pérdidas en grandes cantidades llegan a ser considerablemente grandes explicándose con el siguiente ejemplo; “si tenemos en cuenta que la demanda de energía anual en el país en el año 2012 fue de aproximadamente 22.000 GWh, si se considera una pérdida promedio total del sistema del 10 % por ciento, la energía pérdida en las redes será de aproximadamente 2.200 GWh. Esto representa la energía suficiente para alimentar 3,6 millones de hogares promedio de Capital Federal.” [19]

Las pérdidas de energía eléctrica se llegan a clasificar en dos grupos según su origen:

- Pérdidas técnicas
- Pérdidas no técnicas
- Pérdidas totales

2.2.3.1. Pérdidas técnicas

Las pérdidas técnicas se caracterizan por lo siguiente:

- Se generan por condiciones propias de la instalación
- Son provocadas por la circulación de corriente eléctrica a través de las líneas de transmisión y distribución.
- La magnitud dependerá de las características de las redes y a la carga que se ve exigida.

2.2.3.2. Pérdidas no técnicas

Es la diferencia entre las pérdidas totales de un sistema eléctrico y las pérdidas técnicas medidas y/o calculadas, de este modo estas pérdidas implican un gasto económico importante para la empresa prestadora del servicio público. Este tipo de pérdidas se llegan a clasificar de la siguiente manera:

a. Por robo o hurto

Corresponde a la energía eléctrica que es adquirida ilegalmente de las redes eléctricas, por usuarios que no

adquirieron un sistema de medición, en otras palabras, son conexiones clandestinas.

b. Por fraude

Son los usuarios o clientes que manipulan los equipos de medición para que consigan un registro inferior a lo real.

c. Por administración

Es la energía no registrada por la parte administrativa de la empresa, esto llega a suceder cuando: existen errores en la medición, error en los procesos administrativos, falta de registro adecuado, estimaciones desactualizadas, obsolescencia de medidores, errores en los registros de la instalación, etc.

2.2.3.3. Pérdidas totales

Estas pérdidas son las que se pueden medir en los sistemas en forma directa a través de los medidores de energía.

2.2.4. VENTAJAS AL COMPENSAR REACTIVOS

2.2.4.1. Ventajas técnicas

- Uso óptimo de las máquinas eléctricas.
- Uso óptimo de las líneas eléctricas.
- Disminución de pérdidas.
- Disminución de las caídas de tensión.
- Disminución de la caída de tensión en las líneas de distribución. En el proceso de transporte de la energía eléctrica se produce una caída de tensión, ya que la corriente debe vencer la impedancia eléctrica propia del conductor
- Aumento de la capacidad de la red eléctrica. Considerando todo lo que se produce como extra para contrarrestar las pérdidas, si se

compensara el factor de potencia, parte de ese extra podría utilizarse para suministrar electricidad en el consumo.

- Disminución de las pérdidas por efecto Joule.

2.2.4.2. Ventajas ambientales

Reducción de gases de efecto invernadero, para esto se tiene la siguiente afirmación: “Si se tiene en cuenta que las pérdidas diarias aproximadas en la distribución eléctrica son 8850 kWh y que las emisiones de CO₂ en la producción eléctrica son unos 400 g/kWh, esto supone el lanzamiento a la atmósfera 3,5 toneladas de CO₂ diarias a nivel nacional. Estas emisiones representan el 1,25% de las emisiones anuales por generación de energía eléctrica. La compensación de Energía Reactiva evitaría, por término medio, la emisión a la atmósfera de 1,36 toneladas de dióxido de carbono diarias, prácticamente 500 toneladas al año.” [14]

2.2.4.3. Ventajas económicas:

Disminución de costos por penalidades, esto se logrará evitando el consumo de energía reactiva mayor al 30% de la energía activa.

Para poder tener una energía reactiva equivalente al 30% de la potencia activa, el sistema eléctrico deberá tener un $\text{Cos}\phi = 0.9578$, explicando de esta manera que la $\text{Tan}\phi = Q/P = 0.3$, dando como relación al $\text{Cos}\phi = 0.9578$. Para calcular el costo adicional que se está pagando por concepto de energía reactiva se tendrá en cuenta la siguiente ecuación:

Ecuación 8: Cálculo del costo adicional por concepto de energía reactiva

$$C_{EQ} = (E_Q - 0.3 \cdot E_P) \cdot c$$

Fuente: CAJALEÓN PASTOR , 2012

En donde:

CEQ: es el coste de la energía reactiva en un año en S/.

EQ: es la energía reactiva consumida en un año en KVARh

EP: es la energía activa consumida en un año en kWh

C: es el costo unitario de la energía reactiva en S/./kVARh

2.2.5. PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA ENERGÍA REACTIVA

2.2.5.1. Aumento de las pérdidas en los conductores

- “Calentamiento de conductores, acelerando el deterioro de los aislamientos reduciendo la vida útil de los mismos y pudiendo ocasionar cortocircuitos.” [14]
- Calentamiento en los bobinados de los transformadores de distribución.
- Disparo de las protecciones sin una causa aparente.
- Pérdidas por efecto Joule.

2.2.5.2. Sobrecarga de transformadores y generadores

Un bajo factor de potencia sumado a un exceso de corriente ocasiona que generadores y transformadores trabajen con cierto grado de sobrecarga, disminuyendo así su vida útil al exceder sus valores de diseño.

2.2.5.3. Aumento de la caída de tensión

La circulación de corriente a través de un conductor eléctrico produce una caída de tensión definida por la Ley de Ohm.

El incremento de la intensidad de corriente debido al bajo factor de potencia producirá una mayor caída de tensión, resultando un insuficiente suministro de potencia a las cargas en el consumo, disminuyendo las cargas su potencia de salida.

2.2.6. ENERGÍA EN EL SECTOR MINERO

La energía eléctrica en el Perú, y específicamente en el sector minero, se llegó a triplicar en el consumo anual de energía entre el 2005 y 2018, al pasar 5,737 gigavatios-hora (GWh) a 16,090 GWh, indico el ingeniero Luis Rivera, presidente del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, esta entrevista se realizó en octubre del 2018.

Preciso también, que este incremento se llevó gracias a los megaproyectos y ampliaciones mineras y el aumento de la producción de cobre durante los últimos años.

El ingeniero Luis Rivera comenta lo siguiente “Actualmente el sector minero es el consumidor más grande de electricidad en el Perú, representa el 36% del consumo nacional. Podemos decir que justamente el incremento de este último periodo fue cubierto por energías provenientes del gas natural” [20]

2.2.6.1. Proceso productivo de la mina

Explotación y métodos aplicados

La Empresa Minera Catalina Huanca S.A.C. usa los siguientes métodos de extracción: método de corte y relleno ascendente, y tajo abierto. Los minerales que llega a explotar son: plomo (Pb), plata (Ag) y zinc (Zn) y en pequeñas concentraciones se llega explotar el cobre (Cu) y oro (Au).

- **Método de corte y relleno ascendente.**

La extracción del mineral se realiza en franjas horizontales desde el subnivel de explotación, una vez extraído todo el mineral, se deberá de rellenar el volumen correspondiente con material estéril, dicho de otro modo, se debe rellenar las partes huecas con material estéril., esto para que llega a servir como piso, también para soporte de paredes y para iniciar con nuevas perforaciones.

- **Método tajo abierto**

Es una explotación en superficie donde la extracción de mineral se realiza mediante franjas horizontales.

2.2.6.2. Proceso de concentrado de mineral

La planta concentradora de la empresa minera Catalina Huanca, se llama San Jerónimo, esta planta llega a tratar los minerales ya descritos anteriormente, cuenta con una infraestructura compuesta por depósitos de relaves, laboratorios, oficinas administrativas y las vías de acceso entre instalaciones y campamentos.

Por otra parte, con respecto a la producción se llega a describir lo siguiente: “Para el procesamiento de mineral la planta cuenta con capacidad de producción nominal actual de 1,950 TMD, una tasa promedio de concentrado de 15% y una producción de relaves filtrados de 1650 TMD.” [19]

La Planta está compuesta por 5 secciones:

a. Sección – Chancado

Esta sección está encargada a la reducción de tamaño de los minerales, que al principio es de 8” y con el chancado primario se llega a reducir a 2” y con el chancado secundario a 1/2”. Después de este proceso se llega a clasificar con dos zarandas vibratorias de 4’x8’ y 5’x10’, todo es para tener un producto final del 90%.

b. Sección – Molienda y clasificación

Es la sección encargada de reducir el tamaño del mineral del 90% ya procesada anteriormente, en una relación sólido líquido de 1 a 3. Para esto también se tiene dos etapas de molienda, la primaria y la secundaria. La clasificación de esta, se hace por medio de bombeo e hidrociclones.

c. Sección – Flotación

Cuenta con dos circuitos:

Circuito Bulk: Esta es la primera flotación por espumas con un pH de 7.5 en la que se flotan los sulfuros de Ag, Cu y Pb, todos estos pasando por las etapas de flotación Rougher, Scavenger y Cleaner hasta tener el producto final de grado 60% de Pb.

Circuito Zinc: Este circuito está constituido por el relave de la flotación Bulk, donde el pH se modificará a 9.5, por tal razón flotan los sulfuros de zinc, está pasando por las etapas de flotación Rougher, Scavenger y Cleaner, hasta obtener un producto de grado 57% de Zn.

d. Sección – Espesamiento y filtrado de concentrado

En esta sección se debe eliminar el agua de las espumas, estas con valores de plomo y zinc, todo esto para tener un producto final con una humedad de 8.50%. Se tiene dos etapas, la primera etapa consiste en elevar la densidad de 1350 gr/l a 1650 gr/l, y la segunda etapa consiste en eliminar el agua de esta pulpa densificada con una humedad de 8.5%.

e. Sección – Espesamiento y filtrado de relave

El relave de flotación de zinc es el relave general del proceso, donde esta es conducida a la planta de bombeo para ser impulsado y cicloneado, esto para poder separar los gruesos de los finos.

2.2.7. USOS INADECUADOS DE LA ENERGÍA EN LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS

En la mina se utiliza la energía eléctrica como base principal, y como tal se debe tener un uso adecuado y óptimo para su mejor funcionamiento y prestar los servicios de mejor calidad. De esta manera en este ítem se anunciará los factores por las que se genera un costo innecesario en la facturación mensual, por tal motivo los equipos eléctricos a considerar son: motores, compresores, bombas, sistema eléctrico e iluminación.

2.2.7.1. Motores

- Con lo que respecta al manteniendo de los motores, en algunas oportunidades no se lleva un registro de actividades controlado, de este modo al no tener un registro ordenado y controlado, contribuirá a la incertidumbre acerca de las perdidas en eficiencia que cada una de estas tiene acumulada.
- En ciertas ocasiones se llega a arrancar varios motores al mismo tiempo, lo cual ocasionara elevados picos de demanda.
- Los motores que se mantienen encendido son para que estén operando con toda su capacidad, pero en algunas ocasiones estas están operando en vacío.
- En ciertas ocasiones, los motores suelen intercambiar de procesos, esto ocasionara que algunas de estos motores estén operando con un bajo factor de carga, en condiciones diferentes a las nominales.

2.2.7.2. Compresores

- La utilización del aire comprimido para fines no productivos como la limpieza, aire fresco, entre otros.
- En algunas oportunidades el compresor está en funcionamiento todo el día, y es claro que en todo momento no se llega utilizar el compresor.

- En otras oportunidades el compresor es utilizado innecesariamente, un ejemplo de esto es que en ciertas oportunidades se requiere poca presión, y en estas oportunidades se realiza un uso innecesario del compresor.

2.2.7.3. Bombas

- Se suele utilizar una sola bomba de buena capacidad para todo el proceso.
- En algunas ocasiones las bombas suelen intercambiar de lugar, sin tener en cuenta las características que requiere cada proceso.
- Uno de los casos recurrentes aparece cuando las tuberías o válvulas se encuentra desgastadas, provocando así fugas o reduciendo la eficiencia del proceso, y en vez de solucionar esas deficiencias, se llega a incrementar la presión de las bombas, dando como consecuencia un uso ineficiente de las bombas.
- En la instalación de las bombas, en algunas ocasiones no se toma en cuenta el caudal y altura en las que trabajara cada bomba, provocando así un uso inadecuado (provoca desventajas técnicas y económicas).

2.2.7.4. Sistema eléctrico

- Algunas empresas no cuentan con diagramas unifilares o no los llega actualizar a su última versión.
- Los transformadores en algunas ocasiones operan con sobrecarga o baja carga.
- La presencia de energía reactiva no es controlada correctamente debido a que los bancos de capacitores no funcionan correctamente o no se adquirió un equipo de compensación de energía reactiva.
- El control de la máxima demanda en las horas punta o picos, es la inadecuada

- En ocasiones se trabaja en los intervalos de hora punta (18:00 a 23:00 horas), y esto se debería evitar en un porcentaje considerable, ya que estos procesos se podrían adecuar fuera de estos horarios.
- En las instalaciones de la empresa se llega a mantener equipos eléctricos caducos, que llegan a consumir energía eléctrica.
- El mal control de la energía en toda la empresa.
- En algunas ocasiones la empresa llega a incrementar la venta de insumos, pero atrás de este crecimiento económico se encuentra la sobre exigencia de las maquinas eléctricas, dado que el crecimiento fue desordenado.
- Respecto a los conductores, algunos de estos tienen años de antigüedad, ocasionando recalentamientos, pérdidas de aislamiento y fuga de corriente.

2.2.7.5. Iluminación

- El problema en las empresas es que las lámparas se encuentran funcionando durante horarios donde el personal se encuentra en descanso u horarios no productivos.
- Existe un interruptor para el encendido de varias lámparas.
- La ubicación de las lámparas a veces es inadecuada, ya que estas son colocadas a gran altura, provocando así una iluminación inadecuada y en algunas ocasiones existen áreas donde la iluminación es buena, pero innecesaria.
- En el sistema de iluminación las lámparas quemadas y defectuosas, provocarán un consumo innecesario de energía.

2.2.8. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN UNA MINA

“El análisis y diagnóstico energético de línea base captura y describe el estado del sistema energético en el momento de su desarrollo. Es importante anotar que existen servicios con características dinámicas que pueden producir variaciones en

el diagnóstico dependiendo del momento de su elaboración.” [22]. Lo importante del diagnóstico, es que se llega establecer una línea base, con la cual se trabajará y evaluará los impactos y efectos para las posibles mejoras propuestas.

El diagnóstico energético de línea base permite evaluar el impacto de las recomendaciones relacionadas con las buenas prácticas con una mínima inversión y mejoras tecnológicas orientadas a la inversión, con el objetivo de reducir costos de operación y ofrecer un servicio o producto de calidad.

La línea base mencionada, debe estar expresada en forma cuantitativa y ser conciso con la situación actual del sistema energético, para ser evaluado en un periodo determinado.

Otro punto importante es que el consumo de energía llega ser diferente en cada mes, esto se debe a factores como: condiciones de proceso, aspectos de control y operación de los equipos.

2.2.9. OPORTUNIDAD DE MEJORA PARA UNA MINA

“En términos de oportunidades de mejoramiento existen por un lado las buenas prácticas que requieren mínima inversión y, por otro, el reemplazo de equipos que requieren un determinado grado de inversión.” [22]

2.2.9.1. Buenas prácticas

Las buenas prácticas deben estar orientadas al uso eficiente de la energía, estas están asociadas a: motores, compresores, bombas, sistema eléctrico e iluminación.

a. Motores

- Evitar el sobre dimensionamiento en los motores cuando exista ampliaciones o nuevos proyectos eléctricos.
- Se debe evitar el sobre calentamiento y sobretensión
- Evitar el continuo arranque de los motores.
- Control oportuno de los motores, se debe considerar el control de cada una de estas, que se indican en las especificaciones del fabricante.

- Se debe tener un control ordenado de los motores, para evitar futuras reparaciones o inconvenientes.
- Los arranques simultáneos se deben evitar, pues contribuyen a elevar la máxima demanda.
- En el caso que exista un bajo factor de carga (lejos de sus condiciones nominales), se debe evitar el uso de los motores.

b. Compresores

- Evitar el sobre dimensionamiento en los compresores cuando exista ampliaciones o nuevos proyectos eléctricos.
- Prevenir que no ingrese aire húmedo al compresor.
- Con la presencia de caídas de presión, se debe realizar el análisis correspondiente para poder corregirlo rápidamente, esto sobre todo con registros excesivos.
- Con la presencia de fugas de aire, estas se deben atender rápidamente.
- Para las tuberías que no son usadas rutinariamente, se deben remover o cerrarlas por un tiempo hasta su próximo uso.
- En los mantenimientos se debe evitar usar repuestos de baja calidad.
- Evitar las operaciones en vacío.
- Se debe tener en cuenta las horas de operación, sobre todo en las horas punta (18:00 a 23:00 h).

c. Bombas

- Mantenimiento oportuno de las bombas, se debe considerar el control de cada una de estas, que se indican en las especificaciones del fabricante.
- En el caso que llega existir la reubicación de una bomba, se debe tener en cuenta los valores nominales con las cuales trabaja esta, para su nueva ubicación.
- Evitar el sobre dimensionamiento en las bombas cuando exista ampliaciones o nuevos proyectos eléctricos.
- Cuando se cuenta con bombas de gran capacidad, es obligatorio tener un control, esto para poder calcular cuando se debe dar mantenimiento o renovarla.
- Programas oportunos de mantenimiento de la bomba
- Comprobación del funcionamiento óptimo de la bomba, como por ejemplo de la presión.
- Reducir el número de cambios de dirección en el recorrido de las tuberías.
- Se debe tener en cuenta las horas de operación, sobre todo en las horas punta (18:00 a 23:00 h).

d. Sistema eléctrico y compensación óptima.

- Monitorear de forma periódica del apropiado funcionamiento de los bancos de condensadores.
- Actualizar constantemente los diagramas unifilares
- Analizar el cambio de nivel de tensión de media a baja tensión o viceversa
- Planificación para el futuro crecimiento del sistema eléctrico.
- La ubicación del banco de compensación reactiva debe ser la más adecuada.
- Constatar que los transformadores estén funcionando con baja carga o sobrecarga.

- Control de la máxima demanda en las horas punta.

e. Iluminación

- Utilizar eficientemente la luz natural.
- Las áreas de trabajo deben estar pintados de colores claros, tanto paredes como techo.
- Mantener limpio las lámparas (desempolvar).
- Instalar los interruptores necesarios en cada área de trabajo, esto para tener una iluminación solo en sectores necesarios.
- Las áreas de trabajo no deben estar sobre iluminadas innecesariamente.
- Apagar las lámparas cuando sea conveniente.

2.2.9.2. Mejoras con inversión.

a. Motores

- Reemplazar los motores con eficiencia estándar por motores de eficiencia alta.
- Colocar variadores de velocidad en donde lo permita el proceso.
- Implementar banco de condensadores individuales para mejorar el factor de potencia.
- Para las compras futuras, tener en cuenta que sean de eficiencia alta y también que estén incorporados con variadores de velocidad y otros accesorios que permitan el ahorro energético.
- Para las compras futuras, considerar la evaluación económica.

b. Compresores

- Adquirir un compresor pequeño para la utilización en los periodos de baja demanda.
- Beneficiarse del calor residual del compresor para calentar agua de un proceso o alguna área de la empresa.

- Emplear lubricantes sintéticos, así contribuimos con el medio ambiente y el ahorro de energía.
- Tener en cuenta la adquisición de ventiladores en vez del aire comprimido, esto para aplicaciones que necesiten poca presión.
- Analizar el uso de un motor de eficiencia alta para el compresor y ventilador.

c. Bombas

- Para mejorar la eficiencia de la bomba, considerar el uso de sustancias de baja fricción para las tuberías.
- Instalar variadores de velocidad.
- Adquirir una bomba de menor capacidad para aplicaciones específicas.
- Analizar el redimensionamiento de las tuberías y accesorios para la mejora continua en las operaciones de la bomba.
- Evaluar el reemplazo del motor de la bomba por otra más eficiente.

d. Sistema eléctrico

- Analizar los futuros equipamientos eléctricos, como es el caso de los compensadores de energía reactiva, que puede ser el caso de ser automáticos o manuales.
- El control y registro del consumo de energía en todas las áreas con la instalación de equipos de medición.
- Monitoreo de la calidad de la energía eléctrica en forma periódica, con la ayuda de los analizadores de redes.
- Considerar la instalación de filtros para corregir la distorsión de armónicos.

e. Iluminación

- El remplazo de las lámparas, por unas más eficientes.
- El remplazo de balastos magnéticos por electrónicos.

- Utilizar las lámparas de vapor de sodio en áreas como de almacenamiento.
- Utilizar la tecnología LED, en donde sea necesario.
- Utilizar los timer (dispositivos temporizadores programables).
- Utilizar los dimmers (dispositivos que reducen el consumo de energía), esto para reducir la intensidad de luz, por ejemplo, en las horas de limpieza.

2.2.10. NORMA TÉCNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS

En el Perú se llegó a elaborar la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), donde esta fue aprobada por el decreto supremo N° 020-97-EM el 09 de octubre de 1997, con la finalidad de garantizar a los usuarios un suministro eléctrico confiable, adecuado, continuo y oportuno.

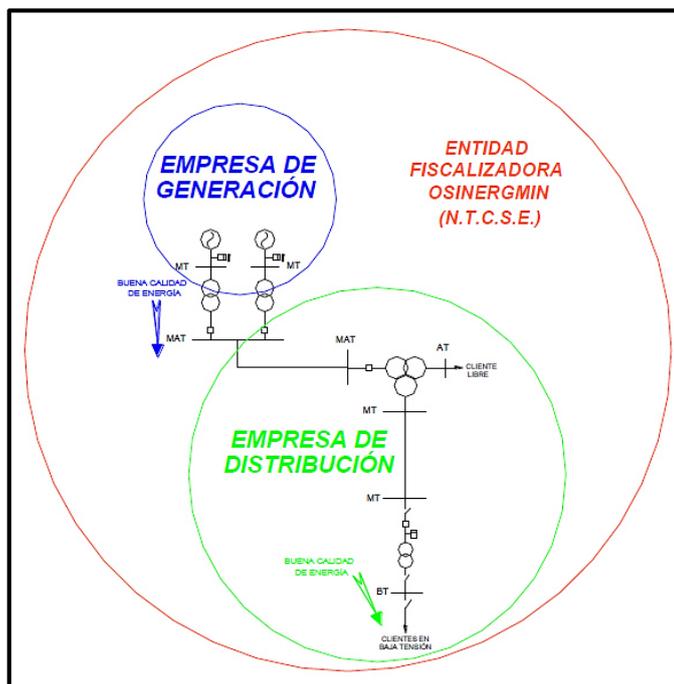
Se llega a controlar la calidad de los servicios eléctricos, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: Calidad de producto (tensión, frecuencia, flícker y tensiones armónicas, estas dos últimas relacionadas con perturbaciones), Calidad de suministro (interrupciones), Calidad de servicio comercial (trato al cliente, medios de atención, precisión de medida) y calidad de alumbrado público (deficiencias del alumbrado).

Todos los aspectos descritos están relacionados con tolerancias y esas mismas con sus respectivas compensaciones y/o multas por su falta de compromiso con la norma. Con lo que respecta al cliente, él es totalmente responsable ante su suministrador por las perturbaciones que este llegue a inyectar al sistema eléctrico, siempre en cuando se exceda las tolerancias impuestas por las autoridades competentes.

Con respecto a las compensaciones descritas anteriormente, esta se llega a calcular en función de la potencia contrata o energía entregada al cliente por la empresa suministradora en condiciones de mala calidad.

La NTCSE ha tenido actualizaciones por los decretos supremos, donde la última actualización es el decreto supremo N° 040-2011-EM (2011-07-20).

Figura 15: El control de la calidad de energía empieza desde la empresa de generación hasta el usuario final.



Fuente: ROJAS MONTERO, 2014

2.2.10.1. Calidad de producto.

La calidad de producto suministrada al cliente, se analiza por las infracciones de las tolerancias en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en los puntos de entrega, de los cuales se describirá brevemente de la tensión.

a. Tensión

Indicador de calidad

Este indicador es para analizar la tensión de entrega, donde se evalúa en un intervalo de tiempo (k) de quince (15) minutos de duración, la cual está dado por la ecuación N° 9:

Ecuación 9: Fórmula para el indicador de calidad de la tensión

$$\Delta V_k(\%) = (V_k - V_N)/V_N \cdot 100\%; \text{ expresada en: } \%$$

Fuente: MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 2011

Donde:

V_k: Valor instantánea de la tensión (V).

V_N: Valor de la tensión nominal del mismo punto (V).

Tolerancias

La NTCSE dice “Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las Etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de tales puntos [...]” [21]. Adicional a esto indica también que para las redes secundarias en servicios calificados como urbano-rurales y/o rurales, la tolerancia para esta será hasta el $\pm 7.5\%$.

La NTCSE considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando la tensión se ubica fuera de los intervalos de tolerancias establecidas, por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del periodo de medición.

Acotando esta información, en el Código Nacional de Electricidad - Suministro, en la sección 1 (introducción al código nacional de electricidad suministro), en el apartado 017.D. Tolerancias de la variación de la tensión en el punto de entrega de energía, indica de la misma manera sobre las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales, indicando que en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, la tolerancia es de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de tales puntos, e indica del mismo modo con lo que respecta a las redes secundarias.

Compensación por mala calidad de tensión

Las empresas suministradoras están en la obligación de compensar a sus clientes por sus suministros en los que se comprobó que la calidad del producto no satisface los estándares fijados en la presente norma.

Control

El control se realiza por medio de mediciones y registros, estas mediciones se realizarán con equipos certificados y cuyas especificaciones técnicas hayan sido previamente aprobadas por la autoridad.

2.2.11. OPCIONES TARIFARIAS Y CONDICIONES DE AMPLIACIÓN DE LAS TARIFAS A USUARIO FINAL

El objetivo de la presente norma es la de establecer las opciones tarifarias y condiciones de aplicación de las tarifas a usuarios finales.

Con lo que respecta a sus alcances de la presente norma, esta comprende para las empresas distribuidoras y los usuarios del servicio público de electricidad.

Ahora bien, como se relaciona esta norma con el estudio de investigación, para esto se describirá brevemente sobre el artículo número 16° de esta norma.

2.2.11.1. Artículo 16°. - Facturación de energía reactiva.

El consumo de energía reactiva inductiva hasta el 30% de la energía activa total mensual, no incurre en pago por cargo adicional por exceso de consumo de energía reactiva. Asimismo, la norma refiere que, no está permitido la inyección de energía reactiva a la red.

2.2.12. FACTURACIÓN POR TIPO DE ENERGÍA EN EL PERÚ

“El encargado de vigilar la energía en planta deberá conocer la estructura tarifaria vigente y deberá estar permanentemente informado de todas las resoluciones que afecten la factura, se pueden lograr grandes ahorros vigilando este concepto.” [1]

Para la correcta interpretación de una factura, se debe tener en cuenta lo que dicta OSINERGMIN, esta institución pública dicta la terminología tarifaria y sus conceptos básicos.

En el Perú el sistema de tarifas está basado en el libre mercado y la libre competencia entre suministradores de energía. Existe dos clases de usuarios: usuario libre y usuario regulado. Por lo general las empresas mineras son usuarios libres.

2.2.12.1. Usuario libre

El usuario libre tiene la característica que su potencia contratada es igual o superior a 0.2 MW.

Los precios son fijados en una libre negociación de precios y modalidades, esta negociación se da entre la empresa generadora o distribuidora con el cliente, respetando lo que indica la Ley de Concesiones Eléctricas (D.L. 25844).

En la competencia del mercado eléctrico, los usuarios libres tienen la potestad de contratar cualquier empresa eléctrica, ya sea generadora o distribuidora. Los tratos fijados llegan a ser variados, del más sofisticado al más simple.

a. Recomendaciones como usuario libre.

En algunos casos las empresas llegan a optimizar el contrato de suministro eléctrico, pero para esto se deberá identificar los aspectos más importantes, que nos ayudará a formular una estrategia de negociación con las empresas suministradoras. Como resultado se obtendrá alternativas para modificar el contrato de suministro, donde de esta manera se llegará a un acuerdo favorable para ambas partes. También se debe tener en cuenta los diversos precios en el mercado eléctrico.

Para poder tener una reducción en la factura de energía eléctrica, se debe tener en consideración lo siguiente:

- Tener un sustento técnico - legal para una buena renegociación del contrato.
- Instalar banco de condensadores para omitir los pagos de exceso de energía reactiva.
- Reducir las horas puntas de potencia, por decir de 5 horas a 2 horas, esto se logrará con una buena administración de máxima demanda.
- Coincidir la máxima demanda del SEIN con la facturación de potencia.

- Regular óptimamente la tensión y la calidad de energía, esto para evitar el deterioro de los equipos eléctricos y minimizar el consumo de energía.
- En el mejor de las oportunidades migrar de un usuario libre a usuario regulado, aunque en el caso de empresas grandes, como es el de caso de empresas mineras, es un poco complicado optar por esta alternativa.

b. Conociendo la factura eléctrica

En el presente ítem se describirá las características con la que cuenta su factura por el servicio eléctrico de los usuarios libres, y que cosas se les cobrará mensualmente por la potencia contratada.

- Cobro por potencia en horas punta
- Cobro por exceso de la máxima demanda comprometida (MDC) coincidente con la máxima demanda del SEIN serán facturados aplicando como precio el 25% del precio de la potencia en horas de punta.
- Cobro por peaje de conexión al sistema principal de transmisión considerando el total de la potencia facturada.
- Cobro por las compensaciones por uso del Sistema Secundario de Transmisión de acuerdo a los peajes establecidos por el OSINERGMIN.

La facturación mensual por energía activa incluirá los siguientes cobros:

- Cobro por energía activa en horas de punta.
- Cobro por energía activa en horas fuera de punta.
- Cobro por exceso de consumo de energía activa sobre la energía asociada a los periodos de 15 minutos donde se excede la máxima demanda comprometida (MDC).
- Cobro por las compensaciones por uso del Sistema Secundario de Transmisión y Sistema de Distribución.
- Cargo por electrificación rural (Ley N° 28749).

2.2.12.2. Usuario regulado

Son usuarios que su potencia contratada es menor al 0.2 MW, estos usuarios pertenecen al mercado regulado, de este modo las tarifas son reguladas por la Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria (GART) del OSINERGMIN, por las resoluciones que emite en forma periódica.

OSINERGMIN establece una lista de opciones tarifarias para estos usuarios, las que son de libre elección de acuerdo a sus necesidades de consumo. Cabe mencionar que los usuarios regulados solo pueden ser atendidos a precios regulados por una empresa distribuidora.

Las opciones tarifarias en el mercado regulado, se encuentran normadas por la GART del OSINERGMIN mediante sus Resoluciones semestrales de precios en barra y de períodos de cuatro (04) años para los costos de distribución.

Los cargos para formular la factura del servicio eléctrico, están dado comúnmente por tres conceptos: demanda máxima, energía consumida y factor de potencia, y adicionalmente aplicación de diversos complementos según especifica la legislación vigente.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Amperio: Es la intensidad de una corriente constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y colocados a una distancia de un metro uno del otro en el vacío, produciría entre esos dos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newtons por metro de longitud.

Armónicos: Significa cualquier onda de voltaje y/o corriente que se encuentre presente en el sistema, cuya frecuencia sea mayor que la fundamental. [11]

Consumo: Cantidad de energía utilizada en un tiempo da aspectos eléctricos, se mide en kW/hr. [11]

Energía eléctrica: Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una

corriente eléctrica entre ambos cuando se pone en contacto por medio de un conductor eléctrico. [7]

Faraday: Se denomina a la unidad de capacidad eléctrica del Sistema Internacional de Unidades.

Kilovatio: El kilovatio o kilowatt (símbolo KW), es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. El kilovatio (símbolo kW), igual a mil vatios, se usa habitualmente para expresar la potencia de motores y la potencia de herramientas y máquinas. [11]

Línea de transmisión: Conjunto de hilos o cables conductores y todos los equipos auxiliares destinados a trasladar información de un lugar a otro por medio de señales eléctricas.

Máquina eléctrica: Máquina que transforma energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en mecánica. En caso de los transformadores, que transforman energía eléctrica en energía eléctrica, se suele incluir como parte del estudio de las máquinas eléctricas; de esta manera los transformadores son considerados máquinas eléctricas.

Ohmio: Es la unidad de la resistencia, de impedancia y de reactancia eléctricas en el Sistema Internacional de Unidades.

Sistema eléctrico: Conjunto de todos los equipos y máquinas que tienen por función proveer la energía eléctrica que se necesita para que arranquen y funcionen correctamente los accesorios eléctricos como son los electrodomésticos, luces etc.

Voltio: El voltio es la unidad del sistema internacional medidas para medir la tensión y fuerza electromotriz.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO, Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO

En la presente investigación se desarrollará el método deductivo, ya que el proceso iniciará por leyes, teorías y conceptos validados y comprobados para obtener soluciones acertadas. Caballero Romero afirma que el método deductivo es “aquella orientación que va de lo general al específico; es decir, que parte de un enunciado general del que se van desentrañando partes o elementos específicos” [26].

3.1.2. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

- a. En la investigación se realizará mediciones de campo y simulaciones con el software DlgSILENT, las mediciones de campo se realizarán con un analizador de redes. Por otra parte, la simulación nos proporcionara datos parecidos a las de las mediciones de campo, como: tensiones, potencias, entre otras.
- b. Las mediciones se realizaron en los siguientes puntos:

Tabla 1: Puntos de medición evaluados

PUNTOS DE MEDICIÓN EVALUADOS		
ITEM	UBICACIÓN O PUNTO ELÉCTRICO	NIVEL DE TENSIÓN (KV)
1	BARRA DE 33KV, SET BOLIVAR	33
2	ALIMENTADOR MINA N°01 4.16KV TR-IIA, SET BOLIVAR	4.16
3	ALIMENTADOR MINA N°02 4.16KV TR IIA, SET BOLIVAR	4.16
4	ALIMENTADOR SAN MARTÍN 4.16KV TR IIA, SET BOLIVAR	4.16
5	ALIMENTADOR BANCO DE CONDENSADORES 4.16KV TR IIA, SET BOLÍVAR	4.16
6	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV TR IIA, SET BOLÍVAR	4.16
7	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV TR IIB, SET BOLÍVAR	4.16
8	ALIMENTADOR TR EPLI 2MVA 4.16KV, SET SAN JERÓNIMO	4.16
9	ALIMENTADOR TR DELCROSA 1.25MVA 4.16KV, SET JERÓNIMO	4.16
10	ALIMENTADOR PLANTA FILTRADO 4.16KV, SET JERÓNIMO	4.16
11	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV, SET SAN JERÓNIMO	4.16
12	BARRA DE 33KV, SET SAN JERÓNIMO	33

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- c. Calcular y evaluar la potencia reactiva consumida mensualmente.
- d. Analizar la potencia reactiva consumida mensualmente.
- e. Dimensionar el sistema de compensación reactiva.
- f. Modelado de red eléctrica para realizar el análisis de flujo de potencia.

3.1.3. TIPO

En la presenta investigación se tendrá en cuenta el tipo de investigación aplicada, porque se dará solución a un problema recurrente en toda empresa minera, esta solución será la de disminuir la potencia reactiva que se genera por máquinas eléctricas como motores y transformadores. Castro León afirma que “el propósito fundamental es dar solución a problemas prácticos” [27].

3.1.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es descriptivo, ya que mi propósito es evaluar y determinar la magnitud de potencia reactiva a compensar, en el sistema eléctrico de Catalina Huanca, con el objetivo de realizar el dimensionamiento de la compensación reactiva y mostrar los resultados de la evaluación de la calidad de energía eléctrica según la NTCSE y la norma de opciones tarifarias y condiciones de aplicación de las tarifas a usuario final. Castro León indica que el nivel descriptivo “tiene como propósito describir, sistemática, completa, cualitativa y cuantitativamente los fenómenos” [27].

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se tendrá en cuenta el diseño cuasi-experimental, debido que se tendrá en cuenta un pre prueba y pos prueba, estos resultados se obtendrán de un sistema sin compensación reactiva y el otro con un sistema de compensación reactiva. Según Hernández Sampieri afirma que “los diseños cuasi-experimentales también manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, sólo que difieren de los experimentos “puros” en el grado de seguridad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos” [28].

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN:

La población de la presente investigación está comprendida por 36 facturas emitidas por la empresa Termochilca S.A, estas facturas comprenden de enero del 2016 a diciembre del 2018, estas correspondientes a la empresa Catalina Huanca (ver anexo N° 07)

También comprende el espacio geográfico del sistema eléctrico de la empresa Catalina Huanca, debido que las mediciones se realizaron en puntos estratégicos como indica la tabla N° 1.

3.3.2. MUESTRA:

La muestra de la presente investigación está comprendida por 36 facturas emitidas por la empresa Termochilca S.A, estas facturas comprenden de enero del 2016 a diciembre del 2018, estas correspondientes a la empresa Catalina Huanca (ver anexo N° 07)

También comprende el espacio geográfico del sistema eléctrico de la empresa Catalina Huanca, debido que las mediciones se realizaron en puntos estratégicos como indica la tabla N° 1.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La presente investigación cuenta con dos fuentes de información:

3.4.1. FUENTES PRIMARIAS

La observación como técnica, se desarrolló cuando se obtuvo la recolección de datos y al análisis de laboratorio que se desarrollará mediante el software.

Con lo que respecta a la entrevista, se desarrolló con el Gerente de Operaciones Boris Kigel, con más de 5 años trabajando en la empresa Catalina Huanca, manifiesta lo siguiente: la empresa Catalina Huanca es una empresa con un futuro prometedor en el sector minero, ya que la venta de los minerales está siendo bien aceptas en el país y en el extranjero; por tal motivo la empresa planea aumentar la capacidad de producción, esto quiere decir que nuestro sistema eléctrico, debe mejorar. No se tuvo en cuenta el gran creciente en estos últimos años (2016 – 2018), por esta razón algunas de nuestros equipos eléctricos tuvieron que ser sobrecargados y en otros casos, teníamos que mejorar nuestros equipos, comprando productos nuevos. Es por esto que la empresa Calina Huanca está buscando mejorar todo su sistema eléctrico, con el objetivo de poder competir con otras empresas mineras nacionales. Una opción de mejora en nuestro sistema eléctrico, será la implementación de bancos de condensadores, debido que a los bancos de condensadores existentes no pueden abastecer en la actualidad, es por esto que se necesita un análisis de todo nuestro sistema eléctrico en la actualidad, ya que la empresa está en crecimiento prometedor.

Otra técnica utilizada fue la de experimentación, a esto nos referimos el análisis debidamente hecho con el software DigSILENT.

3.4.2. FUENTES SECUNDARIAS

Con lo que respecta a las fuentes secundarias, se tiene el análisis documental, estas son: tesis, libros, manuales, bibliografías e internet, todas estas relacionadas con el tema de compensación de energía reactiva.

Tabla 2: Técnicas e instrumentos de recolección de datos

FUENTES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Primarias	<ul style="list-style-type: none"> - Observación - Entrevista - Experimentación 	<ul style="list-style-type: none"> - Toma de datos - Entrevista libre - Análisis mediante el Software DigSILENT
Secundarias	Análisis documental	<ul style="list-style-type: none"> - Tesis - Libros - Manuales - Bibliografías - Internet.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

4.1.1. ACTUALIDAD DE LA EMPRESA

En el presente ítem, se presenta los resultados de las mediciones de campo, es decir las mediciones en cada espacio de las subestaciones, cabe mencionar que los puntos que se tomó en cuenta, son los lugares más adecuados para esta toma de mediciones.

La toma de mediciones que se ejecutó, nos servirá para analizar el sistema eléctrico actual, esto nos brindará información de datos como de las tensiones y potencias, cabe mencionar que también brinda datos de corrientes y frecuencias, pero la información que se llegara analizar son de la tensión y potencia.

4.1.1.1. Campaña de mediciones

La campaña de mediciones de parámetros de operación en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de propiedad de la Sociedad Minera Catalina Huanca, se realizó con la finalidad de conocer el comportamiento actual del Sistema Eléctrico y recomendar soluciones a los problemas de mala calidad de energía.

Se analizó los parámetros de estado estable (voltaje, corriente, potencia, factor de potencia).

Resultados de la potencia activa y reactiva

En la tabla N° 3 se muestra los resultados de las potencias registradas durante el periodo de toma de mediciones, estas potencias son: activa, reactiva y aparente; cabe resaltar que los valores numéricos indicada de esta tabla, son los valores máximos, mínimos y promedios de cada punto de medición, estos puntos de medición serán 12, ya mencionadas anteriormente que estarán indicadas en la tabla N° 1 resumidamente.

Tabla 3: Resultado de la campaña de mediciones con respecto a la potencia

Ítem	Punto Eléctrico	Potencia	Medición de la Potencia		
			Máximo	Promedio	Mínimo
1	BARRA PRINCIPAL 33KV SET BOLÍVAR	Activa (W)	3986579.00	2444295.54	1145869.25
2	BARRA PRINCIPAL 33KV SET BOLÍVAR	Reactiva (Var)	2429336.00	1718379.06	798740.00
3	BARRA PRINCIPAL 33KV SET BOLÍVAR	Aparente (VA)	4405786.50	3188402.02	1800448.88
4	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV (TR 01) SET BOLÍVAR	Activa (W)	1594172.50	1123250.36	390639.25
5	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV (TR 01) SET BOLÍVAR	Reactiva (Var)	1423911.50	893526.36	321574.09
6	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV (TR 01) SET BOLÍVAR	Aparente (VA)	2143435.25	1445786.63	527537.25
7	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV (TR 02) SET BOLÍVAR	Activa (W)	2450018.75	1717261.05	1064573.63
8	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV (TR 02) SET BOLÍVAR	Reactiva (Var)	545781.38	231564.18	26989.19
9	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV (TR 02) SET BOLÍVAR	Aparente (VA)	2492001.75	1750948.29	1148540.00
10	ALIMENTADOR N°01 - MINA 01 - SET BOLÍVAR	Activa (W)	1072651.50	604996.94	-15.13
11	ALIMENTADOR N°01 - MINA 01 - SET BOLÍVAR	Reactiva (Var)	792619.50	493994.45	-16.40
12	ALIMENTADOR N°01 - MINA 01 - SET BOLÍVAR	Aparente (VA)	1336103.38	783920.22	306.86
13	ALIMENTADOR N°02 - MINA 02 - SET BOLIVAR	Activa (W)	1364077.38	898855.93	596493.88
14	ALIMENTADOR N°02 - MINA 02 - SET BOLÍVAR	Reactiva (Var)	855092.00	645136.33	483312.56
15	ALIMENTADOR N°02 - MINA 02 - SET BOLÍVAR	Aparente (VA)	1601530.88	1111659.40	772980.81
16	ALIMENTADOR N°03 - SAN MARTIN - SET BOLÍVAR	Activa (W)	43152.97	25186.63	4193.11
17	ALIMENTADOR N°03 - SAN MARTIN - SET BOLÍVAR	Reactiva (Var)	38299.31	10276.70	-3662.37
18	ALIMENTADOR N°03 - SAN MARTIN - SET BOLÍVAR	Aparente (VA)	47517.49	33736.16	14423.26
19	ALIMENTADOR N°04 - BCO. COND. - SET BOLÍVAR	Activa (W)	148329.25	105994.14	60133.48
20	ALIMENTADOR N°04 - BCO. COND. - SET BOLÍVAR	Reactiva (Var)	-1393092.25	-1086439.91	62137.93
21	ALIMENTADOR N°04 - BCO. COND. - SET BOLÍVAR	Aparente (VA)	1439194.50	1131433.40	94209.11
22	BARRA PRINCIPAL 33KV SET SAN JERÓNIMO	Activa (W)	4505758.00	3490260.54	125999.94
23	BARRA PRINCIPAL 33KV SET SAN JERÓNIMO	Reactiva (Var)	1607759.25	730986.32	-1315439.38
24	BARRA PRINCIPAL 33KV SET SAN JERÓNIMO	Aparente (VA)	4697277.50	3690242.68	327599.84
25	BARRA PRINCIPAL 4.16KV SET SAN JERÓNIMO	Activa (W)	3844595.00	2285542.17	100045.22
26	BARRA PRINCIPAL 4.16KV SET SAN JERÓNIMO	Reactiva (Var)	1286295.75	497167.70	-719372.75

27	BARRA PRINCIPAL 4.16KV SET SAN JERÓNIMO	Aparente (VA)	4106618.00	2510158.69	123865.51
28	ALIMENTADOR N°02 - TR EPLI - SET SAN JERÓNIMO	Activa (W)	1440786.63	1262450.24	19.56
29	ALIMENTADOR N°02 - TR EPLI - SET SAN JERÓNIMO	Reactiva (Var)	994129.63	674061.31	-22.39
30	ALIMENTADOR N°02 - TR EPLI - SET SAN JERÓNIMO	Aparente (VA)	1703958.63	1441475.28	3505.44
31	ALIMENTADOR N°03 - TR ABB - SET SAN JERÓNIMO	Activa (W)	789635.25	738037.70	79049.02
32	ALIMENTADOR N°03 - TR ABB - SET SAN JERÓNIMO	Reactiva (Var)	590008.63	555140.57	76110.35
33	ALIMENTADOR N°03 - TR ABB - SET SAN JERÓNIMO	Aparente (VA)	973204.56	925704.32	112358.33
34	ALIMENTADOR N°04 - PLANT. FILTR. - SET SAN JERÓNIMO	Activa (W)	818541.00	589969.41	52809.10
35	ALIMENTADOR N°04 - PLANT. FILTR. - SET SAN JERÓNIMO	Reactiva (Var)	373725.94	256628.05	28435.67
36	ALIMENTADOR N°04 - PLANT. FILTR. - SET SAN JERÓNIMO	Aparente (VA)	905879.13	653384.03	93431.48

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con los resultados de potencias obtenidos en campo, se podrá calcular el factor de potencia de cada punto de medición, para esto se tendrá en cuenta la ecuación N° 10, que es el siguiente:

Ecuación 10: Calculo del factor de potencia con las variables "Q" y "P"

$$FP = \cos\left(\tan^{-1} \frac{Q}{P}\right)$$

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Donde:

P: potencia activa (W).

Q: potencia reactiva (VAr).

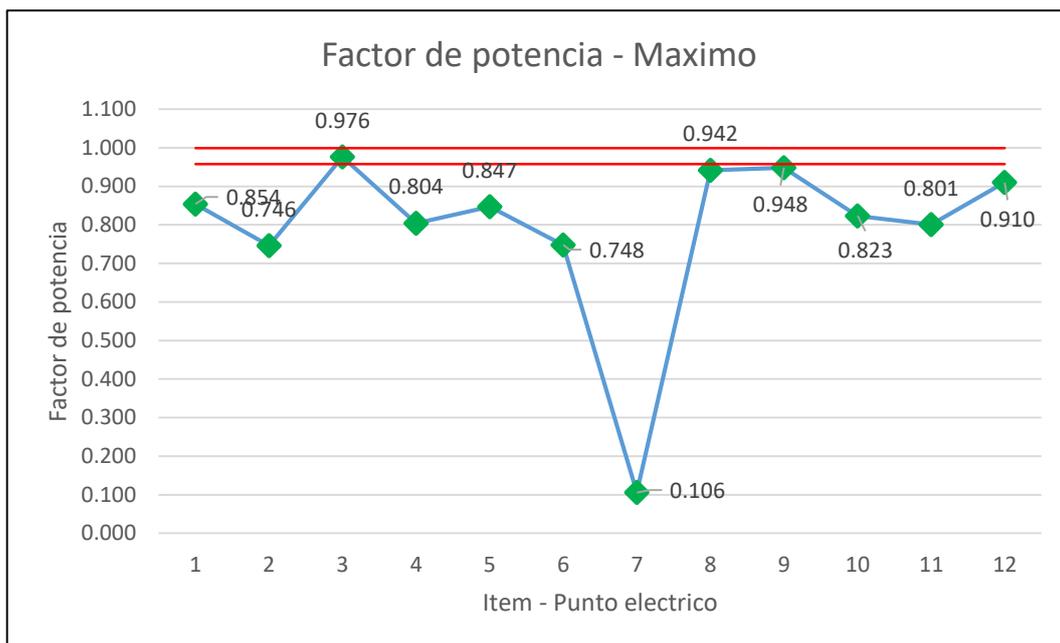
FP: factor de potencia.

Tabla 4: Análisis del factor de potencia

Ítem	Punto Eléctrico	Factor de Potencia	Medición del Factor de Potencia		
			Máximo	Promedio	Mínimo
1	LT BOLIVAR - CHICAYOC (BARRA 33KV SET BOLÍVAR)	FP	0.854	0.818	0.820
2	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV (TR 01) SET BOLÍVAR	FP	0.746	0.783	0.772
3	ALIMENTADOR PRINCIPAL 4.16KV (TR 02) SET BOLÍVAR	FP	0.976	0.991	1.000
4	ALIMENTADOR N°01 - MINA 01 - SET BOLÍVAR	FP	0.804	0.775	0.678
5	ALIMENTADOR N°02 - MINA 02 - SET BOLÍVAR	FP	0.847	0.812	0.777
6	ALIMENTADOR N°03 - SAN MARTIN - SET BOLÍVAR	FP	0.748	0.926	0.753
7	ALIMENTADOR N°04 - BCO. COND. - SET BOLÍVAR	FP	0.106	0.097	0.695
8	BARRA PRINCIPAL 33KV SET SAN JERÓNIMO	FP	0.942	0.979	0.095
9	BARRA PRINCIPAL 4.16KV SET SAN JERÓNIMO	FP	0.948	0.977	0.138
10	ALIMENTADOR N°02 - TR EPLI - SET SAN JERÓNIMO	FP	0.823	0.882	0.658
11	ALIMENTADOR N°03 - TR ABB - SET SAN JERÓNIMO	FP	0.801	0.799	0.720
12	ALIMENTADOR N°04 - PLANT. FILTR. - SET SAN JERÓNIMO	FP	0.910	0.917	0.880
Promedio del factor de potencia			0.757		

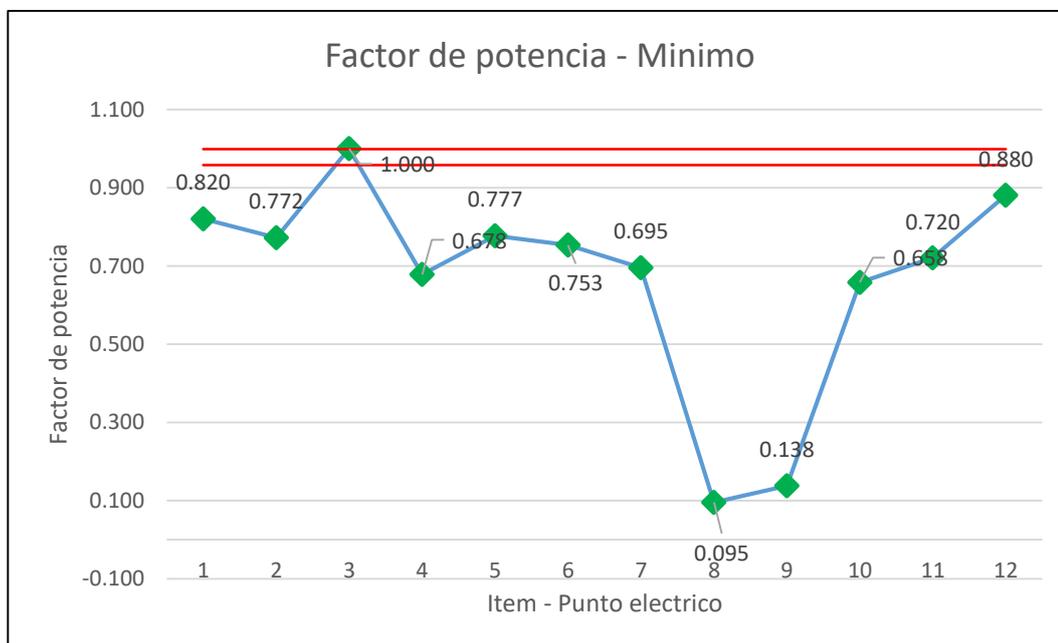
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 16: Factor de potencia promedio de la campaña de mediciones.



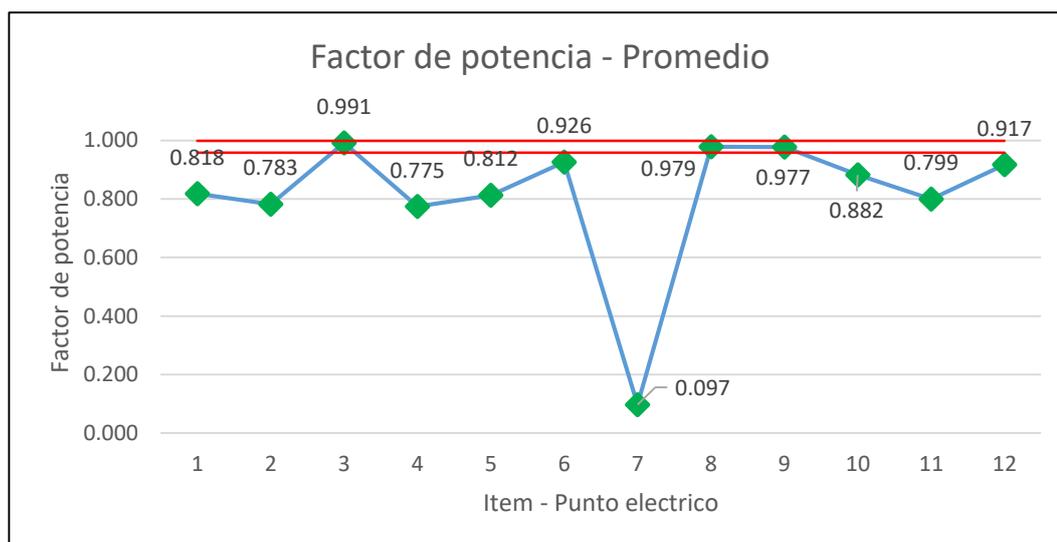
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 17: Factor de potencia mínima de la campaña de mediciones.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 18: Factor de potencia máxima de la campaña de mediciones.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla N° 4 se observa que el factor de potencia es inapropiado en cada punto eléctrico según indica esta tabla, donde podemos describir lo siguiente:

- En los valores del factor de potencia mínimos el único ítem que cumple lo establecido es el 3.
- En los valores del factor de potencia promedio se logra rescatar que los ítems 3, 8 y 9 llega ser un valor deseable.
- En los valores del factor de potencia máximo se logra rescatar en el ítem 3 llegan ser valores deseables.

Se llega a mencionar que el factor de potencia es inapropiado, porque la mayoría de los valores, son valores no deseables, que se encuentra debajo del $FP = 0.958$, esto quiere decir que, por estos factores de potencia inapropiados, se llegara a pagar penalidades a la empresa que nos brinda la energía eléctrica.

Ahora bien, porque se debe cumplir que $FP = 0.958$, para esto se realizará el siguiente análisis. La norma de Opciones tarifarias y condiciones de ampliación de las tarifas a usuario final para ser más precisos el Artículo 16°: Facturación de energía reactiva (Q), indica que el consumo de energía reactiva debe ser hasta el 30% de la energía

activa (P) total mensual. Todo esto se llega explicar de la siguiente manera:

La norma indica que se debe cumplir lo siguiente:

Ecuación 11: Fórmula para encontrar el FP libre de penalizaciones

$$Q \leq 30\%. P$$

Fuente: OSINERGMIN, 2013

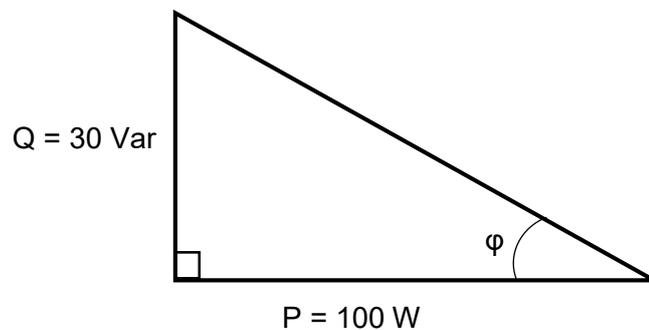
Donde:

P: potencia activa (W).

Q: potencia reactiva (VAr).

De esta manera simularemos un triángulo de potencias sencillo para poder encontrar el FP adecuado.

Figura 19: Triángulo de potencia de un FP óptimo



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con la figura N° 19 se puede observar que se llegará a cumplir lo establecido por la ecuación N° 10. Y para finalizar llegaremos a encontrar el FP óptimo para poder cumplir con la norma deseada, para esto se calculará de la siguiente manera:

$$\tan \varphi = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

$$\tan \varphi = \frac{30}{100}$$

$$\tan \varphi = 0.3$$

$$\varphi = \arctan(0.3)$$

$$\varphi = 16.699^\circ$$

Por tanto, usando la ecuación N° 5, podremos decir que:

$$FP = \cos \varphi$$

$$FP = \cos 16.699^\circ$$

$$FP = 0.958$$

Para concretar estos conceptos, se logra deducir lo siguiente:

$$FP_{min} = 0.958$$

$$FP_{max} = 0.999$$

Se dice que el FP máximo será 0.999; porque si el FP = 1, esto incluiría que el ángulo phi (φ) = 0, donde esto indicaría claramente que el sistema eléctrico sería netamente resistivo, y por tanto no sería un buen sistema, ya que nuestro sistema eléctrico cuenta con componente inductivos y capacitivos. Por esta razón es que nuestro factor de potencia debe de estar entre estos intervalos.

Con los resultados de potencias obtenidos en campo, se podrá calcular el factor de potencia de cada punto de medición, para esto se tendrá en cuenta la ecuación N° 10, que es el siguiente:

Ecuación 12: Cálculo del factor de potencia con las variables "Q" y "P"

$$FP = \cos\left(\tan^{-1}\frac{Q}{P}\right)$$

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Donde:

P: potencia activa (W).

Q: potencia reactiva (VAr).

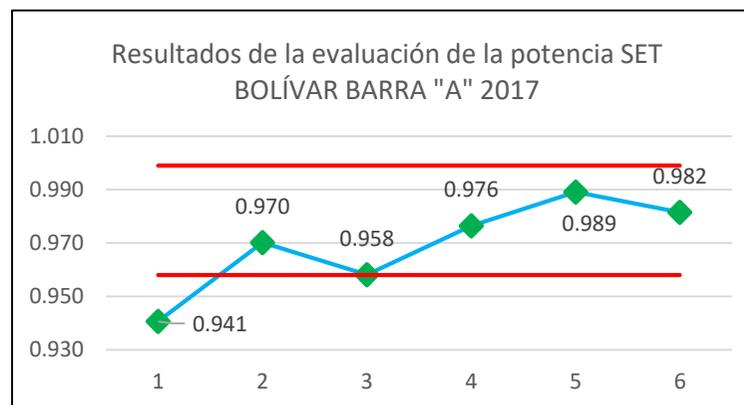
FP: factor de potencia.

Tabla 5: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "A" 2017

Barra A - SET BOLÍVAR TR 3.6 MVA – 4.16 kV												
Item	ALIMENTADOR	MINA 1 - (IN1 CMI)		MINA 2 - (IN2 CMII)		SAN MARTÍN – (IN3 SM)		BANCO CAPACITOR – (IN4 C4)		POTENCIA TOTAL EN LA BARRA A DE 4.16 kV – SET BOLÍVAR		
	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	FP
1	Avenida máxima demanda - 2017	729.379	519.151	802.254	571.416	38.102	31.366	90.000	-522.774	1659.735	599.159	0.941
2	Avenida media demanda - 2017	885.662	566.581	926.375	635.056	38.080	20.327	111.000	-732.242	1961.117	489.722	0.970
3	Avenida mínima demanda - 2017	895.848	654.474	902.549	640.701	42.100	21.376	90.000	-739.547	1930.497	577.004	0.958
4	Estiaje máxima demanda - 2017	946.360	666.541	862.792	595.878	43.084	7.0590	122.000	-833.484	1974.236	435.994	0.976
5	Estiaje media demanda - 2017	986.559	585.73	953.258	466.236	35.074	20.009	105.000	-761.560	2079.891	310.415	0.989
6	Estiaje mínima demanda - 2017	767.185	516.404	897.973	627.93	42.091	21.320	90.000	-815.228	1797.249	350.426	0.982

Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 20: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "A" – 2017



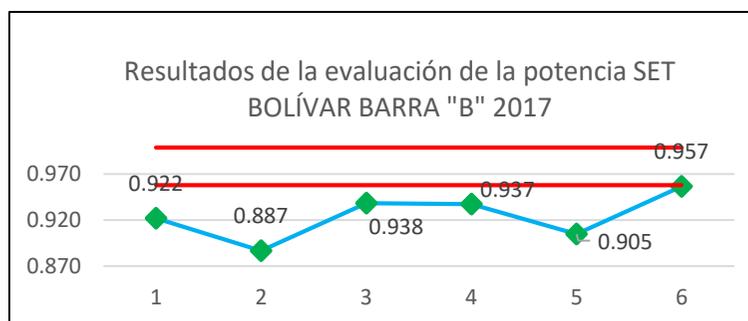
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 6: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "B" 2017.

Barra B - SET BOLÍVAR TR 3.6 MVA – 4.16 kV								
Item	ALIMENTADOR	COMPRESORES - (CMIV)		VENTILADOR - (CMII)		POTENCIA TOTAL EN LA BARRA B DE 4.16 kV – SET BOLÍVAR		
	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	FP
1	Avenida máxima demanda - 2017	1124.441	468.230	270.165	117.693	1394.606	585.923	0.922
2	Avenida media demanda - 2017	1218.177	623.071	239.909	137.410	1458.086	760.481	0.887
3	Avenida mínima demanda - 2017	1620.879	574.659	291.195	129.993	1912.074	704.652	0.938
4	Estiaje máxima demanda - 2017	1256.331	462.568	265.772	102.761	1522.103	565.329	0.937
5	Estiaje media demanda - 2017	1218.916	560.673	318.901	163.269	1537.817	723.942	0.905
6	Estiaje mínima demanda - 2017	1438.146	397.689	290.761	128.761	1728.907	526.450	0.957

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 21: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "B" – 2017



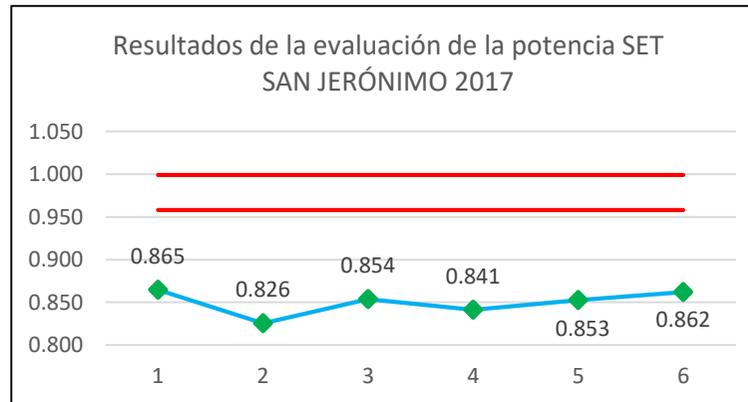
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 7: Resultados de la evaluación de la potencia SET SAN JERÓNIMO 2017

SET SAN JERÓNIMO – 4.16 kV												
Item	ALIMENTADOR	SE FILTRADO - (SE FILTRADOS 4.16 kV)		BUNKER DELCROSA (SE 02A_4.16)		BUNKER EPLI - (SE 02B_4.16)		MOLINO DE BARRAS – (MOL BARRAS 4.16)		POTENCIA TOTAL EN LA BARRA DE 4.16 kV – SET SAN JERÓNIMO		
	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	FP
1	Avenida máxima demanda - 2017	612.152	247.441	731.107	537.152	1192.48	649.641	340.232	237.647	2875.971	1671.881	0.865
2	Avenida media demanda - 2017	589.247	328.095	711.114	547.336	1152.689	783.835	300.194	222.981	2753.244	1882.247	0.826
3	Avenida mínima demanda - 2017	708.527	311.995	771.361	563.451	1303.54	820.962	400.329	245.73	3183.757	1942.138	0.854
4	Estiaje máxima demanda - 2017	592.201	287.485	731.134	547.814	1303.231	824.726	310.202	228.239	2936.768	1888.264	0.841
5	Estiaje media demanda - 2017	454.538	171.513	664.896	438.754	1075.679	689.646	299.188	228.071	2494.301	1527.984	0.853
6	Estiaje mínima demanda - 2017	709.097	309.891	771.184	529.052	1211.676	713.586	360.255	242.6	3052.212	1795.129	0.862

Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 22: Factor de potencia de la SET San Jerónimo 2017



Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.1.1.2. Proyección de la demanda actual del sistema eléctrico 2018

Para realizar la proyección de demanda, se ha considerado la inclusión de los siguientes proyectos:

- Ampliación en la SET Bolívar con una potencia máxima de 1.1 MVA_r y un f.d.p. = 0.93.
- Ampliación en la SET San Jerónimo con una potencia máxima de 1.25 MVA_r y un f.d.p. = 0.95.
- Ampliación de la SET Chilcayoc.
- Acoplamiento de las barras de 4.16 kV de la SET Bolívar.

Cabe mencionar que se debe tener en cuenta que los valores de demanda en los escenarios de estiaje del año 2018, serán los mismos valores del escenario de avenida del 2018, solo para estas cargas nuevas.

a. Resultados de evaluación de la potencia sin proyecto

Los resultados del análisis de demanda en el año 2018 son los siguientes:

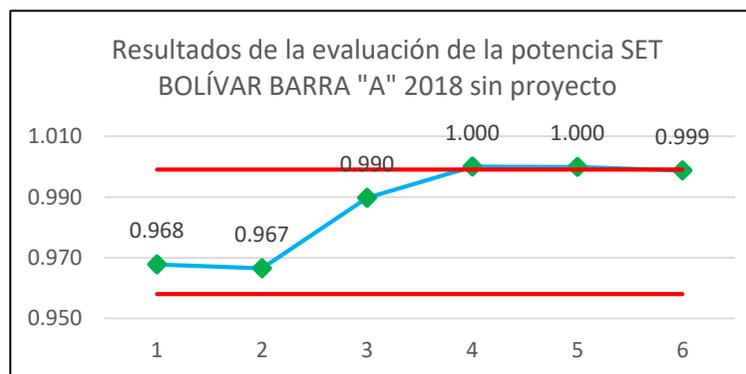
En la siguiente tabla, se muestran los valores de demanda obtenidos para cada escenario en la barra A de 4.16 kV de la SET Bolívar.

Tabla 8: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "A" 2018 sin proyecto

Barra A - SET BOLÍVAR TR 3.5 MVA – 4.16 kV												
Ítem	ALIMENTADOR	MINA 1 - (IN1 CMI)		MINA 2 - (IN2 CMII)		SAN MARTIN – (IN3 SM)		BANCO CAPACITOR – (IN4 C4)		POTENCIA TOTAL EN LA BARRA A DE 4.16 kV – SET BOLÍVAR		
	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	FP
1	Avenida máxima demanda - 2018	1011.434	684.897	802.993	573.857	38.104	31.377	90.000	-784.451	1942.531	505.680	0.968
2	Avenida media demanda - 2018	887.02	570.204	927.985	640.412	38.082	20.344	111.000	-709.47	1964.087	521.490	0.967
3	Avenida mínima demanda - 2018	894.235	652.57	900.868	635.834	42.097	21.356	90.000	-1030.603	1927.200	279.157	0.990
4	Estiaje máxima demanda - 2018	1006.463	680.115	797.045	469.278	38.095	31.319	90.000	-1161.813	1931.603	18.899	1.000
5	Estiaje media demanda - 2018	878.401	563.296	917.358	609.217	38.065	20.216	111.000	-1226.205	1944.824	-33.476	1.000
6	Estiaje mínima demanda - 2018	888.187	653.084	894.417	619.159	42.084	21.27	90.000	-1195.962	1914.688	97.551	0.999

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 23: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "A" – 2018 sin proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2019

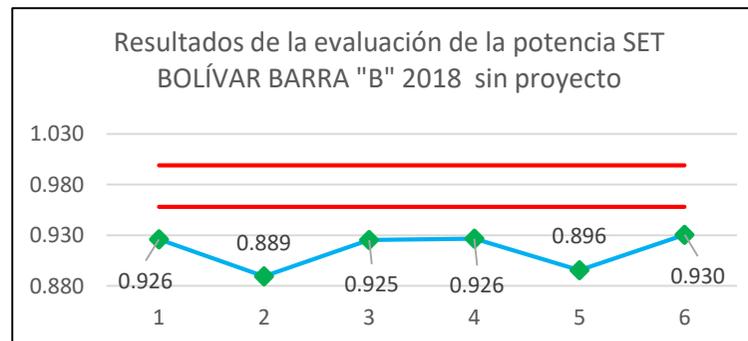
En la siguiente tabla, se muestran los valores de demanda obtenidos para cada escenario en la barra B de 4.16 kV de la SET Bolívar.

Tabla 9: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "B" 2018 sin proyecto

Barra B - SET BOLÍVAR TR 3.6 MVA – 4.16 kV								
Item	ALIMENTADOR	COMPRESORES - (CMIV)		VENTILADOR - (CMII)		POTENCIA TOTAL EN LA BARRA B DE 4.16 kV – SET BOLÍVAR		
	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	FP
1	Avenida máxima demanda - 2018	1213.636	492.974	384.008	158.902	1597.644	651.876	0.926
2	Avenida media demanda - 2018	1343.120	675.853	240.028	138.174	1583.148	814.027	0.889
3	Avenida mínima demanda - 2018	1763.639	713.425	291.152	129.766	2054.791	843.191	0.925
4	Estiaje máxima demanda - 2018	1212.926	490.377	383.886	158.54	1596.812	648.917	0.926
5	Estiaje media demanda - 2018	1333.834	645.778	239.505	135.933	1573.339	781.711	0.896
6	Estiaje mínima demanda - 2018	1754.891	677.55	290.739	128.17	2045.63	805.72	0.930

Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 24: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "B" – 2018 sin proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2019.

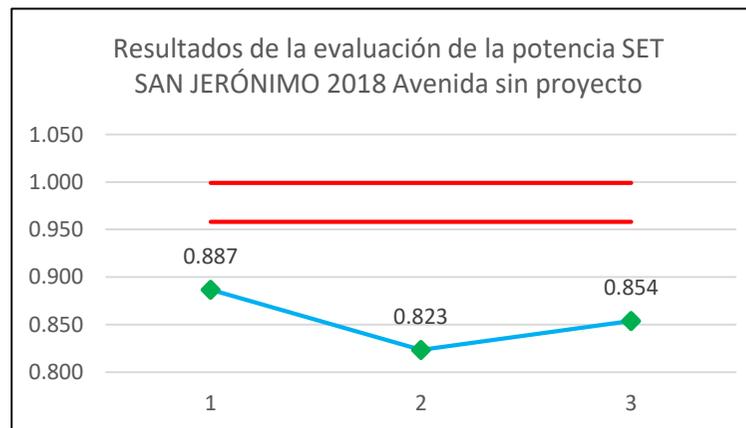
En la siguiente tabla, se muestran los valores de demanda obtenidos para cada escenario en la barra de 4.16 kV de la SET San Jerónimo.

Tabla 10: Resultados de la evaluación de la potencia SET SAN JERÓNIMO 2018 Avenida sin proyecto

SET SAN JERÓNIMO – 4.16 kV												
Ítem	ALIMENTADOR	SE FILTRADO - (SE FILTRADOS 4.16 kV)		BUNKER DELCROSA (SE 02A_4.16)		BUNKER EPLI - (SE 02B_4.16)		MOLINO DE BARRAS – (MOL BARRAS 4.16)		POTENCIA TOTAL EN LA BARRA DE 4.16 kV – SET SAN JERÓNIMO		
		ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	Avenida máxima demanda - 2017	664.512	254.118	731.140	537.976	1503.760	675.359	400.31	253.146	3299.722	1720.599	0.887
2	Avenida media demanda - 2017	579.460	338.271	711.145	548.112	1152.764	785.364	300.196	219.117	2743.565	1890.864	0.823
3	Avenida mínima demanda - 2017	708.248	311.787	771.341	562.949	1303.487	819.891	400.325	247.012	3183.401	1941.639	0.854

Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 25: Factor de potencia de la SET San Jerónimo 2018 Avenida sin proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2019.

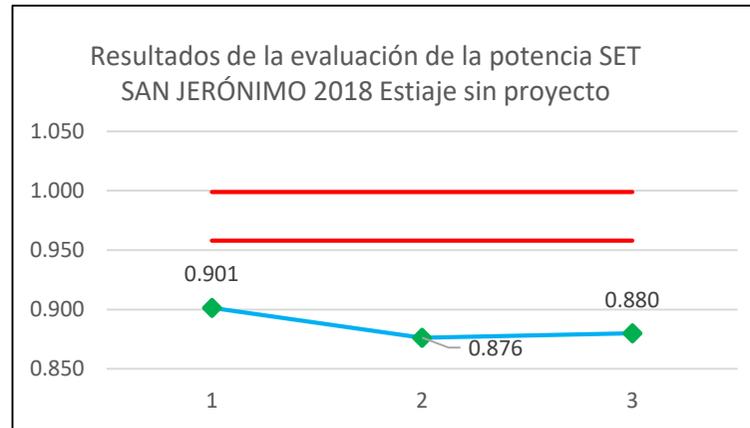
En la siguiente tabla, se muestran los valores de demanda obtenidos para cada escenario en la barra de 4.16 kV de la SET San Jerónimo incluida la carga nueva.

Tabla 11: Resultados de la evaluación de la potencia SET SAN JERÓNIMO 2018 Estiaje sin proyecto

SET SAN JERÓNIMO – 4.16 kV														
Ítem	ALIMENTADOR	SE FILTRADO - (SE FILTRADOS 4.16 kV)		BUNKER DELCROSA (SE 02A_4.16)		BUNKER EPLI - (SE 02B_4.16)		MOLINO DE BARRAS – (MOL BARRAS 4.16)		POTENCIA TOTAL EN LA NUEVA CARGA EN 33 kV – SET SAN JERÓNIMO		POTENCIA TOTAL EN LA BARRA DE 4.16 kV – SET SAN JERÓNIMO		
		ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	Estiaje máxima demanda - 2018	665.882	255.158	731.247	540.622	1504.112	682.454	400.332	244.837	1189.917	433.298	4491.490	2156.369	0.901
2	Estiaje media demanda - 2018	578.575	337.585	711.07	546.224	1152.58	781.644	300.19	229.038	1126.761	233.168	3869.176	2127.659	0.876
3	Estiaje mínima demanda - 2018	706.958	310.818	771.247	560.626	1303.242	814.948	400.309	254.074	1252.435	454.145	4434.191	2394.611	0.880

Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 26: Factor de potencia de la SET San Jerónimo 2018 Estiaje sin proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2019.

b. Resultados de evaluación de la potencia con proyecto

Como se llega a notar en las tablas y figuras presentes anteriormente, se llega a la siguiente deducción:

- En los resultados de la evaluación de la potencia SET Bolívar barra "A" 2017 y 2018, no es necesario una compensación reactiva.
- Mientras tanto en los resultados de la evaluación de la potencia SET Bolívar barra "B" 2017 y 2018, si es necesario la compensación reactiva.
- Del mismo modo los resultados de la evaluación de la potencia SET San Jerónimo 2017 y 2018, también es necesario una compensación reactiva.

Con las deducciones anteriores, se llega a la conclusión que: SET Bolívar barra "B" y SET San Jerónimo, necesitan una compensación reactiva, para esto se tiene las siguientes tablas y figuras, con un compensador de energía reactiva, mencionando que solamente se tomará en cuenta el escenario de estiaje, ya que será la situación más crítica del sistema eléctrico de la empresa:

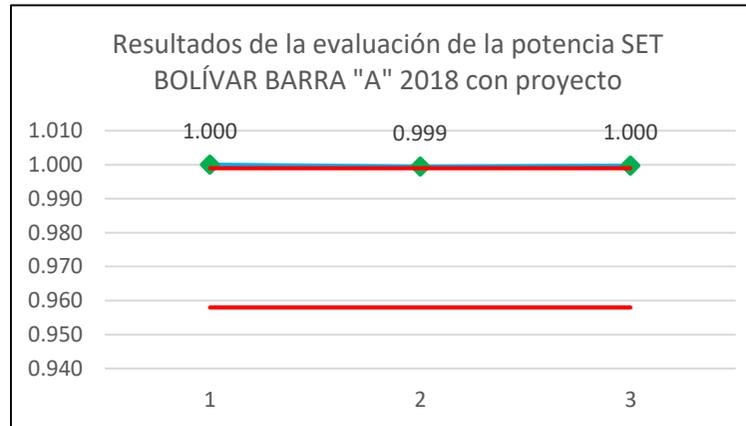
En la siguiente tabla, se muestran los valores de demanda obtenidos para cada escenario en la barra A de 4.16 kV de la SET Bolívar, ya que la compensación de la barra "B" ayudará a mejorar su factor de potencia a la barra "A", recalcando que no era necesario en esta barra.

Tabla 12: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "A" 2018 con proyecto

Barra A - SET BOLÍVAR TR 3.5 MVA – 4.16 kV												
Ítem	ALIMENTADOR	MINA 1 - (IN1 CMI)		MINA 2 - (IN2 CMII)		SAN MARTIN - (IN3 SM)		BANCO CAPACITOR - (IN4 C4)		POTENCIA TOTAL EN LA BARRA A DE 4.16 kV – SET BOLÍVAR		
	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	FP
1	Estiaje máxima demanda - 2018	1002.753	681.09	796.778	554.103	38.087	31.268	90.000	-1262.633	1927.618	3.828	1.000
2	Estiaje media demanda - 2018	877.766	564.843	916.534	607.282	38.064	20.203	111.000	-1254.204	1943.364	-61.876	0.999
3	Estiaje mínima demanda - 2018	886.499	658.684	892.681	615.312	42.08	21.243	90.000	-1252.595	1911.260	42.644	1.000

Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 27: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "A" – 2018 con proyecto



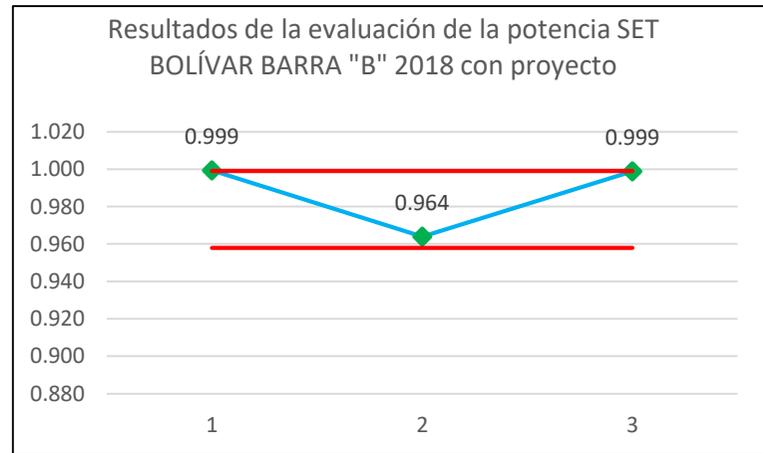
Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 13: Resultados de la evaluación de la potencia SET BOLÍVAR BARRA "B" 2018 con proyecto

Barra B - SET BOLÍVAR TR 3.6 MVA – 4.16 kV									
Item	ALIMENTADOR	COMPRESORES - (CMIV)		VENTILADOR - (CMII)		BANCO CAPACITOR PROPUESTO "BOLIVAR"	POTENCIA TOTAL EN LA BARRA B DE 4.16 kV – SET BOLÍVAR		
	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	FP
1	Estiaje máxima demanda - 2018	1208.146	476.222	383.056	157.051	-692.728	1591.202	-59.455	0.999
2	Estiaje media demanda - 2018	1331.932	641.186	239.397	135.906	-343.304	1571.329	433.788	0.964
3	Estiaje mínima demanda - 2018	1748.268	651.196	290.422	127.74	-682.68	2038.69	96.256	0.999

Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 28: Factor de potencia de la SET Bolívar barra "B" – 2018 con proyecto



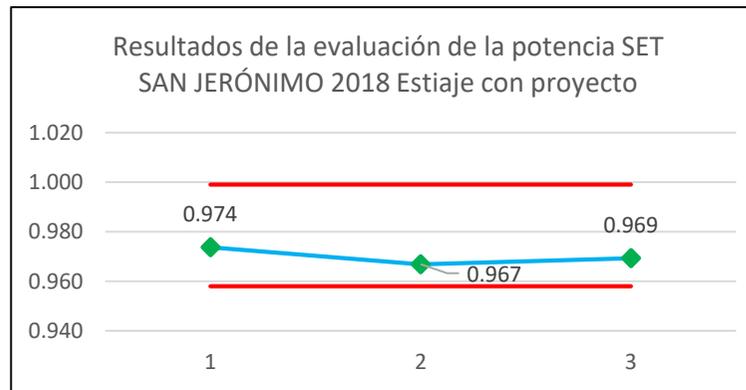
Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 14: Resultados de la evaluación de la potencia SET SAN JERÓNIMO 2018 Estiaje con proyecto

SET SAN JERÓNIMO – 4.16 kV															
Item	ALIMENTADOR	SE FILTRADO - (SE FILTRADOS 4.16 kV)		BUNKER DELCROSA (SE 02A_4.16)		BUNKER EPLI - (SE 02B_4.16)		MOLINO DE BARRAS – (MOL BARRAS 4.16)		POTENCIA TOTAL EN LA NUEVA CARGA EN 33 kV – SET SAN JERÓNIMO		BANCO CAPACITOR PROPUESTO "SAN JER."	POTENCIA TOTAL EN LA BARRA DE 4.16 kV – SET SAN JERÓNIMO		
		ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	Estiaje máxima demanda - 2018	663.591	253.41	731.065	536.196	1503.515	670.598	400.294	260.546	1064.152	378.638	-1078.804	4362.617	1020.584	0.974
2	Estiaje media demanda - 2018	577.933	337.082	711.014	544.854	1152.446	778.947	300.185	237.442	1126.809	401.867	-1279.427	3868.387	1020.765	0.967
3	Estiaje mínima demanda - 2018	705.714	309.872	771.156	558.378	1303.004	810.176	400.292	262.964	1252.26	451.024	-1267.185	4432.426	1125.229	0.969

Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 29: Factor de potencia de la SET San Jerónimo 2018 Estiaje con proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.1.2. UBICACIÓN DEL SISTEMA DE COMPENSACIÓN REACTIVA

La presente investigación está ubicada en el departamento de Ayacucho, provincia de Víctor Fajardo, en el distrito de Canaria, la empresa minera cuenta con varias subestaciones, de estas se llegarán a trabajar con 2, que son SET Bolívar y SET San Jerónimo. (Ver anexo N° 02)

4.1.2.1. Banco de condensadores – SET Bolívar, barra “B”

La subestación cuenta con un área cercada, donde contiene su patio de llaves y su sala de control, la ubicación del presente banco de condensadores será en las siguientes coordenadas: (ver anexo N° 04)

- Este: 615 884.58
- Norte: 8 453 341.60

La empresa Catalina Huanca cuenta con tableros de reserva en la presente subestación, por lo tanto, para una mayor seguridad se tendrá la disponibilidad de una de estas, para dicho objetivo.

4.1.2.2. Banco de condensadores – SET San Jerónimo

La subestación cuenta con un área cercada, donde contiene su patio de llaves y su sala de control, la ubicación del presente banco de condensadores será en las siguientes coordenadas: (ver anexo N° 06)

- Este: 610 651.85
- Norte: 8 450 853.03

La empresa Catalina Huanca cuenta con tableros de reserva en la presente subestación, por lo tanto, para una mayor seguridad se tendrá la disponibilidad de una de estas, para dicho objetivo.

4.1.3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE COMPENSACIÓN REACTIVA

4.1.3.1. Banco de capacitores

Con el dimensionamiento ya concretado, se concluye lo siguiente:

- Para la subestación Bolívar, se necesitará un Banco de capacitores de 2 pasos; 0.35/0.7 MVAR de 60 Hz.
- Para la subestación Bolívar, se necesitará un Banco de capacitores de 4 pasos; 0.35/1.4 MVAR de 60 Hz.

Para la elaboración de una apropiada tabla de datos técnicos se solicitó la tabla de datos técnicos del banco de capacitores que existe en la subestación Bolívar (está conectada al transformador "A"), y según el criterio de similitud se presentaran las siguientes tablas de datos técnicos de cada una de estas, para un mayor detalle ver los anexos N° 14 y 15

A continuación, se mostrará un breve resumen de las principales caracterizas de cada uno de los bancos de condensadores.

Tabla 15: Resumen de los datos técnicos del banco de condensador Bolívar

RESUMEN DE LOS DATOS TÉCNICOS DEL BANCO DE CONDENSADOR BOLÍVAR			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	REQUERIDO
1.00	DATOS SISTEMA ELÉCTRICO		
	Tensión de servicio	kV	4.16
	Frecuencia de la red	Hz	60
2.00	MODULO DE POTENCIA		
	Etapas 1-2 350KVAR/4.16kV		
	Total de potencia reactiva requerida	KVAR	700
	Número de Etapas	Etapas	2

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 16: Resumen de los datos técnicos del banco de condensador San Jerónimo

RESUMEN DE LOS DATOS TÉCNICOS DEL BANCO DE CONDENSADOR SAN JERÓNIMO			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	REQUERIDO
1.00	DATOS SISTEMA ELÉCTRICO		
	Tensión de servicio	kV	4.16
	Frecuencia de la red	Hz	60
2.00	MODULO DE POTENCIA		
	Etapa 1-2-3 y 4 350KVAR/4.16kV		
	Total de potencia reactiva requerida	KVAR	1400
	Número de Etapas	Etapas	4

Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.1.3.2. Cables de energía y terminales

La presente investigación requerirá el tipo de cable de energía unipolar N2XSY 3.6/6 kV - 50 mm², para un mayor detalle ver el anexo N° 16

A continuación, se mostrará un breve resumen de las principales caracterizas del cable de energía:

Tabla 17: Resumen de los datos técnicos del cable de unipolar tipo n2xsy de 50 mm²

RESUMEN DE LOS DATOS TÉCNICOS DEL CABLE DE UNIPOLAR TIPO N2XSY DE 50 mm²			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	REQUERIDO
1.00	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
	Tensión Nominal	kV	3.6/6
	Temperatura máxima a condiciones normales	°C	90
	Sección Nominal	mm ²	50

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con respecto a sus terminales del presente cable de energía será un terminal autocontraíble 3.6/6 kV para cable N2XSY 50 mm², para un mayor detalle ver el anexo N° 17

A continuación, se mostrará un breve resumen de las principales caracterizas del terminal:

Tabla 18: Resumen de los datos técnicos de terminaciones para cables de energía de 50 mm²

RESUMEN DE LOS DATOS TÉCNICOS DE TERMINACIONES PARA CABLES DE ENERGÍA DE 50 mm²			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	REQUERIDO
1.00	CARACTERISTICAS PRINCIPALES		
	Tensión Nominal de la Terminación	kVrms	3.6/6
	Tecnología de Terminación		Instalación en frío
	Instalación		Interior/Exterior

Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.1.3.3. Sistema de puesta a tierra

La presente investigación requerirá conductor de cobre desnudo recocido 70 mm², para un mayor detalle ver el anexo N° 18

A continuación, se mostrará un breve resumen de las principales caracterizas del cable cobre desnudo:

Tabla 19: Resumen de los datos técnicos de conductor de cobre para puesta a tierra 70 mm²

RESUMEN DE LOS DATOS TÉCNICOS DE CONDUCTOR DE COBRE PARA PUESTA A TIERRA 70 mm²			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	REQUERIDO
1.00	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
	Sección nominal	mm ²	70
	Número de alambres	Nº	19
	Diámetro del alambre	mm	2.39
	Diámetro del conductor	mm	11.94

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para el cobre desnudo requerirá un conector simple para cable 70 mm² a superficie plana metálica, para un mayor detalle ver el anexo N° 19

A continuación, se mostrará un breve resumen de las principales características del conector:

Tabla 20: Resumen de los datos técnicos de conectores del sistema de puesta tierra

RESUMEN DE LOS DATOS TÉCNICOS DE CONECTORES DEL SISTEMA DE PUESTA TIERRA			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	REQUERIDO
1.00	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
	Sección nominal	mm ²	70
	Material		Bronce

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Requerirá de un molde para soldadura en "T" con su respectiva soldadura exotérmica tipo "T", para un mayor detalle ver el anexo N° 20

A continuación, se mostrará un breve resumen de las principales características del molde y soldadura:

Tabla 21: Resumen de los datos técnicos de moldes y soldaduras exotérmica

RESUMEN DE LOS DATOS TÉCNICOS DE MOLDES Y SOLDADURAS EXOTÉRMICA			
ITEM	DESCRIPCION	UNID	REQUERIDO
1.00	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
	Sección nominal	mm ²	70
	Material		Grafito
	Tipo		"T"

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para finalizar requerirá de tubos de PVC - SAP de 3/4", para un mayor detalle ver el anexo N° 21

A continuación, se mostrará un breve resumen de las principales caracterizas del tubo PVC:

Tabla 22: Resumen de los datos técnicos de tubo pvc - sap 3/4"

RESUMEN DE LOS DATOS TÉCNICOS DE TUBO PVC - SAP 3/4"			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	REQUERIDO
1.00	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
	Material		PVC
	Diámetro nominal	Pulgadas	3/4
	Longitud	m	3
	Espesor	mm	1.8

Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.1.4. COSTO SIN PROYECTO

En el presente ítem cuando se menciona el término costo, esta llega ser muy amplio con lo que respecta a la empresa ya que tiene varias facturas a pagar mensualmente, de esta forma, abarca varios términos, como, por ejemplo:

- Cargo por potencia contratada
- Cargo por alumbrado público
- Cargo fijo

- Cargo por energía reactiva
- Cargo por peaje conexión sistema secundario de transmisión
- Cargo por peaje conexión sistema principal de transmisión
- Cargo por energía activa – punta
- Cargo por energía activa – fuera de punta
- Entre otras.

Como se dijo anteriormente, es muy amplio el aspecto de costos, por este motivo solo nos abarcaremos con el termino de cargo por energía reactiva, ya que la presente investigación trata de esta misma.

Ya aclarado con respecto a que se analizará en el presente ítem, que solamente será del cargo por energía reactiva, se tendrá un registro histórico de facturación del suministro de la empresa, este registro histórico, ver tabla N° 23, contara con los años 2016, 2017 y 2018, todas estas con sus respectivos meses, la cual indicara de cuanto se está pagando por penalidad mensualmente, donde estos montos pueden llegar a ser un monto de inversión para una mejora a la empresa tanto económicamente y técnicamente, ya que se describió de los benéficos que nos brinda al compensar un sistema eléctrico. Para esto también se mostrará como ejemplo de un recibo de la facturación del mes de octubre del 2018, ver anexo N° 07.

4.1.4.1. Costos de penalidades sin proyecto 2016 – 2018

Tabla 23: Registro histórico 2016-2018 de penalidades por exceso de energía reactiva

Periodo	Energía activa mensual	Energía reactiva mensual	Porcentaje facturable	Energía reactiva facturable	Cargo por Energía Reactiva que Exceda el 30% del total de la Energía Activa	Penalidad a pagar por el exceso de energía reactiva
2016 - Enero	3,859,308.21 kWh	1,223,887.77 kVARh	32%	66,095.31 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 2,809.05
2016 - Febrero	3,671,047.40 kWh	1,168,730.44 kVARh	32%	67,416.22 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 2,865.19
2016 - Marzo	3,965,695.09 kWh	1,255,505.13 kVARh	32%	65,796.61 kVARh	4.40 ctm.S//kVARh	S/ 2,895.05
2016 - Abril	3,810,385.03 kWh	1,209,411.43 kVARh	32%	66,295.92 kVARh	4.15 ctm.S//kVARh	S/ 2,751.28
2016 - Mayo	3,974,523.50 kWh	1,262,470.09 kVARh	32%	70,113.04 kVARh	4.15 ctm.S//kVARh	S/ 2,909.69
2016 - Junio	3,909,991.97 kWh	1,249,866.22 kVARh	32%	76,868.63 kVARh	4.15 ctm.S//kVARh	S/ 3,190.05
2016 - Julio	3,975,003.50 kWh	1,287,533.33 kVARh	32%	95,032.28 kVARh	4.15 ctm.S//kVARh	S/ 3,943.84
2016 - Agosto	4,238,415.50 kWh	1,389,170.96 kVARh	33%	117,646.31 kVARh	4.15 ctm.S//kVARh	S/ 4,882.32
2016 - Setiembre	4,126,524.65 kWh	1,381,179.02 kVARh	33%	143,221.63 kVARh	4.15 ctm.S//kVARh	S/ 5,943.70
2016 - Octubre	4,250,052.06 kWh	1,388,458.88 kVARh	33%	113,443.26 kVARh	4.24 ctm.S//kVARh	S/ 4,809.99
2016 - Noviembre	4,330,085.50 kWh	1,549,427.21 kVARh	36%	250,401.56 kVARh	4.24 ctm.S//kVARh	S/ 10,617.03
2016 - Diciembre	4,183,960.70 kWh	1,460,427.70 kVARh	35%	205,239.49 kVARh	4.24 ctm.S//kVARh	S/ 8,702.15
2017 - Enero	3,988,880.62 kWh	1,265,632.68 kVARh	32%	68,968.50 kVARh	4.24 ctm.S//kVARh	S/ 2,924.26
2017 - Febrero	3,593,410.26 kWh	1,142,969.69 kVARh	32%	64,946.61 kVARh	4.10 ctm.S//kVARh	S/ 2,662.81
2017 - Marzo	4,011,244.79 kWh	1,269,997.59 kVARh	32%	66,624.16 kVARh	4.10 ctm.S//kVARh	S/ 2,731.59
2017 - Abril	4,016,024.78 kWh	1,279,443.27 kVARh	32%	74,635.83 kVARh	4.10 ctm.S//kVARh	S/ 3,060.07
2017 - Mayo	4,053,446.37 kWh	1,291,257.72 kVARh	32%	75,223.81 kVARh	4.10 ctm.S//kVARh	S/ 3,084.18
2017 - Junio	3,916,644.55 kWh	1,275,180.32 kVARh	33%	100,186.96 kVARh	4.10 ctm.S//kVARh	S/ 4,107.67
2017 - Julio	4,126,656.27 kWh	1,331,635.76 kVARh	32%	93,638.88 kVARh	4.10 ctm.S//kVARh	S/ 3,839.19
2017 - Agosto	4,370,250.17 kWh	1,406,732.30 kVARh	32%	95,657.25 kVARh	4.10 ctm.S//kVARh	S/ 3,921.95
2017 - Setiembre	4,188,374.35 kWh	1,398,055.93 kVARh	33%	141,543.62 kVARh	4.10 ctm.S//kVARh	S/ 5,803.29
2017 - Octubre	4,271,676.36 kWh	1,400,288.15 kVARh	33%	118,785.24 kVARh	4.10 ctm.S//kVARh	S/ 4,870.19

2017 - Noviembre	4,327,056.02	kWh	1,435,273.33	kVARh	33%	137,156.52	kVARh	4.05	ctm.S//kVARh	S/	5,554.84
2017 - Diciembre	4,465,911.36	kWh	1,469,059.72	kVARh	33%	129,286.32	kVARh	4.05	ctm.S//kVARh	S/	5,236.10
2018 - Enero	4,108,596.69	kWh	1,436,489.22	kVARh	35%	203,910.22	kVARh	4.18	ctm.S//kVARh	S/	8,523.45
2018 - Febrero	3,654,848.03	kWh	1,300,868.42	kVARh	36%	204,414.01	kVARh	4.21	ctm.S//kVARh	S/	8,605.83
2018 - Marzo	4,134,667.09	kWh	1,448,079.49	kVARh	35%	207,679.36	kVARh	4.22	ctm.S//kVARh	S/	8,764.07
2018 - Abril	4,077,477.80	kWh	1,425,818.73	kVARh	35%	202,575.40	kVARh	4.22	ctm.S//kVARh	S/	8,548.68
2018 - Mayo	4,088,538.44	kWh	1,433,374.48	kVARh	35%	206,812.95	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	8,789.55
2018 - Junio	3,820,843.81	kWh	1,374,894.84	kVARh	36%	228,641.69	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	9,717.27
2018 - Julio	4,155,029.97	kWh	1,469,731.45	kVARh	35%	223,222.46	kVARh	4.28	ctm.S//kVARh	S/	9,553.92
2018 - Agosto	4,455,640.56	kWh	1,561,452.95	kVARh	35%	224,760.78	kVARh	4.28	ctm.S//kVARh	S/	9,619.76
2018 - Setiembre	4,247,361.25	kWh	1,514,165.22	kVARh	36%	239,956.84	kVARh	4.28	ctm.S//kVARh	S/	10,270.15
2018 - Octubre	4,363,113.91	kWh	1,559,499.07	kVARh	36%	250,564.90	kVARh	4.28	ctm.S//kVARh	S/	10,724.18
2018 - Noviembre	4,282,587.43	kWh	1,532,579.69	kVARh	36%	247,803.46	kVARh	4.24	ctm.S//kVARh	S/	10,506.87
2018 - Diciembre	4,435,035.47	kWh	1,572,976.42	kVARh	35%	242,465.78	kVARh	4.36	ctm.S//kVARh	S/	10,571.51
Penalidad pagada de los tres años										S/	218,310.72

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 24: Penalidad pagada por el exceso de energía reactiva anualmente

Año	Penalidad a pagar por el exceso de energía reactiva
2016	S/ 56,319.34
2017	S/ 47,796.14
2018	S/ 114,195.24
Total	S/ 218,310.72

Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.1.4.2. Costos de penalidades sin proyecto proyectado 2019 – 2023

Para el presente ítem se considerará una trayectoria de 5 años (2019 – 2023), ya que la instalación de los bancos de condensadores se deberá realizar en el 2019. Para esto se presenta las siguientes tablas que indicarán la proyección de demanda de energía de cada mes, gracias al registro histórico de la tabla N° 23, tomando en cuenta que se iniciara el 2019. El incremento de demanda se proyectará con un factor de crecimiento de 1.05 respecto a su mes correspondiente, esto quiere decir que la energía suministrada por enero 2018 se multiplicará por 1.05, para tener el suministro de enero 2019 y así con cada uno de los meses y años (ver tabla N° 25).

Tabla 25: Proyección de la demanda energética sin compensación reactiva.

Periodo	Energía activa mensual	Energía reactiva mensual	Porcentaje facturable	Energía reactiva facturable	Cargo por Energía Reactiva que Exceda el 30% del total de la Energía Activa	Penalidad a pagar por el exceso de energía reactiva
2019 - Enero	4,314,026.52 kWh	1,508,313.68 kVARh	35%	214,105.73 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 9,108.41
2019 - Febrero	3,837,590.43 kWh	1,365,911.84 kVARh	36%	214,634.71 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 9,130.92
2019 - Marzo	4,341,400.44 kWh	1,520,483.46 kVARh	35%	218,063.33 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 9,276.78
2019 - Abril	4,281,351.69 kWh	1,497,109.67 kVARh	35%	212,704.17 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 9,048.79
2019 - Mayo	4,292,965.36 kWh	1,505,043.20 kVARh	35%	217,153.59 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 9,238.08
2019 - Junio	4,011,886.00 kWh	1,443,639.58 kVARh	36%	240,073.78 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 10,213.14
2019 - Julio	4,362,781.47 kWh	1,543,218.03 kVARh	35%	234,383.58 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 9,971.07
2019 - Agosto	4,678,422.58 kWh	1,639,525.59 kVARh	35%	235,998.82 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 10,039.78
2019 - Setiembre	4,459,729.31 kWh	1,589,873.48 kVARh	36%	251,954.69 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 10,718.57
2019 - Octubre	4,581,269.60 kWh	1,637,474.03 kVARh	36%	263,093.14 kVARh	4.25 ctm.S//kVARh	S/ 11,192.42

2019 - Noviembre	4,496,716.80	kWh	1,609,208.68	kVARh	36%	260,193.63	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,069.07
2019 - Diciembre	4,656,787.25	kWh	1,651,625.24	kVARh	35%	254,589.07	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,830.64
2020 - Enero	4,529,727.85	kWh	1,583,729.37	kVARh	35%	224,811.01	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	9,563.84
2020 - Febrero	4,029,469.95	kWh	1,434,207.43	kVARh	36%	225,366.45	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	9,587.46
2020 - Marzo	4,558,470.46	kWh	1,596,507.64	kVARh	35%	228,966.50	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	9,740.62
2020 - Abril	4,495,419.27	kWh	1,571,965.16	kVARh	35%	223,339.37	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	9,501.23
2020 - Mayo	4,507,613.63	kWh	1,580,295.36	kVARh	35%	228,011.27	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	9,699.98
2020 - Junio	4,212,480.30	kWh	1,515,821.56	kVARh	36%	252,077.47	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,723.80
2020 - Julio	4,580,920.55	kWh	1,620,378.93	kVARh	35%	246,102.76	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,469.62
2020 - Agosto	4,912,343.71	kWh	1,721,501.87	kVARh	35%	247,798.76	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,541.77
2020 - Setiembre	4,682,715.78	kWh	1,669,367.15	kVARh	36%	264,552.42	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,254.50
2020 - Octubre	4,810,333.08	kWh	1,719,347.73	kVARh	36%	276,247.80	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,752.04
2020 - Noviembre	4,721,552.64	kWh	1,689,669.11	kVARh	36%	273,203.32	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,622.52
2020 - Diciembre	4,889,626.61	kWh	1,734,206.50	kVARh	35%	267,318.52	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,372.18
2021 - Enero	4,756,214.24	kWh	1,662,915.84	kVARh	35%	236,051.56	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,042.03
2021 - Febrero	4,230,943.45	kWh	1,505,917.80	kVARh	36%	236,634.77	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,066.84
2021 - Marzo	4,786,393.98	kWh	1,676,333.02	kVARh	35%	240,414.82	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,227.65
2021 - Abril	4,720,190.23	kWh	1,650,563.41	kVARh	35%	234,506.34	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	9,976.29
2021 - Mayo	4,732,994.31	kWh	1,659,310.13	kVARh	35%	239,411.84	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,184.98
2021 - Junio	4,423,104.31	kWh	1,591,612.63	kVARh	36%	264,681.34	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,259.99
2021 - Julio	4,809,966.57	kWh	1,701,397.87	kVARh	35%	258,407.90	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,993.10
2021 - Agosto	5,157,960.90	kWh	1,807,576.97	kVARh	35%	260,188.70	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,068.86
2021 - Setiembre	4,916,851.57	kWh	1,752,835.51	kVARh	36%	277,780.04	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,817.23
2021 - Octubre	5,050,849.74	kWh	1,805,315.11	kVARh	36%	290,060.19	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	12,339.64
2021 - Noviembre	4,957,630.28	kWh	1,774,152.56	kVARh	36%	286,863.48	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	12,203.65
2021 - Diciembre	5,134,107.94	kWh	1,820,916.83	kVARh	35%	280,684.45	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,940.78
2022 - Enero	4,994,024.95	kWh	1,746,061.63	kVARh	35%	247,854.14	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,544.13
2022 - Febrero	4,442,490.62	kWh	1,581,213.69	kVARh	36%	248,466.51	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,570.18

2022 - Marzo	5,025,713.68	kWh	1,760,149.67	kVARh	35%	252,435.56	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,739.03
2022 - Abril	4,956,199.74	kWh	1,733,091.58	kVARh	35%	246,231.66	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,475.11
2022 - Mayo	4,969,644.03	kWh	1,742,275.64	kVARh	35%	251,382.43	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,694.23
2022 - Junio	4,644,259.53	kWh	1,671,193.27	kVARh	36%	277,915.41	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,822.98
2022 - Julio	5,050,464.90	kWh	1,786,467.77	kVARh	35%	271,328.30	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,542.76
2022 - Agosto	5,415,858.94	kWh	1,897,955.81	kVARh	35%	273,198.13	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,622.30
2022 - Setiembre	5,162,694.14	kWh	1,840,477.29	kVARh	36%	291,669.04	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	12,408.09
2022 - Octubre	5,303,392.22	kWh	1,895,580.87	kVARh	36%	304,563.20	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	12,956.63
2022 - Noviembre	5,205,511.79	kWh	1,862,860.19	kVARh	36%	301,206.66	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	12,813.83
2022 - Diciembre	5,390,813.34	kWh	1,911,962.67	kVARh	35%	294,718.67	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	12,537.82
2023 - Enero	5,243,726.20	kWh	1,833,364.71	kVARh	35%	260,246.85	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,071.33
2023 - Febrero	4,664,615.16	kWh	1,660,274.38	kVARh	36%	260,889.83	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,098.69
2023 - Marzo	5,276,999.37	kWh	1,848,157.15	kVARh	35%	265,057.34	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,275.98
2023 - Abril	5,204,009.73	kWh	1,819,746.16	kVARh	35%	258,543.24	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	10,998.86
2023 - Mayo	5,218,126.23	kWh	1,829,389.42	kVARh	35%	263,951.55	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	11,228.94
2023 - Junio	4,876,472.51	kWh	1,754,752.93	kVARh	36%	291,811.18	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	12,414.13
2023 - Julio	5,302,988.15	kWh	1,875,791.15	kVARh	35%	284,894.71	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	12,119.90
2023 - Agosto	5,686,651.89	kWh	1,992,853.61	kVARh	35%	286,858.04	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	12,203.42
2023 - Setiembre	5,420,828.85	kWh	1,932,501.15	kVARh	36%	306,252.49	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	13,028.49
2023 - Octubre	5,568,561.84	kWh	1,990,359.91	kVARh	36%	319,791.36	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	13,604.46
2023 - Noviembre	5,465,787.38	kWh	1,956,003.20	kVARh	36%	316,266.99	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	13,454.52
2023 - Diciembre	5,660,354.00	kWh	2,007,560.80	kVARh	35%	309,454.60	kVARh	4.25	ctm.S//kVARh	S/	13,164.71
Penalidad a pagar por los años 2019 - 2023										S/	662,178.79

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 26: Proyección a pagar por el exceso de energía reactiva anualmente

Año	Penalidad a pagar por el exceso de energía reactiva - anual	
2019	S/	119,837.67
2020	S/	125,829.56
2021	S/	132,121.04
2022	S/	138,727.09
2023	S/	145,663.43
Total	S/	662,178.79

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el año 2018 serán implementados los nuevos proyectos dispuestas por la empresa, ya explicada en el ítem 4.1.2.2. Proyección de la demanda actual del sistema eléctrico 2018.

4.1.5. COSTO CON PROYECTO

A continuación, se describirá los presupuestos que contará la presente investigación, con la finalidad de validar que será una buena inversión la presente investigación.

4.1.5.1. Inversiones fijas

“Las inversiones fijas son aquellas que se utilizan para garantizar la operación del proyecto” [29]

Tabla 27: Lista de suministros y materiales de la compensación reactiva

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO TOTAL	COSTO	
				UNITARIO	TOTAL
				S/	S/
1	<u>EQUIPOS</u>				
1.1	Compensación Reactiva, comprende lo siguiente:				
	Banco de capacitores automático de 4.16 kV; 2 pasos; 0.35/0.7 MVAR; 60 Hz	Und	1.00	97,500.00	97,500.00
	Banco de capacitores automático de 4.16 kV; 4 pasos; 0.35/1.4 MVAR; 60 Hz	Und	1.00	135,000.00	135,000.00
	SUBTOTAL 1				232,500.00
2	<u>CONDUCTOR</u>				
2.1	Cable unipolar N2XSY 3.6/6 kV - 50 mm2	m	135.00	29.31	3,957.29
2.2	Terminal autocontraíble 3.6/6 kV para cable N2XSY 50 mm2, kit para las 3 fases	KIT	2.00	1,692.63	3,385.26
	SUBTOTAL 2				7,342.55
3	<u>SISTEMA DE PUESTA A TIERRA SUPERFICIAL</u>				
3.1	Conductor de cobre desnudo recocido 70 mm2	m	20.00	26.21	524.14
3.2	Conector simple para cable 70 mm2 a superficie plana metálica	Und	4.00	34.28	137.12
3.3	Soldadura exotérmica tipo "T"	Und	2.00	36.70	73.40

3.4	Molde para Soldadura en "T"	Und	1.00	343.34	343.34
3.5	Tubo de pvc - sap de 3/4"	m	3.00	5.70	17.10
3.6	Accesorios para tubería pvc - sap	Glb	1.00	30.00	30.00
	SUBTOTAL 3				1,125.10
TOTAL SUMINISTRO				S/ 240,967.65	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.1.5.2. Inversiones diferidas

“Las inversiones diferidas son aquellas que se realizan sobre la compra de servicios o derechos que son necesarios para la puesta en marcha del proyecto. Cuando existe cierta incertidumbre en la estimación de estos montos es aconsejable incluir una partida para imprevistos por un porcentaje entre el 5% y el 10% del total de los diferidos.” [29]

Tabla 28: Costos de montaje de la compensación reactiva

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO TOTAL	COSTO	
				UNITARIO	TOTAL
				S/	S/
1	<u>EQUIPOS</u>				
	Compensación Reactiva, comprende lo siguiente:				
	Banco de capacitores automático de 4.16 kV; 2 pasos; 0.35/0.7 MVAR; 60 Hz	Und	1.00	2,905.55	2,905.55
	Banco de capacitores automático de 4.16 kV; 4 pasos; 0.35/1.4 MVAR; 60 Hz	Und	1.00	2,905.55	2,905.55
	SUBTOTAL 1				5,811.10
2	<u>CONDUCTOR</u>				
2.1	Cable unipolar N2XSY 3.6/6 kV - 50 mm2	m	135.00	11.63	1,570.05
2.2	Terminal autocontraíble 3.6/6 kV para cable N2XSY 50 mm2, kit para las 3 fases	m	2.00	412.50	825.00
	SUBTOTAL 2				2,395.05
3	<u>SISTEMA DE PUESTA A TIERRA SUPERFICIAL</u>				
3.1	Soldaduras exotérmicas para derivaciones a tierra (incluye excavación y relleno de terreno)	Und	2.00	49.67	99.34
3.2	Instalación del sistema de tierra, conexionado a tierra del banco de condensador (incluye instalación de conductor, fijación y conexiones)	m	20.00	13.57	271.40
3.3	Tubo de pvc - sap de 3/4" (incluye excavación, tendido con accesorios y relleno)	m	3.00	23.46	70.38
	SUBTOTAL 3				441.12
TOTAL MONTAJE				S/	8,647.27

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 29: Costo de transporte de materiales y equipos

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO TOTAL	C O S T O	
				UNITARIO	TOTAL
				S/	S/
1	Transporte				
	Banco de condensadores	Glb	2.00	3,000.00	6,000.00
	Suministro restantes	Glb	1.00	500.00	500.00
	SUBTOTAL 1				6,500.00
TOTAL				S/	6,500.00

Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.1.5.3. Costos Fijos

Los costos fijos son los costos por mantenimiento durante la vida útil del proyecto, cabe mencionar que, para el caso de proyectos de eléctricos, los mantenimientos serán cada 2 años.

Tabla 30: Costos fijos de la investigación

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO TOTAL	C O S T O	
				UNITARIO	TOTAL
				S/	S/
1	Mantenimiento de banco de condensadores (cada 2 años)	Glb	2.00	1,300.00	2,600.00
	SUBTOTAL 1				2,600.00
TOTAL				S/ 2,600.00	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación, se describirá un breve resumen de los costos que involucra la presente investigación, así para su fácil entendimiento.

Tabla 31: Resumen de los costos que involucra la investigación

ITEM	DESCRIPCIÓN	COMPENSACIÓN
		REACTIVA S/
	-	
I.	<u>PRESUPUESTO:</u>	
1.0	INVERSIONES FIJAS - SUMINISTRO DE MATERIALES	240,967.65
2.0	INVERSIONES DIFERIDAS	16,662.00
2.1	MONTAJE	8,647.27
2.2	TRANSPORTE	6,500.00
2.3	GASTOS GENERALES	1,514.73
	TOTAL	257,629.64
	SUBTOTAL	257,629.64
	IGV (18%)	46,373.34
	TOTAL GENERAL S/	304,002.98

Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.1.5.4. Potencia reactiva producida por los compensadores

El presente ítem, se mostrará datos de la simulación mediante el software DigSILENT, estos serán datos promedios de la potencia reactiva producida por los bancos de condensadores, en este caso se mostrará dos tablas, ya que la presente investigación cuenta con 2 bancos de condensadores, una para la S.E. Bolívar y S.E. San Jerónimo.

Para la interpretación de las presentes tablas, describiré en que consiste dichas tablas: tendrá 3 escenarios; cuando el sistema está en su máxima, media y mínima capacidad y en este caso se trabajará en el periodo de estiaje (se escogió este periodo debido que, si el sistema puede soportar dicho periodo, el periodo de avenida será mejor controlado por la empresa), cabe recalcar que los bancos de condensadores serán automáticos, esto quiere decir que la potencia reactiva a suministrar variara según sea el caso que presenta el sistema eléctrico. Dicho esto, se presentan las siguientes tablas.

Tabla 32: Potencia reactiva aproximada que suministrara máximo en la S.E. Bolívar

Ítem	ALIMENTADOR	BANCO CAPACITOR PROPUESTO "BOLIVAR"
	ESCENARIO DE OPERACIÓN	Q (kVAr)
1	Estiaje máxima demanda - 2018	-692.728
2	Estiaje media demanda - 2018	-343.304
3	Estiaje mínima demanda - 2018	-682.68

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 33: Potencia reactiva aproximada que suministrara máximo en la S.E. San Jerónimo

Ítem	ALIMENTADOR	BANCO CAPACITOR PROPUESTO "SAN JER."
	ESCENARIO DE OPERACIÓN	Q (kVAr)
1	Estiaje máxima demanda - 2018	-1078.804
2	Estiaje media demanda - 2018	-1279.427
3	Estiaje mínima demanda - 2018	-1267.185

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Ahora bien, se presentará la siguiente tabla con una compensación reactiva óptima, que solucionará a la tabla N° 25, donde el porcentaje facturable no excederá del 30%, según indica la norma.

Tabla 34: Proyección de la demanda energética con compensación reactiva aproximada

Periodo	Energía activa mensual	Energía reactiva mensual sin compensación	Banco de condensador - Bolívar	Banco de condensador - San Jerónimo	Energía reactiva mensual con compensación	Porcentaje facturable
2019 - Enero	4,314,026.52 kWh	1,508,313.68 kVARh	78,881.06 kVARh	135,224.67 kVARh	1,294,207.96 kVARh	30%
2019 - Febrero	3,837,590.43 kWh	1,365,911.84 kVARh	79,075.95 kVARh	135,558.76 kVARh	1,151,277.13 kVARh	30%
2019 - Marzo	4,341,400.44 kWh	1,520,483.46 kVARh	80,339.12 kVARh	137,724.21 kVARh	1,302,420.13 kVARh	30%
2019 - Abril	4,281,351.69 kWh	1,497,109.67 kVARh	78,364.69 kVARh	134,339.47 kVARh	1,284,405.51 kVARh	30%
2019 - Mayo	4,292,965.36 kWh	1,505,043.20 kVARh	80,003.96 kVARh	137,149.64 kVARh	1,287,889.61 kVARh	30%
2019 - Junio	4,011,886.00 kWh	1,443,639.58 kVARh	88,448.23 kVARh	151,625.54 kVARh	1,203,565.80 kVARh	30%
2019 - Julio	4,362,781.47 kWh	1,543,218.03 kVARh	86,351.85 kVARh	148,031.74 kVARh	1,308,834.44 kVARh	30%
2019 - Agosto	4,678,422.58 kWh	1,639,525.59 kVARh	86,946.93 kVARh	149,051.88 kVARh	1,403,526.77 kVARh	30%
2019 - Setiembre	4,459,729.31 kWh	1,589,873.48 kVARh	92,825.41 kVARh	159,129.27 kVARh	1,337,918.79 kVARh	30%
2019 - Octubre	4,581,269.60 kWh	1,637,474.03 kVARh	96,929.05 kVARh	166,164.09 kVARh	1,374,380.88 kVARh	30%
2019 - Noviembre	4,496,716.80 kWh	1,609,208.68 kVARh	95,860.81 kVARh	164,332.82 kVARh	1,349,015.04 kVARh	30%
2019 - Diciembre	4,656,787.25 kWh	1,651,625.24 kVARh	93,795.97 kVARh	160,793.10 kVARh	1,397,036.17 kVARh	30%
2019 - Enero	4,314,026.52 kWh	1,368,098.09 kVARh	27,222.68 kVARh	46,667.46 kVARh	1,294,207.95 kVARh	30%
2019 - Febrero	3,837,590.43 kWh	1,224,849.99 kVARh	27,105.79 kVARh	46,467.07 kVARh	1,151,277.13 kVARh	30%
2020 - Enero	4,529,727.85 kWh	1,583,729.37 kVARh	82,825.11 kVARh	141,985.90 kVARh	1,358,918.35 kVARh	30%
2020 - Febrero	4,029,469.95 kWh	1,434,207.43 kVARh	83,029.74 kVARh	142,336.70 kVARh	1,208,840.99 kVARh	30%
2020 - Marzo	4,558,470.46 kWh	1,596,507.64 kVARh	84,356.08 kVARh	144,610.42 kVARh	1,367,541.14 kVARh	30%
2020 - Abril	4,495,419.27 kWh	1,571,965.16 kVARh	82,282.93 kVARh	141,056.45 kVARh	1,348,625.78 kVARh	30%
2020 - Mayo	4,507,613.63 kWh	1,580,295.36 kVARh	84,004.15 kVARh	144,007.12 kVARh	1,352,284.09 kVARh	30%
2020 - Junio	4,212,480.30 kWh	1,515,821.56 kVARh	92,870.65 kVARh	159,206.82 kVARh	1,263,744.09 kVARh	30%
2020 - Julio	4,580,920.55 kWh	1,620,378.93 kVARh	90,669.44 kVARh	155,433.32 kVARh	1,374,276.16 kVARh	30%
2020 - Agosto	4,912,343.71 kWh	1,721,501.87 kVARh	91,294.28 kVARh	156,504.48 kVARh	1,473,703.11 kVARh	30%
2020 - Setiembre	4,682,715.78 kWh	1,669,367.15 kVARh	97,466.68 kVARh	167,085.74 kVARh	1,404,814.73 kVARh	30%

2020 - Octubre	4,810,333.08 kWh	1,719,347.73 kVARh	101,775.51 kVARh	174,472.30 kVARh	1,443,099.92 kVARh	30%
2020 - Noviembre	4,721,552.64 kWh	1,689,669.11 kVARh	100,653.85 kVARh	172,549.46 kVARh	1,416,465.79 kVARh	30%
2020 - Diciembre	4,889,626.61 kWh	1,734,206.50 kVARh	98,485.77 kVARh	168,832.75 kVARh	1,466,887.98 kVARh	30%
2021 - Enero	4,756,214.24 kWh	1,662,915.84 kVARh	86,966.37 kVARh	149,085.20 kVARh	1,426,864.27 kVARh	30%
2021 - Febrero	4,230,943.45 kWh	1,505,917.80 kVARh	87,181.23 kVARh	149,453.54 kVARh	1,269,283.04 kVARh	30%
2021 - Marzo	4,786,393.98 kWh	1,676,333.02 kVARh	88,573.88 kVARh	151,840.94 kVARh	1,435,918.20 kVARh	30%
2021 - Abril	4,720,190.23 kWh	1,650,563.41 kVARh	86,397.07 kVARh	148,109.27 kVARh	1,416,057.07 kVARh	30%
2021 - Mayo	4,732,994.31 kWh	1,659,310.13 kVARh	88,204.36 kVARh	151,207.48 kVARh	1,419,898.29 kVARh	30%
2021 - Junio	4,423,104.31 kWh	1,591,612.63 kVARh	97,514.18 kVARh	167,167.16 kVARh	1,326,931.29 kVARh	30%
2021 - Julio	4,809,966.57 kWh	1,701,397.87 kVARh	95,202.91 kVARh	163,204.99 kVARh	1,442,989.97 kVARh	30%
2021 - Agosto	5,157,960.90 kWh	1,807,576.97 kVARh	95,858.99 kVARh	164,329.70 kVARh	1,547,388.27 kVARh	30%
2021 - Setiembre	4,916,851.57 kWh	1,752,835.51 kVARh	102,340.01 kVARh	175,440.03 kVARh	1,475,055.47 kVARh	30%
2021 - Octubre	5,050,849.74 kWh	1,805,315.11 kVARh	106,864.28 kVARh	183,195.91 kVARh	1,515,254.92 kVARh	30%
2021 - Noviembre	4,957,630.28 kWh	1,774,152.56 kVARh	105,686.55 kVARh	181,176.94 kVARh	1,487,289.08 kVARh	30%
2021 - Diciembre	5,134,107.94 kWh	1,820,916.83 kVARh	103,410.06 kVARh	177,274.39 kVARh	1,540,232.38 kVARh	30%
2022 - Enero	4,994,024.95 kWh	1,746,061.63 kVARh	91,314.68 kVARh	156,539.46 kVARh	1,498,207.49 kVARh	30%
2022 - Febrero	4,442,490.62 kWh	1,581,213.69 kVARh	91,540.29 kVARh	156,926.21 kVARh	1,332,747.19 kVARh	30%
2022 - Marzo	5,025,713.68 kWh	1,760,149.67 kVARh	93,002.58 kVARh	159,432.99 kVARh	1,507,714.11 kVARh	30%
2022 - Abril	4,956,199.74 kWh	1,733,091.58 kVARh	90,716.93 kVARh	155,514.73 kVARh	1,486,859.92 kVARh	30%
2022 - Mayo	4,969,644.03 kWh	1,742,275.64 kVARh	92,614.58 kVARh	158,767.85 kVARh	1,490,893.21 kVARh	30%
2022 - Junio	4,644,259.53 kWh	1,671,193.27 kVARh	102,389.89 kVARh	175,525.52 kVARh	1,393,277.86 kVARh	30%
2022 - Julio	5,050,464.90 kWh	1,786,467.77 kVARh	99,963.06 kVARh	171,365.24 kVARh	1,515,139.47 kVARh	30%
2022 - Agosto	5,415,858.94 kWh	1,897,955.81 kVARh	100,651.94 kVARh	172,546.19 kVARh	1,624,757.68 kVARh	30%
2022 - Setiembre	5,162,694.14 kWh	1,840,477.29 kVARh	107,457.02 kVARh	184,212.03 kVARh	1,548,808.24 kVARh	30%
2022 - Octubre	5,303,392.22 kWh	1,895,580.87 kVARh	112,207.50 kVARh	192,355.71 kVARh	1,591,017.67 kVARh	30%
2022 - Noviembre	5,205,511.79 kWh	1,862,860.19 kVARh	110,970.87 kVARh	190,235.78 kVARh	1,561,653.54 kVARh	30%
2022 - Diciembre	5,390,813.34 kWh	1,911,962.67 kVARh	108,580.56 kVARh	186,138.11 kVARh	1,617,244.00 kVARh	30%
2023 - Enero	5,243,726.20 kWh	1,833,364.71 kVARh	95,880.42 kVARh	164,366.43 kVARh	1,573,117.86 kVARh	30%

2023 - Febrero	4,664,615.16 kWh	1,660,274.38 kVARh	96,117.31 kVARh	164,772.53 kVARh	1,399,384.55 kVARh	30%
2023 - Marzo	5,276,999.37 kWh	1,848,157.15 kVARh	97,652.71 kVARh	167,404.64 kVARh	1,583,099.81 kVARh	30%
2023 - Abril	5,204,009.73 kWh	1,819,746.16 kVARh	95,252.77 kVARh	163,290.47 kVARh	1,561,202.92 kVARh	30%
2023 - Mayo	5,218,126.23 kWh	1,829,389.42 kVARh	97,245.31 kVARh	166,706.24 kVARh	1,565,437.87 kVARh	30%
2023 - Junio	4,876,472.51 kWh	1,754,752.93 kVARh	107,509.38 kVARh	184,301.80 kVARh	1,462,941.75 kVARh	30%
2023 - Julio	5,302,988.15 kWh	1,875,791.15 kVARh	104,961.21 kVARh	179,933.50 kVARh	1,590,896.44 kVARh	30%
2023 - Agosto	5,686,651.89 kWh	1,992,853.61 kVARh	105,684.54 kVARh	181,173.50 kVARh	1,705,995.57 kVARh	30%
2023 - Setiembre	5,420,828.85 kWh	1,932,501.15 kVARh	112,829.87 kVARh	193,422.63 kVARh	1,626,248.66 kVARh	30%
2023 - Octubre	5,568,561.84 kWh	1,990,359.91 kVARh	117,817.87 kVARh	201,973.49 kVARh	1,670,568.55 kVARh	30%
2023 - Noviembre	5,465,787.38 kWh	1,956,003.20 kVARh	116,519.42 kVARh	199,747.57 kVARh	1,639,736.21 kVARh	30%
2023 - Diciembre	5,660,354.00 kWh	2,007,560.80 kVARh	114,009.59 kVARh	195,445.01 kVARh	1,698,106.20 kVARh	30%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con la presente tabla se puede notar que nuestro porcentaje facturable no excede con el 30% como indica la norma, esto sucedió gracias a la presencia de los bancos de condensadores de cada subestación (Bolívar y San Jerónimo), esos valores indicados por cada subestación, son valores aproximados, ya que como se explicaron líneas arriba en el marco teórico, el sistema eléctrico siempre es variable, no se puede decir que es un valor constante, muestra de eso son las lecturas realizadas por los analizadores de redes.

4.1.6. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO

Una de las fases más importantes para la presente investigación, es realizar un estudio de viabilidad, con el propósito de analizar si su puesta en marcha es factible o no. Sin embargo, la eficacia de la investigación dependerá de si se han tenido en cuenta todos los factores que intervienen en el proceso y que pueden suponer un grave riesgo para el éxito del mismo.

En el estudio económico y financiero de la presente investigación se debe tener en cuenta que la empresa Catalina Huanca, se hará cargo del 50% de inversión, mientras que el 50% restante será mediante un financiamiento de una entidad bancaria.

El estudio económico y financiero de la presente investigación es uno de los pasos claves para identificar la viabilidad de esta, para esto se realizará un análisis con el método del VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno).

4.1.6.1. Valor actual neto a precios de mercado

“El valor actual neto a precios de mercado (VAN_p) es una medida de la rentabilidad del proyecto de inversión pública, que permite estimar cual es el beneficio o el costo que representa cada proyecto alternativo para la institución ejecutora, financieramente y a precios de mercado”. [28]

Para el cálculo del VAN_p se tiene la siguiente ecuación.

Ecuación 13: Fórmula para el cálculo del VAN_p

$$VAN_p = \sum_{t=0}^n \frac{FCP_t}{(1+i)^t}$$

Fuente: COLLAZOS CERRON, 2013

Donde:

VAN_p = Es el valor actual neto a precios de mercado.

FCP_t = Es el flujo de costos y beneficios a precios de mercado del periodo t.

n = Es el horizonte de evaluación del proyecto

i = Es la tasa de descuento (TD). Dado que se propone hacer una evaluación económica a precios de mercado, esta tasa no necesariamente será igual que la tasa social de descuento (TSD). Sin embargo a la dificultad para el cálculo de la primera, se sugiere utilizar esta última tasa para descontar los flujos a precios de mercado.

La razón por la que se utiliza el VAN_p es porque todos los ingresos y egresos futuros se transforman a valores monetarios de hoy, y de esa manera se puede llegar a analizar si los ingresos son mayores que los egresos.

“La aceptación o rechazo de un proyecto depende directamente de la tasa de descuento que se utilice. Por lo general, el VAN_p disminuye a medida que aumenta la tasa de interés.” [30]

Algo en tener en consideración al usar la metodología del VAN_p es que se calcule con una tasa de descuento superior a la tasa de interés de oportunidad (TIO), con la finalidad de tener un margen de seguridad para cubrir algunos riesgos, como liquidez, inflaciones o desviaciones no previstas.

“El VAN_p es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia.” [30]

Existen tres posibilidades que llegara a tener el VAN_p.

- $VAN_p > 0$; el proyecto es rentable.
- $VAN_p = 0$; el proyecto es rentable, siempre que la TIR sea superior al costo del capital.
- $VAN_p < 0$; el proyecto no es rentable.

4.1.6.2. Tasa interna de retorno

“Este método consiste en encontrar una tasa de interés en la cual se cumplan las condiciones buscadas en el momento de iniciar o aceptar un proyecto de inversión.” [28]

Como ventaja principal frente a otras metodologías es la de poder eliminar el cálculo de la tasa de interés de oportunidad (TIO).

La TIR es la tasa que está ganando un interés sobre el saldo no recuperado de la inversión en cualquier momento de la duración del proyecto.

La TIR viene a ser la tasa de interés, de actualización o de descuento que hace que el VAN sea cero, dicho de otro modo, es aquella tasa de descuento que iguala el valor actual de los egresos (inversión inicial) con el valor actual de los ingresos (flujos netos de caja), durante la vida útil del proyecto de inversión.

Los criterios a tomar en cuenta para las decisiones de aceptación o rechazo del proyecto, cuando se emplea la TIR, es el siguiente:

- $TIR \geq 0$; costo del capital; aceptar el proyecto.
- $TIR < 0$; costo del capital; rechazar el proyecto.

4.1.6.3. Análisis del estudio económico – financiero.

a. Proyección ingresos e inversiones

Tabla 35: Proyección de ahorros por las penalidades por exceso de energía reactiva

Proyección de ahorros por las penalidades por exceso de energía reactiva						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Penalidad a pagar por el exceso de energía reactiva	S/0.00	S/119,837.67	S/125,829.56	S/132,121.04	S/138,727.09	S/145,663.43

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 36: Inversiones fijas del sistema de compensación reactiva

Inversiones fijas						
Descripción	Cantidad	Costo Unit.	Inversión (S/.)	% Dep. Anual	Valor de liquidación (S/.)	Vida Útil (Años)
Banco de capacitores automático de 4.16 kV; 2 pasos; 0.35/0.7 MVAR; 60 Hz	1.00	S/97,500.00	S/97,500.00	5.00%	0	20
Banco de capacitores automático de 4.16 kV; 4 pasos; 0.35/1.4 MVAR; 60 Hz	1.00	S/135,000.00	S/135,000.00	5.00%	0	20
Cable unipolar N2XSY 3.6/6 kV - 50 mm2	135.00	S/29.31	S/3,957.29	3.33%	0	30
Terminal autocontraíble 3.6/6 kV para cable N2XSY 50 mm2, kit para las 3 fases	2.00	S/1,692.63	S/3,385.26	3.33%	0	30
Conductor de cobre desnudo recocido 70 mm2	20.00	S/26.21	S/524.14	3.33%	0	30
Conector simple para cable 70 mm2 a superficie plana metálica	4.00	S/34.28	S/137.12	3.33%	0	30
Soldadura exotérmica tipo "T"	2.00	S/36.70	S/73.40	3.33%	0	30
Molde para Soldadura en "T"	1.00	S/343.34	S/343.34	3.33%	0	30
Tubo de pvc - sap de 3/4"	3.00	S/5.70	S/17.10	3.33%	0	30
Accesorios para tubería pvc - sap	1.00	S/30.00	S/30.00	3.33%	0	30

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 37: Flujo de caja para la investigación

Inversiones diferidas			
Transporte de materiales	1.00	S/6,500.00	S/6,500.00
Montaje electromecánico	1.00	S/8,647.27	S/8,647.27
Gastos generales	10%	S/15,147.27	S/1,514.73

Fuente: Elaboración propia, 2019.

b. Estado de resultados y flujo de caja

Tabla 38: Estado de resultados del sistema de compensación reactiva

Proyección del estado de resultados						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Ventas		S/119,837.67	S/125,829.56	S/132,121.04	S/138,727.09	S/145,663.43
Costo fijo		0.00	-2,600.00	0.00	-2,600.00	0.00
Depreciación		-S/11,907.25	-S/11,907.25	-S/11,907.25	-S/11,907.25	-S/11,907.25
Utilidad imponible		S/107,930.42	S/111,322.31	S/120,213.79	S/124,219.84	S/133,756.18
Imp Renta		-S/32,379.12	-S/33,396.69	-S/36,064.14	-S/37,265.95	-S/40,126.85
Ut. Neta(*)		S/75,551.29	S/77,925.61	S/84,149.65	S/86,953.88	S/93,629.32

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 39: Flujo operativo del sistema de compensación reactiva

Flujo operativo						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Ingresos		S/119,837.67	S/125,829.56	S/132,121.04	S/138,727.09	S/145,663.43
Egresos		S/0.00	-S/2,600.00	S/0.00	-S/2,600.00	S/0.00
Imp. Renta		-S/32,379.12	-S/33,396.69	-S/36,064.14	-S/37,265.95	-S/40,126.85
Ut. Neta		S/87,458.55	S/89,832.87	S/96,056.90	S/98,861.14	S/105,536.58

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 40: Flujo de inversión del sistema de compensación reactiva

Flujo de inversiones						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Inversión	S/304,002.98					

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 41: Flujo económico

Flujo de caja económico						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Flujo económico	-S/304,002.98	S/87,458.55	S/89,832.87	S/96,056.90	S/98,861.14	S/105,536.58

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 42: Determinación del costo promedio ponderado del capital

Determinación del CPPC	
% Deuda	50.00%
% Patrimonio	50.00%
Costo de la deuda (TEA)	BIF 9.85%
Costo del capital	12.00%
Tasa impuesto	30.00%
WACC (CPPC)	9.45%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 43: Indicadores económicos

Indicadores Económicos	
VANE	S/60,265.09
TIRE	16.62%
B/C	1.20

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 44: Periodo de recuperación de la inversión sin financiamiento

Periodo de recuperación de la inversión						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Flujo neto	-S/304,002.98	S/87,458.55	S/89,832.87	S/96,056.90	S/98,861.14	S/105,536.58
Flujo neto descontado	-S/304,002.98	S/79,909.13	S/74,993.49	S/73,267.45	S/68,897.30	S/67,200.70
Flujo neto acumulado	-S/304,002.98	-S/224,093.85	-S/149,100.36	-S/75,832.91	-S/6,935.61	S/60,265.09

Periodo de Recuperación de la Inversión	4 AÑOS 2 MESES	4.10
--	-----------------------	------

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 45: Calculo de la cuota anual de la deuda

Calculo del calendario de la deuda	
Monto de la deuda	S/152,001.49
Costo de la deuda (TEA)	9.85%
Periodo de capitalización (años)	0.25
Horizonte de repago (años)	2
Monto capitalizado	S/155,613.71
Valor de cada cuota anual	S/89,482.69

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 46: Calendario de pago de la deuda

Calendario de pago de la deuda			
Periodo	0	1	2
Deuda	S/155,613.71	S/155,613.71	S/81,458.98
Cuota		-S/89,482.69	-S/89,482.69
Interés		-S/15,327.95	-S/8,023.71
Amortización		-S/74,154.73	-S/81,458.98
Saldo	S/155,613.71	S/81,458.98	S/0.00

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 47: Flujo de caja financiero

Flujo de caja financiero						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Flujo económico de caja	-S/304,002.98	S/87,458.55	S/89,832.87	S/96,056.90	S/98,861.14	S/105,536.58
(+) Deuda	S/152,001.49					
(-) Amortización		-S/74,154.73	-S/81,458.98	S/0.00	S/0.00	S/0.00
(-) Intereses		-S/15,327.95	-S/8,023.71	S/0.00	S/0.00	S/0.00
(+) Efecto financiero		S/4,598.39	S/2,407.11	S/0.00	S/0.00	S/0.00
FLUJO DE CAJA FINANCIERO	-S/152,001.49	S/2,574.25	S/2,757.30	S/96,056.90	S/98,861.14	S/105,536.58

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 48: Indicadores financieros

Indicadores Financieros	
VANF	S/43,578.78
TIRF	19.53%
B/C	1.29

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 49: Periodo de recuperación de la inversión con financiamiento

Periodo de recuperación de la inversión						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Flujo neto	-S/152,001.49	S/2,574.25	S/2,757.30	S/96,056.90	S/98,861.14	S/105,536.58
Flujo neto descontado	-S/152,001.49	S/2,298.43	S/2,198.10	S/68,371.41	S/62,828.04	S/59,884.29
Flujo neto acumulado	-S/152,001.49	-S/149,703.06	-S/147,504.96	-S/79,133.55	-S/16,305.51	S/43,578.78

Periodo de Recuperación de la Inversión	4 AÑOS 4 MESES	4.27
---	----------------	------

Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

H₀: La compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo **no tendrá una influencia positiva económica y técnicamente** al disminuir las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, porque la probabilidad de la prueba T para medias de dos muestras emparejadas es mayor al nivel de significancia del 5%.

H_a: La compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo **tendrá una influencia positiva económica y técnicamente** al disminuir las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, porque la probabilidad de la prueba T para medias de dos muestras emparejadas es menor al nivel de significancia del 5%.

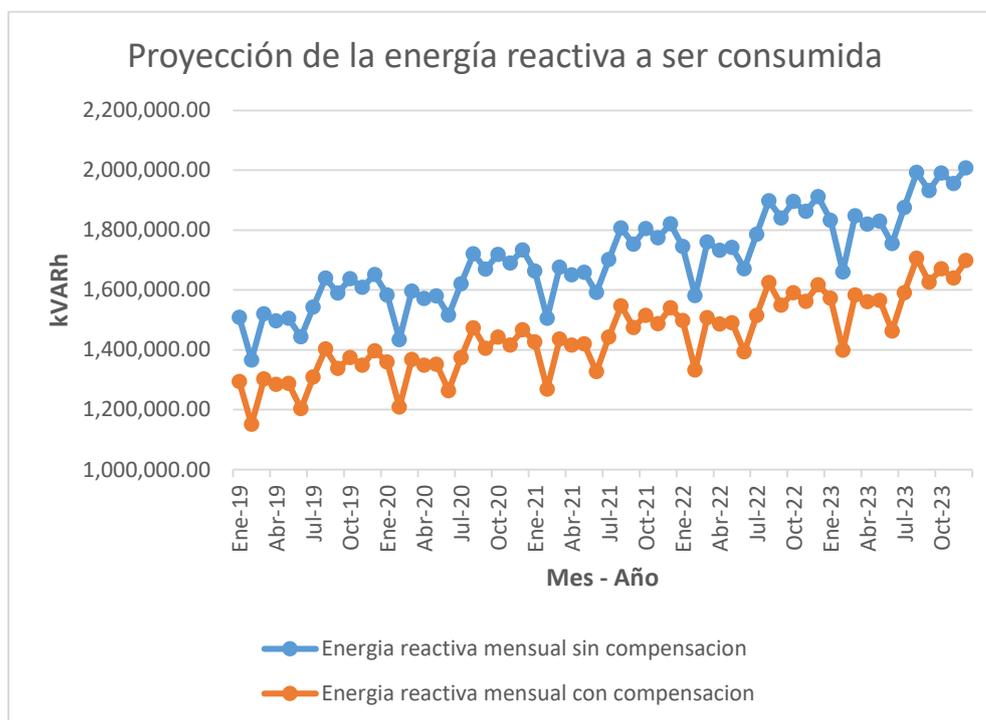
Tabla 50: Energía reactiva proyecta a ser consumida, sin compensación reactiva y con compensación reactiva.

Periodo	Energía reactiva mensual sin compensación	Energía reactiva mensual con compensación
Ene-19	1,508,313.68 kVARh	1,294,207.96 kVARh
Feb-19	1,365,911.84 kVARh	1,151,277.13 kVARh
Mar-19	1,520,483.46 kVARh	1,302,420.13 kVARh
Abr-19	1,497,109.67 kVARh	1,284,405.51 kVARh
May-19	1,505,043.20 kVARh	1,287,889.61 kVARh
Jun-19	1,443,639.58 kVARh	1,203,565.80 kVARh
Jul-19	1,543,218.03 kVARh	1,308,834.44 kVARh
Ago-19	1,639,525.59 kVARh	1,403,526.77 kVARh
Set-19	1,589,873.48 kVARh	1,337,918.79 kVARh
Oct-19	1,637,474.03 kVARh	1,374,380.88 kVARh
Nov-19	1,609,208.68 kVARh	1,349,015.04 kVARh
Dic-19	1,651,625.24 kVARh	1,397,036.17 kVARh
Ene-20	1,583,729.37 kVARh	1,358,918.35 kVARh
Feb-20	1,434,207.43 kVARh	1,208,840.99 kVARh
Mar-20	1,596,507.64 kVARh	1,367,541.14 kVARh
Abr-20	1,571,965.16 kVARh	1,348,625.78 kVARh
May-20	1,580,295.36 kVARh	1,352,284.09 kVARh
Jun-20	1,515,821.56 kVARh	1,263,744.09 kVARh
Jul-20	1,620,378.93 kVARh	1,374,276.16 kVARh

Ago-20	1,721,501.87	kVARh	1,473,703.11	kVARh
Set-20	1,669,367.15	kVARh	1,404,814.73	kVARh
Oct-20	1,719,347.73	kVARh	1,443,099.92	kVARh
Nov-20	1,689,669.11	kVARh	1,416,465.79	kVARh
Dic-20	1,734,206.50	kVARh	1,466,887.98	kVARh
Ene-21	1,662,915.84	kVARh	1,426,864.27	kVARh
Feb-21	1,505,917.80	kVARh	1,269,283.04	kVARh
Mar-21	1,676,333.02	kVARh	1,435,918.20	kVARh
Abr-21	1,650,563.41	kVARh	1,416,057.07	kVARh
May-21	1,659,310.13	kVARh	1,419,898.29	kVARh
Jun-21	1,591,612.63	kVARh	1,326,931.29	kVARh
Jul-21	1,701,397.87	kVARh	1,442,989.97	kVARh
Ago-21	1,807,576.97	kVARh	1,547,388.27	kVARh
Set-21	1,752,835.51	kVARh	1,475,055.47	kVARh
Oct-21	1,805,315.11	kVARh	1,515,254.92	kVARh
Nov-21	1,774,152.56	kVARh	1,487,289.08	kVARh
Dic-21	1,820,916.83	kVARh	1,540,232.38	kVARh
Ene-22	1,746,061.63	kVARh	1,498,207.49	kVARh
Feb-22	1,581,213.69	kVARh	1,332,747.19	kVARh
Mar-22	1,760,149.67	kVARh	1,507,714.11	kVARh
Abr-22	1,733,091.58	kVARh	1,486,859.92	kVARh
May-22	1,742,275.64	kVARh	1,490,893.21	kVARh
Jun-22	1,671,193.27	kVARh	1,393,277.86	kVARh
Jul-22	1,786,467.77	kVARh	1,515,139.47	kVARh
Ago-22	1,897,955.81	kVARh	1,624,757.68	kVARh
Set-22	1,840,477.29	kVARh	1,548,808.24	kVARh
Oct-22	1,895,580.87	kVARh	1,591,017.67	kVARh
Nov-22	1,862,860.19	kVARh	1,561,653.54	kVARh
Dic-22	1,911,962.67	kVARh	1,617,244.00	kVARh
Ene-23	1,833,364.71	kVARh	1,573,117.86	kVARh
Feb-23	1,660,274.38	kVARh	1,399,384.55	kVARh
Mar-23	1,848,157.15	kVARh	1,583,099.81	kVARh
Abr-23	1,819,746.16	kVARh	1,561,202.92	kVARh
May-23	1,829,389.42	kVARh	1,565,437.87	kVARh
Jun-23	1,754,752.93	kVARh	1,462,941.75	kVARh
Jul-23	1,875,791.15	kVARh	1,590,896.44	kVARh
Ago-23	1,992,853.61	kVARh	1,705,995.57	kVARh
Set-23	1,932,501.15	kVARh	1,626,248.66	kVARh
Oct-23	1,990,359.91	kVARh	1,670,568.55	kVARh
Nov-23	1,956,003.20	kVARh	1,639,736.21	kVARh
Dic-23	2,007,560.80	kVARh	1,698,106.20	kVARh

Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 30: Gráfica de probabilidad normal



Fuente: Análisis de datos Excel, 2019

Tabla 51: Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	1,704,788.6104	1,445,364.9901
Varianza	22,696,904,364.6170	16,413,291,897.4691
Observaciones	60.0000	60.0000
Coefficiente de correlación de Pearson	0.9938	
Diferencia hipotética de las medias	0.0000	
Grados de libertad	59.0000	
Estadístico t	73.4132	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.6711	
P(T<=t) dos colas	0.0000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.0010	

Fuente: Análisis de datos Excel, 2019

El P dos colas de la prueba es de 0.0000 el cual es evidentemente menor a alfa ($\alpha=0.05$), de tal forma se puede expresar de esta forma:

P dos colas < α

$0.000 < 0.05$

De tal forma se tomará las siguientes decisiones:

Decisión estadística:

Con la prueba t para medias de dos muestras emparejadas, se decide rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_a), debido a esto se concluye que la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo tendrá una influencia positiva económica y técnicamente al disminuir las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, porque la probabilidad de la prueba T para medias de dos muestras emparejadas es menor al nivel de significancia del 5% (nivel de significancia), según como indica la tabla N° 51.

Decisión económica:

En la presente investigación se concluye que la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo tendrá una influencia positiva económica y técnicamente al disminuir las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, debido que un sistema eléctrico estable, no generará pérdidas de energía, de este modo no se tendrá una facturación con penalidades referente al exceso de energía reactiva, emitidas por las autoridades competentes.

De esta manera se tendrá una mayor explicación en la hipótesis específica 1.

Decisión técnica:

- Con respecto a la decisión técnica, se logrará lo siguiente:
- Control de la caída de tensión
- Inexistencia de exceso de potencia reactiva.
- Mejoramiento en transmisión de energía.
- Mejoramiento de las máquinas eléctricas.
- Disminución de pérdidas de energía.

De esta manera algunas de estos beneficios serán corroboradas por las siguientes hipótesis específicas 2, 3 y 4.

4.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

4.2.2.1. Hipótesis específica 1

El nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva en la Empresa Minera Catalina Huanca, a través de la implementación de un sistema de compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo, Ayacucho – 2019, es alto.

Decisión económica:

Anteriormente el gasto por consumo de potencia reactiva anualmente con un registro de los años 2016 – 2018 era el siguiente: (ver tabla N°24)

- En el año 2016 = S/ 56,319.34
- En el año 2017 = S/ 47,796.14
- En el año 2018 = S/ 114,195.24

Ahora sin la implementación de los bancos de condensadores y proyectándose a 5 años (2019 – 2023) el gasto por consumo de potencia reactiva será de la siguiente manera:

- En el año 2019 = S/ 119,837.67
- En el año 2020 = S/ 125,829.56
- En el año 2021 = S/ 132,121.04
- En el año 2022 = S/ 138,727.09
- En el año 2023 = S/ 145,663.43

El sistema sin compensación reactiva nos generará una facturación por penalidad de un total de S/ 662,178.79 por los 5 años proyectados, por lo tanto, con la implementación de los bancos de condensadores y proyectándose a 5 años (2019 – 2023), el gasto total indicado anteriormente, se volverán en ingresos netos para la empresa.

Para demostrar que la facturación por exceso de energía reactiva será disminuida, se presentara la siguiente tabla:

Tabla 52: Comparación del sistema eléctrica sin compensación reactiva y con compensación reactiva, con respecto al porcentaje de facturación.

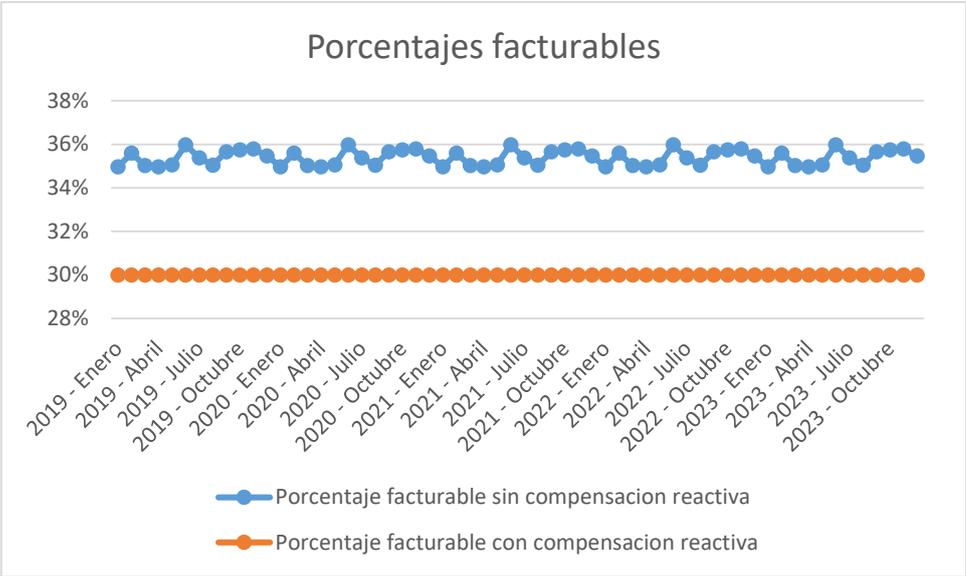
Periodo	Energía activa mensual		Sistema sin compensación reactiva				Sistema con compensación reactiva							
			Energía reactiva mensual		Porcentaje facturable	Penalidad a pagar por el exceso de energía reactiva	Banco de condensador - Bolívar		Banco de condensador - San Jerónimo		Energía reactiva mensual con compensación	Porcentaje facturable	Penalidad a pagar por el exceso de energía reactiva	
2019 - Enero	4,314,026.52	kWh	1,508,313.68	kVARh	35%	S/ 9,108.41	78,881.06	kVARh	135,224.67	kVARh	1,294,207.96	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Febrero	3,837,590.43	kWh	1,365,911.84	kVARh	36%	S/ 9,130.92	79,075.95	kVARh	135,558.76	kVARh	1,151,277.13	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Marzo	4,341,400.44	kWh	1,520,483.46	kVARh	35%	S/ 9,276.78	80,339.12	kVARh	137,724.21	kVARh	1,302,420.13	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Abril	4,281,351.69	kWh	1,497,109.67	kVARh	35%	S/ 9,048.79	78,364.69	kVARh	134,339.47	kVARh	1,284,405.51	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Mayo	4,292,965.36	kWh	1,505,043.20	kVARh	35%	S/ 9,238.08	80,003.96	kVARh	137,149.64	kVARh	1,287,889.61	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Junio	4,011,886.00	kWh	1,443,639.58	kVARh	36%	S/ 10,213.14	88,448.23	kVARh	151,625.54	kVARh	1,203,565.80	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Julio	4,362,781.47	kWh	1,543,218.03	kVARh	35%	S/ 9,971.07	86,351.85	kVARh	148,031.74	kVARh	1,308,834.44	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Agosto	4,678,422.58	kWh	1,639,525.59	kVARh	35%	S/ 10,039.78	86,946.93	kVARh	149,051.88	kVARh	1,403,526.77	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Setiembre	4,459,729.31	kWh	1,589,873.48	kVARh	36%	S/ 10,718.57	92,825.41	kVARh	159,129.27	kVARh	1,337,918.79	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Octubre	4,581,269.60	kWh	1,637,474.03	kVARh	36%	S/ 11,192.42	96,929.05	kVARh	166,164.09	kVARh	1,374,380.88	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Noviembre	4,496,716.80	kWh	1,609,208.68	kVARh	36%	S/ 11,069.07	95,860.81	kVARh	164,332.82	kVARh	1,349,015.04	kVARh	30%	S/ 0.00
2019 - Diciembre	4,656,787.25	kWh	1,651,625.24	kVARh	35%	S/ 10,830.64	93,795.97	kVARh	160,793.10	kVARh	1,397,036.17	kVARh	30%	S/ 0.00
2020 - Enero	4,529,727.85	kWh	1,583,729.37	kVARh	35%	S/ 9,563.84	82,825.11	kVARh	141,985.90	kVARh	1,358,918.35	kVARh	30%	S/ 0.00
2020 - Febrero	4,029,469.95	kWh	1,434,207.43	kVARh	36%	S/ 9,587.46	83,029.74	kVARh	142,336.70	kVARh	1,208,840.99	kVARh	30%	S/ 0.00
2020 - Marzo	4,558,470.46	kWh	1,596,507.64	kVARh	35%	S/ 9,740.62	84,356.08	kVARh	144,610.42	kVARh	1,367,541.14	kVARh	30%	S/ 0.00
2020 - Abril	4,495,419.27	kWh	1,571,965.16	kVARh	35%	S/ 9,501.23	82,282.93	kVARh	141,056.45	kVARh	1,348,625.78	kVARh	30%	S/ 0.00
2020 - Mayo	4,507,613.63	kWh	1,580,295.36	kVARh	35%	S/ 9,699.98	84,004.15	kVARh	144,007.12	kVARh	1,352,284.09	kVARh	30%	S/ 0.00
2020 - Junio	4,212,480.30	kWh	1,515,821.56	kVARh	36%	S/ 10,723.80	92,870.65	kVARh	159,206.82	kVARh	1,263,744.09	kVARh	30%	S/ 0.00

2020 - Julio	4,580,920.55	kWh	1,620,378.93	kVARh	35%	S/	10,469.62	90,669.44	kVARh	155,433.32	kVARh	1,374,276.16	kVARh	30%	S/	0.00
2020 - Agosto	4,912,343.71	kWh	1,721,501.87	kVARh	35%	S/	10,541.77	91,294.28	kVARh	156,504.48	kVARh	1,473,703.11	kVARh	30%	S/	0.00
2020 - Setiembre	4,682,715.78	kWh	1,669,367.15	kVARh	36%	S/	11,254.50	97,466.68	kVARh	167,085.74	kVARh	1,404,814.73	kVARh	30%	S/	0.00
2020 - Octubre	4,810,333.08	kWh	1,719,347.73	kVARh	36%	S/	11,752.04	101,775.51	kVARh	174,472.30	kVARh	1,443,099.92	kVARh	30%	S/	0.00
2020 - Noviembre	4,721,552.64	kWh	1,689,669.11	kVARh	36%	S/	11,622.52	100,653.85	kVARh	172,549.46	kVARh	1,416,465.79	kVARh	30%	S/	0.00
2020 - Diciembre	4,889,626.61	kWh	1,734,206.50	kVARh	35%	S/	11,372.18	98,485.77	kVARh	168,832.75	kVARh	1,466,887.98	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Enero	4,756,214.24	kWh	1,662,915.84	kVARh	35%	S/	10,042.03	86,966.37	kVARh	149,085.20	kVARh	1,426,864.27	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Febrero	4,230,943.45	kWh	1,505,917.80	kVARh	36%	S/	10,066.84	87,181.23	kVARh	149,453.54	kVARh	1,269,283.04	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Marzo	4,786,393.98	kWh	1,676,333.02	kVARh	35%	S/	10,227.65	88,573.88	kVARh	151,840.94	kVARh	1,435,918.20	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Abril	4,720,190.23	kWh	1,650,563.41	kVARh	35%	S/	9,976.29	86,397.07	kVARh	148,109.27	kVARh	1,416,057.07	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Mayo	4,732,994.31	kWh	1,659,310.13	kVARh	35%	S/	10,184.98	88,204.36	kVARh	151,207.48	kVARh	1,419,898.29	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Junio	4,423,104.31	kWh	1,591,612.63	kVARh	36%	S/	11,259.99	97,514.18	kVARh	167,167.16	kVARh	1,326,931.29	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Julio	4,809,966.57	kWh	1,701,397.87	kVARh	35%	S/	10,993.10	95,202.91	kVARh	163,204.99	kVARh	1,442,989.97	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Agosto	5,157,960.90	kWh	1,807,576.97	kVARh	35%	S/	11,068.86	95,858.99	kVARh	164,329.70	kVARh	1,547,388.27	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Setiembre	4,916,851.57	kWh	1,752,835.51	kVARh	36%	S/	11,817.23	102,340.01	kVARh	175,440.03	kVARh	1,475,055.47	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Octubre	5,050,849.74	kWh	1,805,315.11	kVARh	36%	S/	12,339.64	106,864.28	kVARh	183,195.91	kVARh	1,515,254.92	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Noviembre	4,957,630.28	kWh	1,774,152.56	kVARh	36%	S/	12,203.65	105,686.55	kVARh	181,176.94	kVARh	1,487,289.08	kVARh	30%	S/	0.00
2021 - Diciembre	5,134,107.94	kWh	1,820,916.83	kVARh	35%	S/	11,940.78	103,410.06	kVARh	177,274.39	kVARh	1,540,232.38	kVARh	30%	S/	0.00
2022 - Enero	4,994,024.95	kWh	1,746,061.63	kVARh	35%	S/	10,544.13	91,314.68	kVARh	156,539.46	kVARh	1,498,207.49	kVARh	30%	S/	0.00
2022 - Febrero	4,442,490.62	kWh	1,581,213.69	kVARh	36%	S/	10,570.18	91,540.29	kVARh	156,926.21	kVARh	1,332,747.19	kVARh	30%	S/	0.00
2022 - Marzo	5,025,713.68	kWh	1,760,149.67	kVARh	35%	S/	10,739.03	93,002.58	kVARh	159,432.99	kVARh	1,507,714.11	kVARh	30%	S/	0.00
2022 - Abril	4,956,199.74	kWh	1,733,091.58	kVARh	35%	S/	10,475.11	90,716.93	kVARh	155,514.73	kVARh	1,486,859.92	kVARh	30%	S/	0.00
2022 - Mayo	4,969,644.03	kWh	1,742,275.64	kVARh	35%	S/	10,694.23	92,614.58	kVARh	158,767.85	kVARh	1,490,893.21	kVARh	30%	S/	0.00
2022 - Junio	4,644,259.53	kWh	1,671,193.27	kVARh	36%	S/	11,822.98	102,389.89	kVARh	175,525.52	kVARh	1,393,277.86	kVARh	30%	S/	0.00
2022 - Julio	5,050,464.90	kWh	1,786,467.77	kVARh	35%	S/	11,542.76	99,963.06	kVARh	171,365.24	kVARh	1,515,139.47	kVARh	30%	S/	0.00
2022 - Agosto	5,415,858.94	kWh	1,897,955.81	kVARh	35%	S/	11,622.30	100,651.94	kVARh	172,546.19	kVARh	1,624,757.68	kVARh	30%	S/	0.00

2022 - Setiembre	5,162,694.14	kWh	1,840,477.29	kVARh	36%	S/	12,408.09	107,457.0 ₂	kVARh	184,212.03	kVARh	1,548,808.2 ₄	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2022 - Octubre	5,303,392.22	kWh	1,895,580.87	kVARh	36%	S/	12,956.63	112,207.5 ₀	kVARh	192,355.71	kVARh	1,591,017.6 ₇	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2022 - Noviembre	5,205,511.79	kWh	1,862,860.19	kVARh	36%	S/	12,813.83	110,970.8 ₇	kVARh	190,235.78	kVARh	1,561,653.5 ₄	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2022 - Diciembre	5,390,813.34	kWh	1,911,962.67	kVARh	35%	S/	12,537.82	108,580.5 ₆	kVARh	186,138.11	kVARh	1,617,244.0 ₀	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Enero	5,243,726.20	kWh	1,833,364.71	kVARh	35%	S/	11,071.33	95,880.42	kVARh	164,366.43	kVARh	1,573,117.8 ₆	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Febrero	4,664,615.16	kWh	1,660,274.38	kVARh	36%	S/	11,098.69	96,117.31	kVARh	164,772.53	kVARh	1,399,384.5 ₅	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Marzo	5,276,999.37	kWh	1,848,157.15	kVARh	35%	S/	11,275.98	97,652.71	kVARh	167,404.64	kVARh	1,583,099.8 ₁	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Abril	5,204,009.73	kWh	1,819,746.16	kVARh	35%	S/	10,998.86	95,252.77	kVARh	163,290.47	kVARh	1,561,202.9 ₂	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Mayo	5,218,126.23	kWh	1,829,389.42	kVARh	35%	S/	11,228.94	97,245.31	kVARh	166,706.24	kVARh	1,565,437.8 ₇	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Junio	4,876,472.51	kWh	1,754,752.93	kVARh	36%	S/	12,414.13	107,509.3 ₈	kVARh	184,301.80	kVARh	1,462,941.7 ₅	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Julio	5,302,988.15	kWh	1,875,791.15	kVARh	35%	S/	12,119.90	104,961.2 ₁	kVARh	179,933.50	kVARh	1,590,896.4 ₄	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Agosto	5,686,651.89	kWh	1,992,853.61	kVARh	35%	S/	12,203.42	105,684.5 ₄	kVARh	181,173.50	kVARh	1,705,995.5 ₇	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Setiembre	5,420,828.85	kWh	1,932,501.15	kVARh	36%	S/	13,028.49	112,829.8 ₇	kVARh	193,422.63	kVARh	1,626,248.6 ₆	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Octubre	5,568,561.84	kWh	1,990,359.91	kVARh	36%	S/	13,604.46	117,817.8 ₇	kVARh	201,973.49	kVARh	1,670,568.5 ₅	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Noviembre	5,465,787.38	kWh	1,956,003.20	kVARh	36%	S/	13,454.52	116,519.4 ₂	kVARh	199,747.57	kVARh	1,639,736.2 ₁	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
2023 - Diciembre	5,660,354.00	kWh	2,007,560.80	kVARh	35%	S/	13,164.71	114,009.5 ₉	kVARh	195,445.01	kVARh	1,698,106.2 ₀	kVARh	30%	S/	0.0 ₀
					Penalidad pagada de los 5 años sin compensación reactiva	S/	662,178.7₉						Penalidad pagada de los 5 años con compensación reactiva	S/	0.0₀	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 31: Porcentajes facturables



Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 53: Nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva.

Ítem	Rango del porcentaje facturable	Nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva
1	$0 \leq x \leq 30$	Alto
2	$30.5 \leq x \leq 32.5$	Medio
3	$33 \leq x$	Bajo

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Decisión estadística:

Se concluye que el nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva en la Empresa Minera Catalina Huanca, a través de la implementación de un sistema de compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo, Ayacucho – 2019, es alto, debido que no existirá un exceso de energía reactiva, dicho de otra forma, no se llegará a sobre pasar del 30% como indica la norma de opciones

tarifarias del Perú, disminuyendo la penalización por exceso de energía reactiva.

4.2.2.2. Hipótesis específica 2

La caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca, es la adecuada para su correcta operación.

Decisión:

En la presente descripción se tendrá en cuenta dos casos: sin compensación reactiva y con compensación reactiva, con el fin de poder comparar los dos escenarios y demostrar la mejora al sistema eléctrico de la empresa. Estos casos serán en el año 2018 en estiaje.

Tabla 54: Caídas de tensión en barras 2018- estiaje, sin compensación reactiva

Caídas de tensión en barras 2018 - estiaje, sin compensación reactiva										
Subestación	Tensión de entrada o salida	Tensión de Operación (kV)	Tensión (kV)						Tolerancia según NTCSE (kV)	
			En máxima demanda	ΔV Max. (%)	En promedio de demanda	ΔV Prom. (%)	En mínima demanda	ΔV Min. (%)		
Chilcayoc	Llegada	60.00	55.442	-7.597	56.470	-5.883	57.078	-4.870	[63 - 57]	
	Salida	35.00	32.732	-6.480	33.481	-4.340	34.642	-1.023	[36.75 - 33.25]	
San Jerónimo	Llegada	33.00	28.633	-13.233	30.248	-8.339	30.841	-6.542	[34.65 - 31.35]	
	Salida	4.16	3.934	-5.433	3.894	-6.394	3.876	-6.827	[4.368 - 3.952]	
Bolívar	Barra A y B	Llegada	33.00	32.21	-2.394	33.379	1.148	32.721	-0.845	[34.65 - 31.35]
	Barra A	Salida	4.16	4.147	-0.312	4.304	3.462	4.206	1.106	[4.368 - 3.952]
	Barra B	Salida	4.16	3.917	-5.841	3.901	-6.226	3.892	-6.442	[4.368 - 3.952]

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 55: Caídas de tensión en barras 2018- estiaje, con compensación reactiva

Caídas de tensión en barras 2018 - estiaje, con compensación reactiva										
Subestación	Tensión de entrada o salida	Tensión de Operación (kV)	Tensión (kV)					Tolerancia según NTCSE (kV)		
			En máxima demanda	ΔV Max. (%)	En promedio de demanda	ΔV Prom. (%)	En mínima demanda		ΔV Min. (%)	
Chilcayoc	Llegada	60.00	57.941	-3.432	57.834	-3.610	57.540	-4.100	[63 - 57]	
	Salida	35.00	35.277	0.791	35.195	0.557	34.329	-1.917	[36.75 - 33.25]	
San Jerónimo	Llegada	33.00	32.261	-2.239	32.221	-2.361	31.944	-3.200	[34.65 - 31.35]	
	Salida	4.16	4.236	1.827	4.295	3.245	4.275	2.764	[4.368 - 3.952]	
Bolívar	Barra A y B	Llegada	33.00	33.519	1.573	33.717	2.173	34.274	3.861	[34.65 - 31.35]
	Barra A	Salida	4.16	4.319	3.822	4.351	4.591	4.302	3.413	[4.368 - 3.952]
	Barra B	Salida	4.16	4.328	4.038	4.309	3.582	4.296	3.269	[4.368 - 3.952]

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tener en cuenta que las tablas N° 54 y 55, presentan datos otorgados por el programa DigSILENT, excepto el cálculo de caída de tensión (ΔV), que se calculó con la ecuación N°9 (Formula para el indicador de calidad de tensión).

Se concluye que los niveles de tensión sin compensación reactiva en las presentes subestaciones, entregarán una mala calidad de tensión, debido que no encuentra en la tolerancia indicada en la NTCSE. Por tanto, un sistema con compensación reactiva mejorará los niveles de tensión, estos perteneciendo a las tolerancias indicadas en la NTCSE. Esta tolerancia es del $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales.

De esta manera la caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca, es la adecuada para su correcta operación.

4.2.2.3. Hipótesis específica 3

El porcentaje estimado que disminuye de cargabilidad de los transformadores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 3.96% y 10.25% respectivamente, en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.

Decisión:

Se cuenta con dos subestaciones (Bolívar y San Jerónimo), la subestación Bolívar cuenta con dos transformadores y la subestación San Jerónimo solo cuenta con un transformador.

Tabla 56: Transformadores de potencia de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo

Subestación	Transformador
Bolívar	Transformador "A" 3.5 MVA
	Transformador "B" 3.5 MVA
San Jerónimo	Transformador 4.5 MVA

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El transformador "A" cuenta con su banco de condensadores, debido a esto se encuentra estable, ya demostrado en los ítems anteriores, por esta razón en análisis se realizará en los transformadores "B" de Bolívar y el San Jerónimo, tener en cuenta que las tablas N° 57, 58, 59 y 60, presentan datos otorgados por el programa DigSILENT, excepto la potencia aparente "S", esta fue analizado mediante la ecuación N°3: fórmula para la potencia aparente.

Tabla 57: Potencia total de salida del Transformador "B" SET Bolívar 2018 - estiaje, sin compensación reactiva

Potencia total de salida del Transformador "B" SET Bolívar 2018 - estiaje, sin compensación reactiva				
Ítem	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	S (MVA)
1	Estiaje máxima demanda - 2018	1,596.81	648.92	1.72
2	Estiaje media demanda - 2018	1,573.34	781.71	1.76
3	Estiaje mínima demanda - 2018	2,045.63	805.72	2.20

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 58: Potencia total de salida del Transformador "B" SET Bolívar 2018 - estiaje, con compensación reactiva

Potencia total de salida del Transformador "B" SET Bolívar 2018 - estiaje, con compensación reactiva				
Item	ESCENARIO DE OPERACIÓN	Q (kVAr)	P (kW)	S (MVA)
1	Estiaje máxima demanda - 2018	1,591.20	-59.46	1.59
2	Estiaje media demanda - 2018	1,571.33	433.79	1.63
3	Estiaje mínima demanda - 2018	2,038.69	96.26	2.04

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 59: Potencia total de salida del Transformador SET San Jerónimo 2018 - estiaje, sin compensación reactiva

Potencia total de salida del Transformador SET San Jerónimo 2018 - estiaje, sin compensación reactiva				
Item	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	S (MVA)
1	Estiaje máxima demanda - 2018	4,491.49	2,156.37	4.98
2	Estiaje media demanda - 2018	3,869.18	2,127.66	4.42
3	Estiaje mínima demanda - 2018	4,434.19	2,394.61	5.04

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 60: Potencia total de salida del Transformador SET San Jerónimo 2018 - estiaje, con compensación reactiva

Potencia total de salida del Transformador SET San Jerónimo 2018 - estiaje, con compensación reactiva				
Item	ESCENARIO DE OPERACIÓN	P (kW)	Q (kVAr)	S (MVA)
1	Estiaje máxima demanda - 2018	4,362.62	1,020.58	4.48
2	Estiaje media demanda - 2018	3,868.39	1,020.77	4.00
3	Estiaje mínima demanda - 2018	4,432.43	1,125.23	4.57

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla N° 61, se muestra que el porcentaje promedio sin compensación reactiva es de 54.09%, mientras que el porcentaje promedio con compensación reactiva es de 50.13%, donde podemos concluir que el porcentaje de cargabilidad que se reduce en la potencia en el transformador "B" de la subestación Bolívar en 3.96% (54.09% - 50.13%).

Tabla 61: Cargabilidad del transformador "B" SET Bolívar, sin compensación reactiva y con compensación reactiva

Transformador "B" SET Bolívar									
Ítem	ESCENARIO DE OPERACIÓN	Potencia aparente (S) del transformador		Potencia aparente (S) sin compensación			Potencia aparente (S) con compensación		
		MVA	%	MVA	%	% promedio	MVA	%	% promedio
1	Estiaje máxima demanda - 2018	3.50	100.00	1.72	49.25	54.09	1.59	45.49	50.13
2	Estiaje media demanda - 2018	3.50	100.00	1.76	50.20		1.63	46.57	
3	Estiaje mínima demanda - 2018	3.50	100.00	2.20	62.82		2.04	58.31	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla N° 62, se muestra que el porcentaje promedio sin compensación reactiva es de 106.94%, mientras que el porcentaje promedio con compensación reactiva es de 96.70%, donde podemos

concluir que el porcentaje de cargabilidad que se reduce en la potencia en el transformador de la subestación San Jerónimo en 10.25% (106.94% - 96.70%).

Tabla 62: Cargabilidad del transformador SET San Jerónimo, sin compensación reactiva y con compensación reactiva.

Transformador SET San Jerónimo									
Ítem	ESCENARIO DE OPERACIÓN	Potencia aparente (S) del transformador		Potencia aparente (S) sin compensación			Potencia aparente (S) con compensación		
		MVA	%	MVA	%	% promedio	MVA	%	% promedio
1	Estiaje máxima demanda - 2018	4.50	100.00	4.98	110.72	106.94	4.48	99.56	96.70
2	Estiaje media demanda - 2018	4.50	100.00	4.42	98.12		4.00	88.91	
3	Estiaje mínima demanda - 2018	4.50	100.00	5.04	111.99		4.57	101.62	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Por lo tanto, el porcentaje estimado que disminuye de cargabilidad de los transformadores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 3.96% y 10.25% respectivamente, en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.

4.2.2.4. Hipótesis específica 4

El porcentaje estimado que disminuye en pérdidas en los conductores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 13.48% y 16.51% respectivamente, en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.

Decisión:

Se considera como muestra los recorridos de las subestaciones San Jerónimo y Bolívar. El análisis se desarrollará en el escenario de estiaje 2018 en máxima, media y mínima demanda, Tener en cuenta que las tablas del N° 63 al N° 66, presentan datos otorgados por el programa DigSILENT, a excepción del análisis porcentual y promedio.

Tabla 63: Pérdidas en el conductor con el Sistema sin compensación reactiva del tramo Chilcayoc – Bolívar

Sistema sin compensación reactiva del tramo Chilcayoc - Bolívar						
Ítem	ESCENARIO DE OPERACIÓN	Tramo I de 33 km, 95 mm ²	Tramo II de 0.12 km, 95 mm ²	Pérdida totales de potencia (Pp)	Promedio de las pérdidas de potencia	
		Pérdida de potencia (Pp)	Pérdida de potencia (Pp)		kW	%
1	Estiaje máxima demanda - 2018	622.15 kW	4.99 kW	627.14 kW	563.34	100.00
2	Estiaje media demanda - 2018	464.71 kW	4.93 kW	469.64 kW		
3	Estiaje mínima demanda - 2018	586.96 kW	6.29 kW	593.25 kW		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 64: Pérdidas en el conductor con el Sistema con compensación reactiva del tramo Chilcayoc – Bolívar

Sistema con compensación reactiva del tramo Chilcayoc - Bolívar						
Ítem	ESCENARIO DE OPERACIÓN	Tramo I de 33 km, 95 mm ²	Tramo II de 0.12 km, 95 mm ²	Pérdida totales de potencia (Pp)	Promedio de las pérdidas de potencia	
		Pérdida de potencia (Pp)	Pérdida de potencia (Pp)		kW	%
1	Estiaje máxima demanda - 2018	453.00 kW	4.59 kW	457.59 kW	487.40	86.52
2	Estiaje media demanda - 2018	418.55 kW	4.72 kW	423.27 kW		
3	Estiaje mínima demanda - 2018	575.67 kW	5.68 kW	581.35 kW		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 65: Pérdidas en el conductor con el Sistema sin compensación reactiva del tramo Chilcayoc - San Jerónimo

Sistema sin compensación reactiva del tramo Chilcayoc - San Jerónimo						
Ítem	ESCENARIO DE OPERACIÓN	Tramo I de 33 km, 95 mm ²	Tramo II de 8.5 km, 70 mm ²	Pérdida totales de potencia (Pp)	Promedio de las pérdidas de potencia	
		Pérdida de potencia (Pp)	Pérdida de potencia (Pp)		kW	%
1	Estiaje máxima demanda - 2018	622.15 kW	137.32 kW	759.47 kW	675.69	100.00
2	Estiaje media demanda - 2018	464.71 kW	95.11 kW	559.82 kW		
3	Estiaje mínima demanda - 2018	586.96 kW	120.82 kW	707.78 kW		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 66: Pérdidas en el conductor con el Sistema con compensación reactiva del tramo Chilcayoc - San Jerónimo

Sistema con compensación reactiva del tramo Chilcayoc - San Jerónimo						
Ítem	ESCENARIO DE OPERACIÓN	Tramo I de 33 km, 95 mm ²	Tramo II de 8.5 km, 70 mm ²	Pérdida totales de potencia (Pp)	Promedio de las pérdidas de potencia	
		Pérdida de potencia (Pp)	Pérdida de potencia (Pp)		kW	%
1	Estiaje máxima demanda - 2018	453.00 kW	83.47 kW	536.47 kW	564.14	83.49
2	Estiaje media demanda - 2018	418.55 kW	66.45 kW	485.00 kW		
3	Estiaje mínima demanda - 2018	575.67 kW	95.27 kW	670.94 kW		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el recorrido para la subestación Bolívar existen pérdidas en el conductor de 563.34 kW que se representará por el 100% de pérdidas en ese recorrido, pero con la implementación del sistema de compensación reactiva las pérdidas serán de 487.40 kW, estas pérdidas representa el 86.52% respecto al sistema sin compensación reactiva, por tanto, el porcentaje que disminuye es de 13.48%.

Del mismo modo, para la subestación San Jerónimo existen pérdidas en el conductor de 675.69 kW que se representará por el 100% de pérdidas en ese recorrido, pero con la implementación del sistema de compensación reactiva las pérdidas serán de 564.14 kW, estas pérdidas representa el 83.49% respecto al sistema sin compensación reactiva, por tanto, el porcentaje que disminuye es de 16.51%.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados encontrados, aceptaremos la hipótesis general que establece que existe una relación de dependencia entre compensación reactiva y pérdidas de transmisión de energía en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo en el sistema eléctrico de la empresa.

Referente a la hipótesis general se afirma que la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo tendrá una influencia positiva económica y técnicamente al disminuir las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, debido que desarrollando la prueba T para medias de

dos muestras emparejas es menor al nivel de significancia del 5%, este resultado guarda cierta relación con lo que sostiene la tesis “Eficiencia energética del sistema eléctrico 22,9/4,16/0,46 kV de la mina Animón” de referencia [1], donde afirma que la aplicación de los bancos de capacitores en las instalaciones industriales y en las redes de distribución, es para la corrección del factor de potencia, esto se hace por una razón fundamental de mejorar las condiciones operativas (voltajes y pérdidas). Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar. Del mismo modo la tesis “Metodología de estudio del diagrama de carga para el mejoramiento del factor de potencia de la planta frigorífica de la corporación Hayduk S.A.” de referencia [5], donde afirma que se obtiene un factor de potencia global de 0.9598 desde un valor inicial de 0.8712, mejorando en un 0.33 % el valor meta fijado de 0.9567, valor en el cual se suprime la penalidad por consumo de energía reactiva. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar.

Del mismo modo se aceptarán las hipótesis específicas de la presente investigación. Para la comprobación de la hipótesis específica “El nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva en la Empresa Minera Catalina Huanca, a través de la implementación de un sistema de compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo, Ayacucho – 2019, es alto”, con respecto a la decisión económica, esto se logrará evidenciar con una proyección de 5 años (2019 – 2023), donde el gasto por penalidad de exceso de energía reactiva en total sería de S/ 662,178.79 por los 5 años, por tanto si se llega aceptar la presente investigación, el gasto por penalidad de exceso de energía reactiva por 5 años se volverán en ingresos netos para la empresa, con respecto a la decisión estadística se debe tener en cuenta la tabla N° 53, la cual indica que se obtendrá un nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva alto, ya que no se excederá del 30% como indica la norma de opciones tarifarias del Perú, esto guarda estrecha relación con la tesis “Metodología de estudio del diagrama de carga para el mejoramiento del factor de potencia de la planta frigorífica de la corporación Hayduk S.A.” de referencia [5], donde afirma que se obtiene un ahorro económico anual de S/ 37,150 o U\$ 11,831.00, a instalar el sistema de compensación reactiva compuesto por 02 Bancos de condensadores automáticos grupales y 14 condensadores individuales para motores de gran potencia. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar. Del mismo modo la tesis “Estudio de instalaciones eléctricas en MT/BT para alimentación de fuerza a través de centro de control de motores y compensación de energía reactiva para nueva fábrica de alimento de mascotas – Molitalia” de referencia [8], donde afirma que se obtienen satisfactoriamente beneficios económicos por la instalación del sistema de

compensación de Energía Reactiva mediante el ahorro anual de una posible facturación de \$11,961.23. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar.

Para la comprobación de la hipótesis específica “La caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca, es la adecuada para su correcta operación”, actualmente la caída de tensión en barra de cada subestación no se encuentra en las tolerancias según la NTCSE como indica la tabla N° 54, sin embargo, con un sistema de compensación reactiva esto se llegará a corregir satisfactoriamente, porque dicho sistema mejorará la caída de tensión en el sistema eléctrico, gracias a esto se llega a afirmar que la caída de tensión es la adecuada para su correcta operación en el sistema eléctrico de la empresa y cumple lo que indica la NTCSE, para la comprobación se tiene la tabla N° 55, esto guarda estrecha relación con la tesis “Localización óptima de capacitores en redes de distribución para mejorar la eficiencia energética del sistema eléctrico Chungar – Volcan” de referencia [3], donde manifiesta que se logró mejorar la desviación del perfil de tensiones en barras del sistema, evitando violaciones de voltaje en todas las barras. El perfil logrado varía entre 96 y 103 %Vn en todas las barras, un resultado óptimo considerando las exigencias del CNE, NTCSE, y estándares internacionales como el IEC, que solicitan 95 – 105 %Vn. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar. Del mismo modo la tesis “Estudio de instalaciones eléctricas en MT/BT para alimentación de fuerza a través de centro de control de motores y compensación de energía reactiva para nueva fábrica de alimento de mascotas – Molitalia” de referencia [8], donde afirma que se logran satisfactoriamente beneficios técnicos como la disminución de la caída de Tensión de 1.96% a 1.06% en el alimentador principal y hasta de 2.46% a 1.84% en alimentadores de cargas. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar.

Para la comprobación de la hipótesis específica “El porcentaje estimado que disminuye de cargabilidad de los transformadores de la subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 3.96% y 10.25% respectivamente, en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019”, los transformadores de las subestaciones de potencia de Bolívar y San Jerónimo, cuenta con una potencia aparente específica, como indica la tabla N° 56, existirán dos casos que representan la investigación, uno sin el sistema de compensación reactiva (actualidad) y la otra con el sistema de compensación reactiva, para esto se desarrolló dos tablas representativas, la tabla N°61 y N°62, la cual nos indica que la SET Bolívar, transformador “B”, actualmente está trabajando con un 54.09% de su capacidad, con una disponibilidad del transformador de 45.91%, pero si se llega a implantar la presente investigación, trabajará con un 50.13%, llegando a tener una disponibilidad de 49.87% de la potencia del transformador, disminuyendo así la cargabilidad del transformador en

3.96%, que será la diferencia del porcentaje con lo que trabaja actualmente con el porcentaje proyectado a trabajar (54.09% - 49.87%), en el caso del transformador de la SET San Jerónimo, actualmente el transformador está trabajando con un 106.94%, esto quiere decir que está sobrecargado el transformador y no tiene una disponibilidad de potencia, pero si se llega a implantar la presente investigación, trabajará con un 96.70%, otorgando así una disponibilidad de potencia de 3.30%, disminuyendo así la cargabilidad del transformador en 10.25%, que será la diferencia del porcentaje con lo que trabaja actualmente con el porcentaje proyectado a trabajar (106.94% - 96.70%), esto guarda estrecha relación con la tesis “Análisis del mejoramiento de la calidad de energía en una planta industrial mediante la compensación de la energía reactiva” de referencia [6], donde afirma que se optimizaría la instalación eléctrica obteniéndose para el transformador de 630 kVA una disponibilidad de carga adicional del 37.3% y para los transformadores en paralelo una posibilidad adicional de 31.69%. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar. Del mismo modo la tesis “Estudio de instalaciones eléctricas en MT/BT para alimentación de fuerza a través de centro de control de motores y compensación de energía reactiva para nueva fábrica de alimento de mascotas – Molitalia” de referencia [8], afirma que lograrán beneficios técnicos como el aumento de la potencia disponible de 4.59% a 15.48%. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar.

Finalmente, para la comprobación de la hipótesis específica “El porcentaje estimado que disminuye en pérdidas en los conductores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 13.48% y 16.51% respectivamente, en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019”, para los recorridos de cada subestación se cuenta con tablas resumidas por cada una de estas, las cuales indican las pérdidas totales de todo su recorrido, se tendrá en cuenta dos escenarios, una sin el sistema de compensación reactiva y la otra con la compensación reactiva. Las pérdidas totales en el recorrido de la subestación Bolívar es de 563.34 kW que se representara por el 100% de pérdidas en ese recorrido, sin embargo, con la implementación del sistema de compensación reactiva las pérdidas serán de 487.40 kW, estas pérdidas representa el 86.52% respecto al sistema sin compensación reactiva, por tanto, el porcentaje que disminuye es de 13.48%. Del mismo modo se tendrá el análisis para la subestación San Jerónimo, las pérdidas existentes en el conductor es de 675.69 kW que se representara por el 100% de pérdidas en ese recorrido, pero con la implementación del sistema de compensación reactiva las pérdidas serán de 564.14 kW, estas pérdidas representa el 83.49% respecto al sistema sin compensación reactiva, por tanto, el porcentaje que disminuye es de 16.51%. Esto guarda estrecha relación con la tesis “Estudio de instalaciones eléctricas en MT/BT para alimentación de fuerza a través de

centro de control de motores y compensación de energía reactiva para nueva fábrica de alimento de mascotas – Molitalia” de referencia [8], afirmando que se logrará satisfactoriamente beneficios técnicos como la disminución de pérdidas en los conductores hasta de 21.53%. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar. Del mismo modo la tesis “Corrección del factor de potencia y diseño e instalación óptima de banco de capacitores bajo el efecto de distorsión armónica en la industria de producción de cloro” de referencia [11], afirmando que al corregir el factor de potencia disminuyen las corrientes que circulan por los conductores, al mismo tiempo disminuyen las pérdidas por Efecto Joule, que al final, se traducen en un ahorro anual de 0.75% del total de la factura. Ello es acorde con lo que en esta investigación se deja explicar.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo tendrá una influencia positiva económica y técnicamente al disminuir las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, se afirma que la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo influirá positivamente a la mejora del factor de potencia, que actualmente trabajaba en promedio en 0.757 (ver tabla N° 4), y ahora con la implementación se tendrá un factor de potencia mínima garantizada en 0.958, esto para evitar las penalizaciones por exceso de energía reactiva y también otorgará un sistema eléctrico estable, sin pérdidas de energía, sin caídas de tensión, evitará el exceso de potencia reactiva, aumentará la vida útil de las máquinas eléctricas, entre otras ventajas más que se mencionó en toda la presente investigación.
2. Se concluye que la compensación de energía reactiva, reduce la facturación de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, a nivel alto, debido que se respetará lo que dictamina la norma de “Opciones tarifarias y condiciones de ampliación de las tarifas a usuario final” del artículo 16°. Esto tendrá como beneficio disminuir la facturación por exceso de energía reactiva.
3. Se concluye que la caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca, es la adecuada para su correcta operación, debido que cumplirá lo que dictamina la “Norma técnica de calidad de servicios eléctricos”, con lo que respecta a la tensión. Donde actualmente no cumplía las tolerancias según la NTCSE, porque llegaba en algunos puntos tener una caída de tensión de -13.23%, pero con la implementación del sistema de compensación reactiva se llegará a cumplir las tolerancias según la norma, garantizando estar entre las tolerancias del $\pm 5\%$. Esto se puede afirmar gracias al análisis que nos proporciona el software DigSILENT.
4. Se concluye que existe un porcentaje de disminución de cargabilidad en los transformadores de la subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, debido que el sistema eléctrico sin el sistema de compensación reactiva, forzará que sus transformadores trabajen un porcentaje más de lo que haría un transformador con un sistema de compensación reactiva, el porcentaje que disminuye respecto a la cargabilidad del transformador “B” de la subestación Bolívar es de 3.96% y la de la subestación San Jerónimo es de 10.25%.

5. Se concluye que existe un porcentaje de disminución de pérdidas en los conductores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019, debido que, al corregir el factor de potencia, esta disminuirá las pérdidas en los conductores. El porcentaje que disminuye respecto a las pérdidas en los conductores en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 13.48% y 16.51% respectivamente.
6. Se tiene los siguientes indicadores de la viabilidad económica de la investigación, que garantiza su ejecución.
 - El valor actual neto económico de la investigación (VANE) es de S/ 60,265.09, la cual es un indicador mayor a cero, por tal motivo debe ser aceptada.
 - La tasa interna de retorno económico (TIRE) es de 16.62%, la cual es un indicador que es mayor a la tasa del costo de capital promedio ponderado (WACC) de 9.45%, por tal motivo de ser aceptada.
 - El beneficio - costo de la investigación es de 1.20, la cual indica que los benéficos son superiores al costo de inversión, por tal motivo de ser aceptada.
7. Se tiene los siguientes indicadores de la viabilidad financiera de la investigación, que garantiza su ejecución.
 - El valor actual neto financiero de la investigación (VANF) es de S/ 43,578.78, la cual es un indicador mayor a cero, por tal motivo debe ser aceptada.
 - La tasa interna de retorno financiero (TIRF) es de 19.53%, la cual es mayor a la tasa del costo del capital de 12%, por tal motivo de ser aceptada.
 - El beneficio - costo de la investigación es de 1.29, la cual indica que los benéficos son superiores al costo de inversión, por tal motivo de ser aceptada.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar las buenas prácticas, con la finalidad de incentivar a todo el personal involucrado a crear proyectos e ideas relacionadas al buen uso de la energía eléctrica.
2. En la puesta de servicio se recomienda realizar un análisis del consumo de energía reactiva mediante mediciones y compararlo con la presente investigación, mediante balance de cargas y su factor de potencia, de esta manera poder verificar los parámetros obtenidos con los de esta investigación, y hacer una mejora si se requiere.
3. Al momento de instalarse los bancos de condensadores se debe tener en cuenta que deberá cumplir con las normas establecidas por las normas peruanas, según sea la tensión del servicio a los que se le aplique el condensador, o el tipo de este último.
4. Se recomienda que en el transformador de la subestación San Jerónimo, ya no se le inyecten más cargas, porque como se mostró en la presente investigación, está a punto de una sobrecarga, la cual provocará que el transformador sea sobre exigido y conllevará que su vida útil se reduzca y presente inconvenientes.
5. Se recomienda que en la subestación Bolívar implementen un sistema de acoplamiento, ya que este sistema balanceará a los dos transformadores, y otorgará una reducción de su capacidad de estas.
6. Se recomienda cumplir con las fechas programadas de mantenimiento de todo el sistema eléctrico considerando los bancos de condensadores proyectados.
7. Actualmente existe una tecnología de bancos de condensadores llamados SVC (compensación estática de reactivo), las cuales brindan una mayor confiabilidad que los bancos de condensadores conocidos en el mercado, el SVC puede mejorar el sistema, por ejemplo, si la tensión es baja, el SVC genera potencia reactiva y si la tensión es alta absorbe dicho reactivo para mantener la tensión lo más estable posible. La gran desventaja de este tipo de banco de condensador es el precio, que es excesivamente muy caro, pero las ventajas que brinda este equipo son más que suficientes para una buena inversión en el futuro.
8. Se recomienda que los equipos y materiales a utilizarse en la presente investigación sean de calidad, confiabilidad y seguridad para tener una instalación correcta y duradera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ROJAS MONTERO, Mardux.** Eficiencia energética del Sistema Eléctrico 22,9/4,16/0,46 kV de la Mina Animón. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014. Tesis .
2. **CASO TRUJILLO, Armando.** Análisis de los requerimientos para la asignación de la compensación de la energía reactiva en sistemas eléctricos de potencia. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2009. Tesis.
3. **TORRES GUTIERREZ, David Omar.** Localización óptima de capacitores en redes de distribución para mejorar la eficiencia energética del sistema eléctrico Chungar - Volcan. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017. Tesis.
4. **ALIAGA BAUTISTA, Ruby.** Optimización de costos en la facturación eléctrica aplicados a la pequeña y micro empresa basados en una correcta aplicación del marco regulatorio y la ley de concesiones eléctricas y su reglamento. DL 25844 - DS 093 - 2033. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2008. Tesis.
5. **CALDERON VILLANUEVA, Jose y MEDINA QUEZADA, Edwin.** Metodología de estudio del diagrama de carga para el mejoramiento del factor de potencia de la planta frigorífica de la corporación Hayduk S.A. Nuevo Chimbote : Universidad Nacional del Santa, 2015. Tesis.
6. **CAJALEÓN PASTOR , Alejandro Alfredo.** Análisis del mejoramiento de la calidad de energía en una planta industrial mediante la compensación de la energía reactiva. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2012. Tesis.
7. **JACO TORREJON, Jhames Maycon; BLAS AGÜERO, Jhon Edward;** Modelo para soluciones avanzadas de sistemas de compensación de energía reactiva para el proyecto minero Tambomayo - Arequipa. Callao : Universidad Nacional del Callao, 2016. Tesis.
8. **MANRIQUE JAEGER, Ricardo Cesar; SANZ MOYA, Carlo Roberto;** Estudio de instalaciones eléctricas en MT/BT para alimentación de fuerza a través de centro de control de motores y compensación de energía reactiva para nueva fábrica de alimento de mascotas – Molitalia”. Arequipa : Universidad Católica de Santa María, 2018. Tesis.
9. **LLUMIQUINGA LOYA, Fredy.** Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfood S.A. Quito : Universidad Politécnica Salesiana , 2012. Tesis.
10. **GONZÁLES RODRÍGUEZ, Pedro Pastor David.** Análisis de alternativas para compensación de energía reactiva en los alimentadores de 23 kV de la estación de Caaguazú. Coronel Oviedo - Paraguay : Universidad Nacional de Caaguazú, 2016. Tesis.

11. **LOPEZ PAIZ, Gerardo Antonio.** Corrección del factor de potencia y diseño e instalación óptima de banco de capacitores bajo el efecto de distorsión armónica en la industria de producción de cloro. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. Tesis.
12. **TRIGO GARCIA, Angel Luis.** Gestión óptima de potencia reactiva en sistemas abiertos a la competencia. Wroclaw : Universidad de Sevilla, 2010. Tesis Doctoral.
13. **HIDALGO LAVAYEN, Giovanni Francisco; PAGUAY CASTRO, Galo Leonel;** Reducción de pérdidas de energía eléctrica en los alimentadores mediante compensación reactiva considerando clientes finales industriales. Quito : Escuela Politecnica Nacional, 2009. Tesis.
14. **EMPRESA RTR ENERGIA;** Compensación de Energía Reactiva. www.rtrenergia.es. [En línea] EMPRESA RTR ENERGIA, 26 de Noviembre de 2018. [Citado el: 19 de Marzo de 2019.] http://www.rtrenergia.es/downloads/reactiva_2012.pdf.
15. **FRANCESC FORNIELES.** Blog de Eficiencia Energetica. Diferencia entre coseno de phi y factor de potencia. [En línea] 2019. [Citado el: 05 de Marzo de 2019.] <https://fornieles.es/perturbaciones-electricas/diferencia-coseno-phi-y-factor-potencia/>.
16. **Empresa Energiza Understanding Energy.** Energiza Understanding Energy. www.energiza.biz. [En línea] 21 de Junio de 2016. [Citado el: 06 de Marzo de 2019.] <http://www.energiza.biz/wp-content/uploads/2016/06/5-Factor-de-potencia-1.pdf>.
17. **OLA GARCIA, Jose Luis.** Cómo Reducir la Factura de Energía Eléctrica Corrigiendo el Factor de Potencia. [En línea] 24 de Julio de 2016. [Citado el: 07 de Marzo de 2019.] http://www.fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin01/URL_01_MEC02.pdf.
18. **MENDEZ SERRANO, Jael.** Corrector de factor de potencia reductor - elevador monofásico. Puebla, Mexico, Universidad de las Américas, Puebla. Cholula : s.n., 2004. Tesis.
19. **GHIA, Andrés y DEL ROSSO, Alberto.** Reducción de pérdidas en sistemas de transmisión y distribución. Argentina : Camara Argentina de la Construccion, 2013.
20. **AGENCIA PERUANA DE NOTICIAS ANDINA.** Sector minero peruano triplicó consumo energético entre 2005 y 2018. Diario Andina. Digital, 2 de Octubre de 2018.
21. **GAMBOA MONTALVO, Julio Alberto.** Mantenimiento centrado en la confiabilidad para el molino de bolar kurimoto 8'X6' en la unidad minera Catalina Huanca. Trujillo : Universidad Nacional de Trujillo, 2017. Tesis.
22. **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS.** Elaboracion de proyectos de guías de orientacion del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético. Lima : s.n., 2008.
23. —. Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos – Decreto Supremo N° 040-2011 - EM. Lima : s.n., 2011. pág. 61, Normas Peruanas.

24. **MINAS, MINISTERIO DE ENERGÍA Y.** Código Nacional de Electricidad Suministro. Lima : s.n., 2012.
25. **OSINERGMIN.** OPCIONES TARIFARIAS Y CONDICIONES DE AMPLIACIÓN DE LAS TARIFAS A USUARIO FINAL. Lima : s.n., 2013. pág. 42, Norma Peruana.
26. **CABALLERO ROMERO, Alejandro.** Metodología integral innovadora para planes y tesis. Mexico : Cengage Learning Editores, 2014.
27. **CASTRO LEON, Zenón.** Teoria y Practica de la Investigación Científica. Huancayo, Perú : Perugraph SRL, 2016. pág. 126.
28. **HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto.** Metodología de la investigacion. Mexico : McGRAW-HILL/Interamericana Editores, 2014.
29. **Miranda Miranda, Juan José.** Gestión de proyectos: Identificación, formulación y evaluación financiera, económica, social y ambiental. Lima : s.n. Vol. IV.
30. **COLLAZOS CERRON, Jesus.** Manual de proyectos de inversión privada y pública. Lima : San Marcos E.I.R.L., 2013.
31. **GRAINGER, John y STEVENSON, William.** Análisis de Sistema de Potencia. México : McGraw, 1996. pág. 561.
32. **GÓMEZ EXPÓSITO, Antonio.** Sistemas Eléctricos de Potencia. Madrid : Pearson Educación S.A, 2003. pág. 304.
33. **PERNIA MÁRQUEZ, Daniel.** Propuesta para la detección de las causas de fallas a través del diagnóstico y evaluación, del sistema de compensación reactiva de la planta de alimentos balanceados para animales "Procria". Mérida, Venezuela : Universidad de los Andes, 2003. Tesis (Ingeniero Electricista).
34. **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS y OSINERGMIN.** Ley de Concesiones Eléctricas. Diario Oficial El Peruano. 1992, pág. 41.
35. **MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS.** Norma técnica para la coordinación de la operación en tiempo real de los Sistemas Interconectados. Lima : s.n., 2005. pág. 26, Norma Peruana.
36. **IEEE.** IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. New York : s.n., 2014. pág. 29, Norma Internacional.
37. **TRIGO GARCÍA, Ángel Luis.** Gestión Óptima de Potencia Reactiva en Sistemas Abiertos a la Competencia. Sevilla, España : Universidad de Sevilla, 2010. pág. 170, Tesis Doctoral.

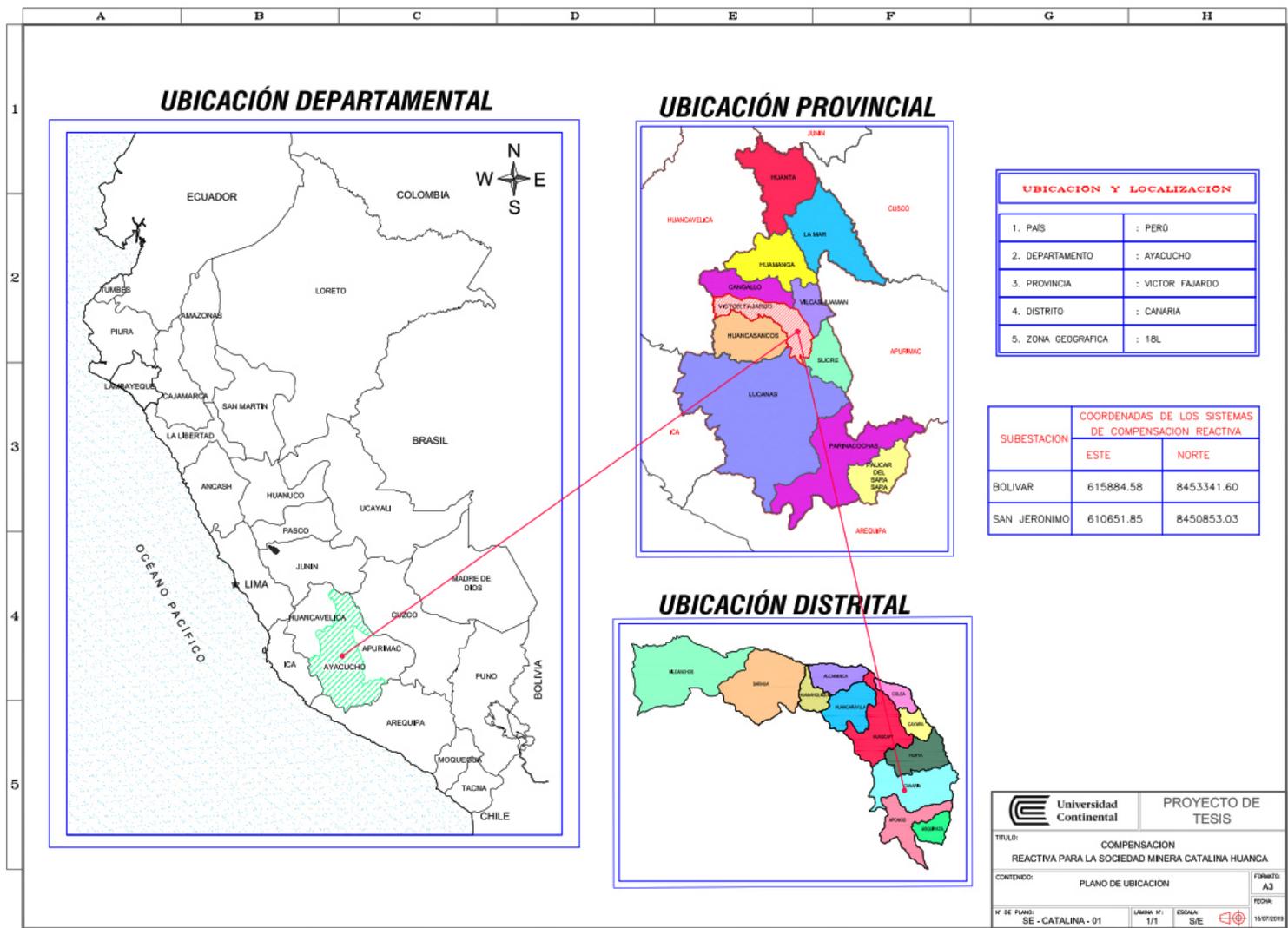
38. **ROJAS MONTERO, Gersson.** Eficiencia Energética del Sistema Eléctrico 22,9/4,16/0,46 kV de la Mina Animón. Huanca, Peru : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014. pág. 137, Tesis (Ingeniero Electrico).
39. **EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA, Fredy Santiago.** Diseño de un Banco de Condensadores para la Corrección del factor de Potencia de la Empresa Banchisfood S.A. Quito, Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana, 2012. pág. 170, Tesis (Ingeniero Electricista).
40. **PAJAN LAN, Percy.** Asignación óptima de Potencia Reactiva en Sistemas Eléctricos de Potencia. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 1997. Tesis.
41. **CABALLERO ROMERO, Alejandro.** Metodología integral innovadora para planes y tesis. Mexico : CENGAGE Learning, 2014.

ANEXOS

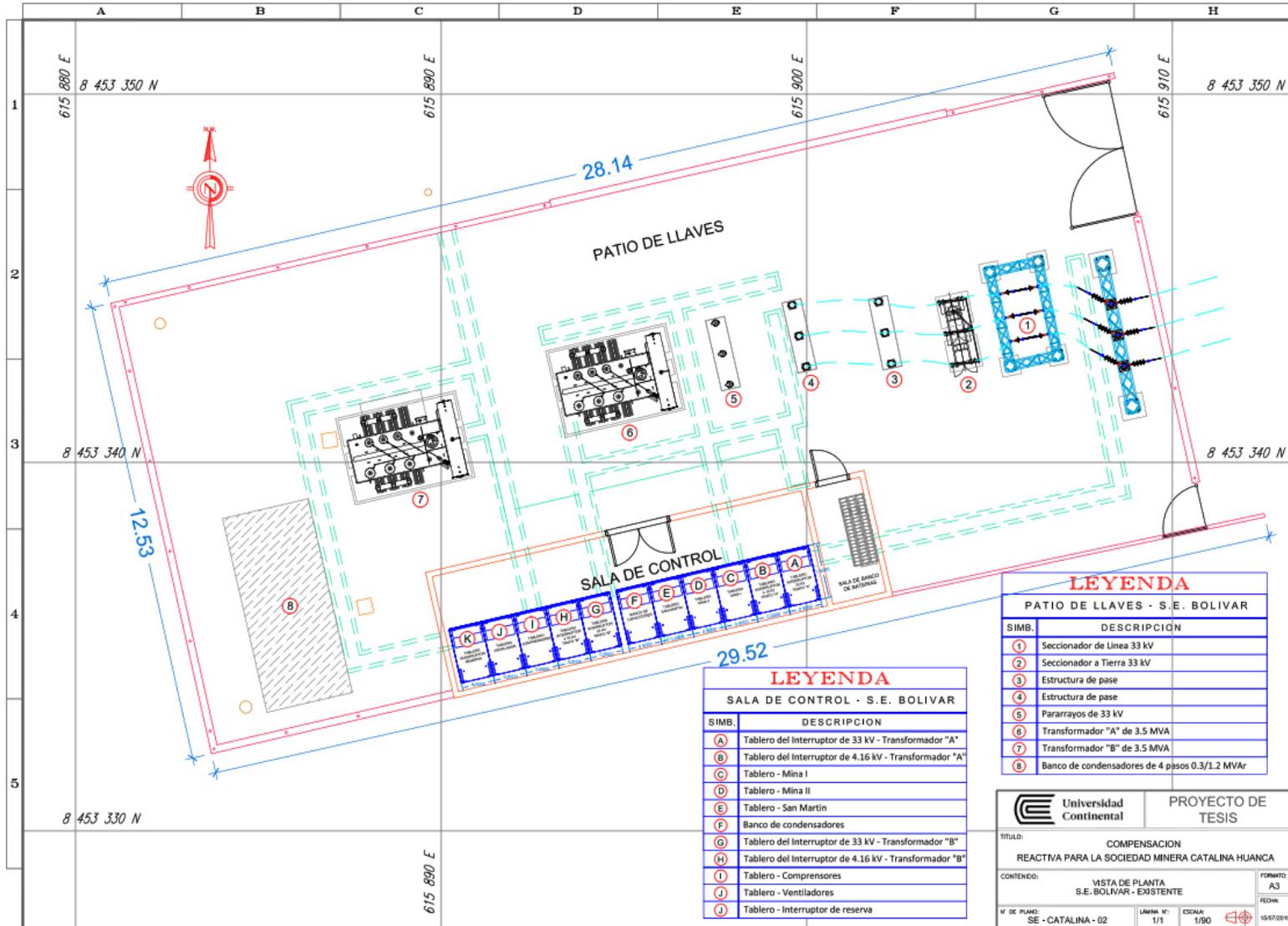
ANEXO 01 – MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES DIMENSIONES	METODOLOGÍA
¿De qué manera la compensación reactiva de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo influye en las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho - 2019?	Determinar la influencia de la compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo para disminuir las pérdidas de transmisión de energía en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.	La compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo tendrá una influencia positiva económica y técnicamente al disminuir las pérdidas de transmisión de energía de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019.	VARIABLE INDEPENDIENTE Compensación reactiva DIMENSIONES - Potencia eléctrica - Voltaje de operación - Facturación por exceso de energía reactiva - Capacidad del banco de condensador	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Método Deductivo. Método análisis de datos cuantitativo. NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Descriptivo – correlacional DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Cuasi-experimental
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN ESPECÍFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICA		
<ul style="list-style-type: none"> • ¿En qué nivel la implementación del sistema de compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo reduce la facturación por exceso de consumo de energía reactiva en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019? • ¿La caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca, es la adecuada para su correcta operación? • ¿En qué porcentaje disminuye la cargabilidad de los transformadores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019? • ¿En qué porcentaje disminuye las pérdidas en los conductores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva en la Empresa Minera Catalina Huanca, a través de la implementación del sistema de compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo, Ayacucho – 2019. • Determinar si la caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca es la adecuada para su correcta operación. • Estimar el porcentaje que disminuye de cargabilidad de los transformadores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019. • Estimar el porcentaje que disminuye en pérdidas en los conductores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo de la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019. 	<ul style="list-style-type: none"> • El nivel de reducción de la facturación por consumo de energía reactiva en la Empresa Minera Catalina Huanca, a través de la implementación de un sistema de compensación reactiva en las subestaciones Bolívar y San Jerónimo, Ayacucho – 2019, es alto. • La caída de tensión en las subestaciones de potencia de la Empresa Minera Catalina Huanca, es la adecuada para su correcta operación. • El porcentaje estimado que disminuye de cargabilidad de los transformadores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 3.96% y 10.25% respectivamente, en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019. • El porcentaje estimado que disminuye en pérdidas en los conductores de las subestaciones Bolívar y San Jerónimo es de 13.48% y 16.51% respectivamente, en la Empresa Minera Catalina Huanca, Ayacucho – 2019. 	VARIABLE DEPENDIENTE Pérdidas de transmisión de energía. DIMENSIONES - Perdidas eléctricas - Consumo de energía reactiva - Niveles de tensión en barras - Factor de potencia	

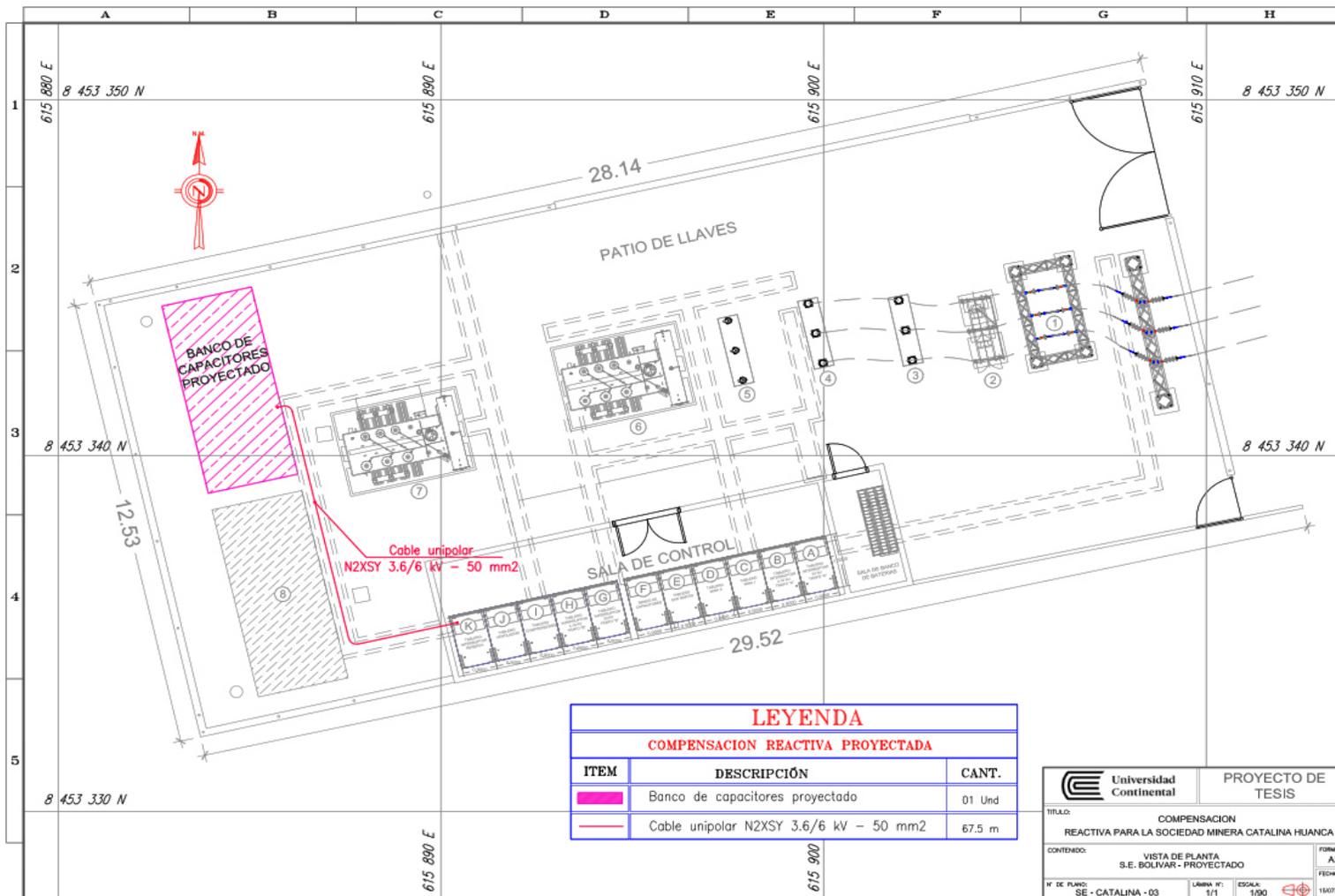
ANEXO 02 – PLANO DE UBICACIÓN



ANEXO 03 – VISTA DE PLANTA DE LA SUBESTACIÓN BOLÍVAR - EXISTENTE



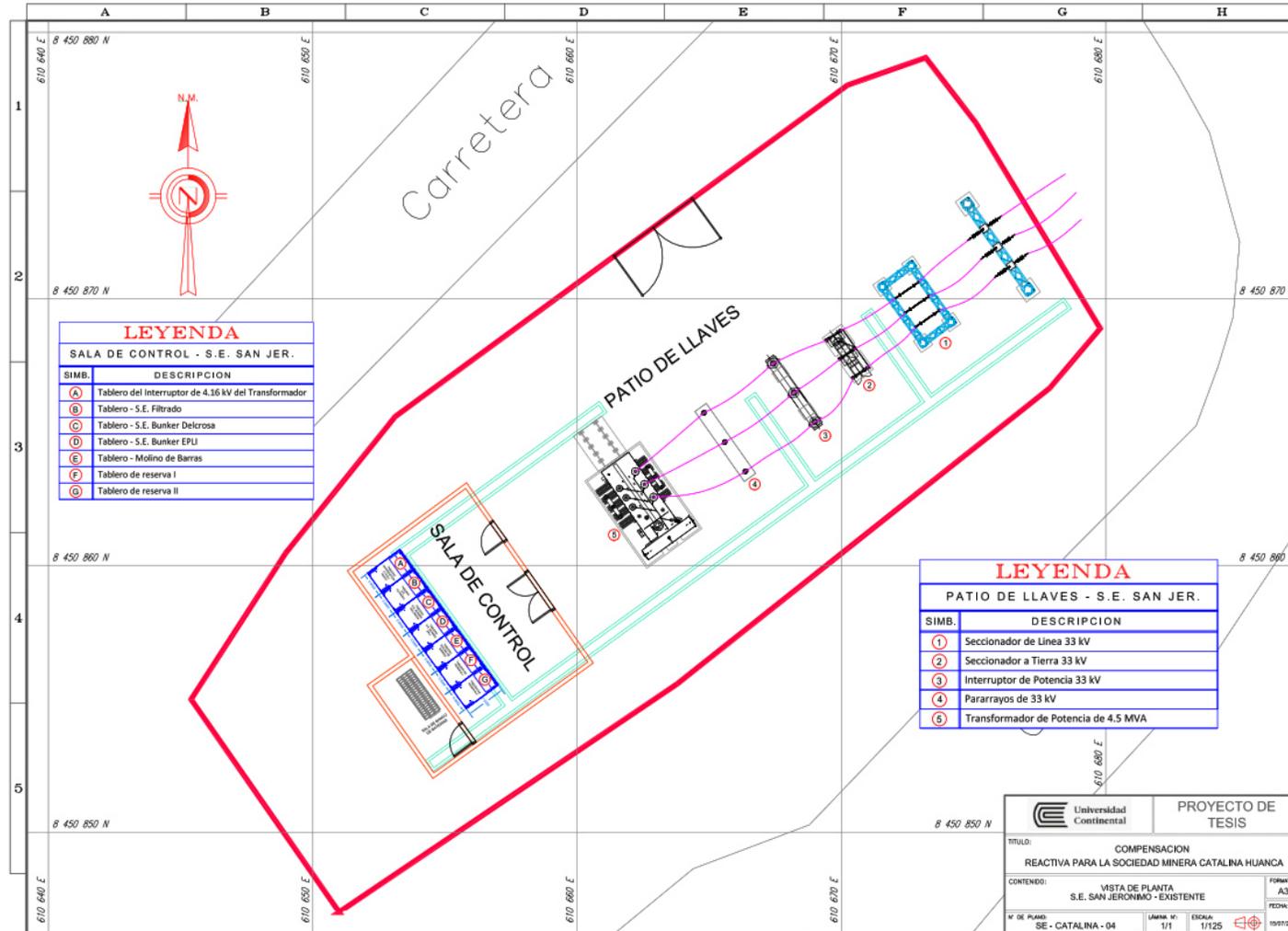
ANEXO 04 – VISTA DE PLANTA DE LA SUBESTACIÓN BOLÍVAR - PROYECTADO



LEYENDA		
COMPENSACION REACTIVA PROYECTADA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.
■	Banco de capacitores proyectado	01 Und
—	Cable unipolar N2XSY 3.6/6 kV - 50 mm2	67.5 m

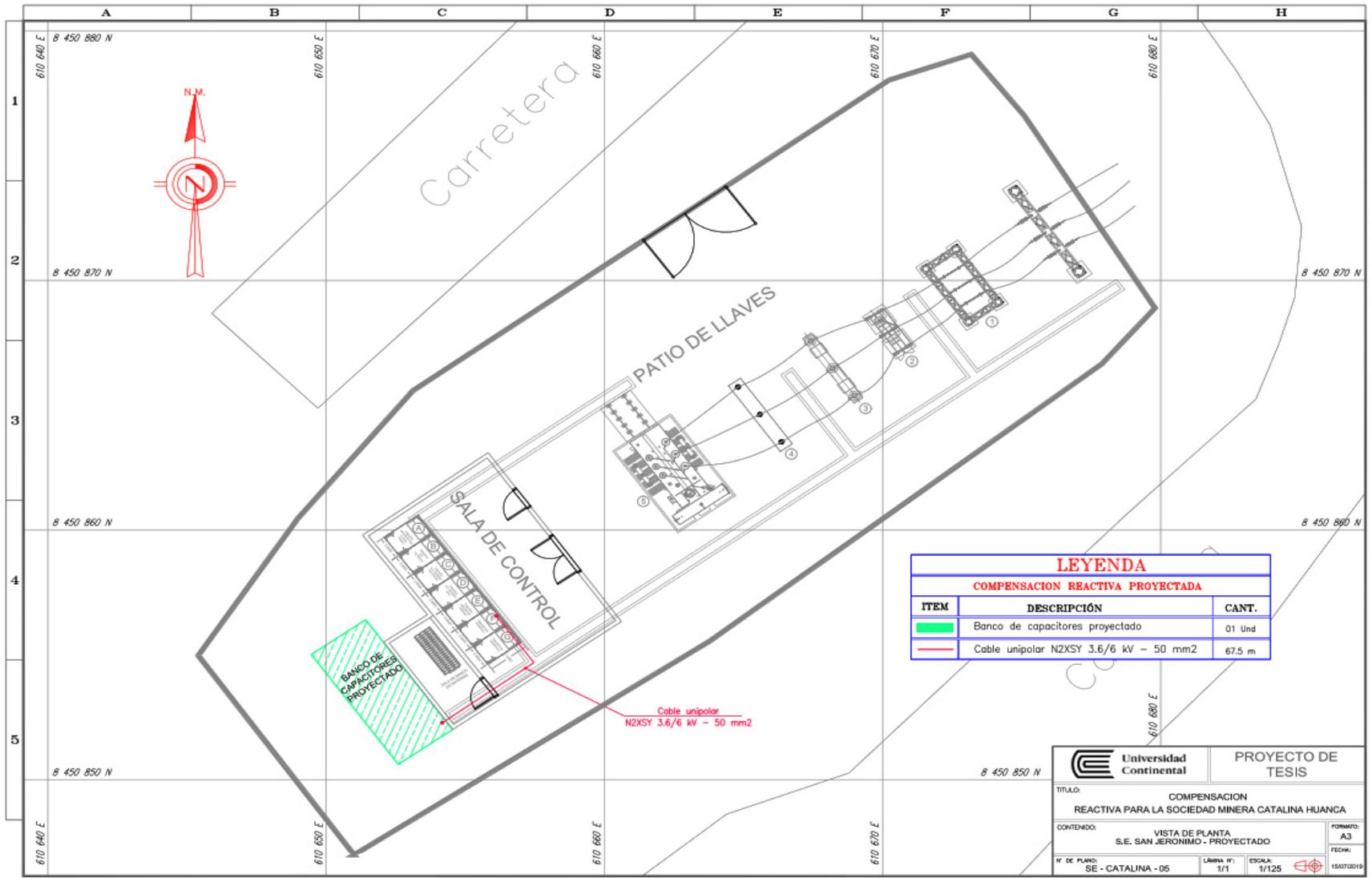
Universidad Continental	PROYECTO DE TESIS
<small>TÍTULO:</small> COMPENSACION REACTIVA PARA LA SOCIEDAD MINERA CATALINA HUANCA	
<small>CONTENIDO:</small> VISTA DE PLANTA S.E. BOLIVAR - PROYECTADO	
<small>N.º DE PLANO:</small> SE - CATALINA - 03	<small>FORMA:</small> A3 <small>FECHA:</small> 16/07/2018
<small>LÁMINA N.º:</small> 1/1	<small>ESCALA:</small> 1/50

ANEXO 05 – VISTA DE PLANTA DE LA SUBESTACIÓN SAN JERÓNIMO - EXISTENTE



 Universidad Continental		PROYECTO DE TESIS
TITULO: COMPENSACION REACTIVA PARA LA SOCIEDAD MINERA CATALINA HUANCA		
CONTENIDO: VISTA DE PLANTA S.E. SAN JERONIMO - EXISTENTE		
W DE PLANO: SE - CATALINA - 04	LAMINA N°: 1/1	ESCALA: 1/125
		FECHA: 15/07/2019

ANEXO 06 – VISTA DE PLANTA DE LA SUBESTACIÓN SAN JERÓNIMO - PROYECTADO



ANEXO 07 – FACTURA ELECTRÓNICA DEL MES DE OCTUBRE DE 2018

 TERMOCCHILCA		FACTURA ELECTRÓNICA RUC: 20518630891 F001-808			
Termochilca S.A. Av. Republica de Panama Nro. 3576 Piso 13 San Isidro, Lima - Lima - Lima Central Telefónica: 51-1-7066400					
Cliente : CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA S.A.C. Dirección : AV. SANTO TORIBIO NRO. 173 URB. EL ROSARIO SAN ISIDRO, LIMA RUC : 20509551767 Fecha de Emisión : 2018-11-09 Moneda : SOL Fecha de Vencimiento : 2018-11-24 Condición de Pago : Contado OS / OC : -					
Descripción	UND.	CANT.	VALOR VENTA	PRECIO UNIT.	PRECIO VENTA
Cargo Fijo	ZZ	1.00	15.94	15.94	15.94
Cargo por Alumbrado Público	ZZ	1.00	1,967.44	1,967.44	1,967.44
Cargo por Energía reactiva	ZZ	1.00	10,084.30	10,084.300	10,724.18
Cargo por Mantenimiento	ZZ	1.00	158.00	158.00	158.00
Cargo por Peaje Conexión Sistema Secundario de Transmisión	ZZ	1.00	54,189.88	54,189.88	54,189.88
Cargo por Peaje Conexión Sistema Primario de Transmisión	ZZ	1.00	161,802.34	161,802.34	161,802.34
Cargo por Potencia Contratada	ZZ	1.00	128,066.47	128,066.47	128,066.47
Total Valor de Venta - Operaciones Gravadas:					356,924.25
IGV:					64,246.37
FISE					41,202.40
LER					34,909.80
CASE					25,648.38
Total Cargos:					101,685.46
Importe Total:					522,931.20
 Representación Impresa de la Factura Electrónica					
SON: QUINIENTOS VEINTIDOS MIL NOVECIENTOS TREINTA Y UNO CON 20/100 Nuevos Soles					
Observaciones: Correspondiente al mes de Octubre 2018 de acuerdo al contrato suscrito entre Termochilca S.A. y Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C.					

Fuente: Catalina Huanca, 2018

ANEXO 08 – COTIZACIÓN DE LA EMPRESA “ABB”



1. Cuadro de Precios

OPCION 1

Item	Descripción: COMPENSACION REACTIVA Con Q-ACT	TOTAL	Valor Venta Unitario (USD)	Valor Venta Total (USD)
1.0	Banco de Condensadores Celdas de Baja Tension ABB: ESTUDIO CATALINA HUANCA 4.16 KV; 2 pasos: 0.35/0.35 MVAR; 60 HZ ABB AUSTRALIA	1	32,500.00	32,500.00
2.0	Banco de Condensadores Celdas de Baja Tension ABB: ESTUDIO CATALINA HUANCA 4.16 KV; 4 pasos: 0.35/0.35/0.35/0.35 MVAR; 60 HZ ABB AUSTRALIA	1	45,000.00	45,000.00
Valor Venta Total (No incluye IGV)				77,500.00

Fuente: ABB, 2019

ANEXO 09 – COTIZACIÓN DE LA EMPRESA “CENTELSA”

 CENTELSA [®] CABLES DE ENERGÍA Y DE TELECOMUNICACIONES S.A. Una empresa Viakable	Oficinas y fábrica: Calle 10 No. 38-43 Urb. Industrial Acopi - Yumbo - Colombia P.B.X: (572) 6083400 Web: http://www.centelsa.com.co							
	Oficinas: Avenida Paseo de la República 6010 - Miraflores. Oficina 1002 Lima, Perú. Tel.: (511) 2436161 (511) 2436163							
Compañía / Company: País / Country: Peru Moneda / Currency: US Dollar Solicitante/Applicant: Kevin Cairo Huaranga	Cotización / Quotation: 40008056 Referencia / Internal N°: 24114 LP-011-2019-ES Fecha / Date: 31.01.2019							
TENEMOS EL PLACER DE COTIZAR LOS SIGUIENTES CABLES / WE HAVE THE PLEASURE TO QUOTE YOU THE FOLLOWING CABLES								
Item	Código / Code	Descripción / Description	Cantidad / Quantity	UM	Cu [KG/KM]	Al [KG/KM]	Precio unitario\$/ Unit price\$	Total \$
000010	V0901	N2XSY Cu 90°C 50mm2 3.6/6 kV	0,15	KM	310,70		8.923,36	1.338,50
000020	V0502	Conductor de cobre desnudo recocido 70 mm2	0,10	KM	972,24		8.287,90	828,79
Total (sin IGV):								2.167,29

Fuente: CENTELSA, 2019

ANEXO 10 – COTIZACIÓN DE LA EMPRESA “T.E.”

		Cotizacion TE-EPD-03945-DA-2019-25		FECHA: jueves, 27 de junio de 2019				
Señores: Atención: KEVIN CAIRO HUARINGA Referencia: TERMINACIONES BT								
Estimados Señores: Agradeciendo su gentil solicitud de cotización, detallamos nuestra oferta por los siguientes productos:								
N°	PartNumber	Modelo	Descripción	Unidad	Cant.	Precio Unit.	Precio Total	Entrega
1	4-2819542-2	TFT-151E-SG-PE	TERMINACIÓN AUTOCONTRAIBLE 6KV, USO INTERIOR/EXTERIOR, RANGO DE USO 4/0-500 AWG/MCM, DIÁMETRO SOBRE EL AISLAMIENTO 22-37 MM. NO INCLUYE CONECTOR	PIEZAS	2,00	550,95	1.101,90	75 DIAS
2	1599274-9	TINNED COPPER TERMINAL 50MM2	CONECTOR TERMINAL DE COBRE ESTAÑADO, USO 50 MM2	PIEZAS	2,00	13,09	26,18	12 DIAS
US\$							1.128,08	

CONDICIONES COMERCIALES

Precios en dólares, NO INCLUYE IGV
 Validez de la Oferta: 30 Días
 Garantía: 12 MESES CONTRA TODO DEFECTO DE FABRICACION
 Lugar de Entrega: EN LOS ALMACENES DEL CLIENTE EN LIMA METROPOLITANA PARA MONTOS MAYORES A 1000 DOLARES. PARA MONTOS MENORES, LA ENTREGA SERÁ EN ALMACEN TRANSBER EN AV. INDUSTRIAL 3278, INDEPENDENCIA PRESENTANDO SU SCTR Y USO DE EPP.
 Forma de Pago: CONTADO

Nota: Favor de indicar Número de Cotizacion y Modelo o Código de TYCO en su OC. Condiciones comerciales en hoja adjunta.

POR FAVOR SIRVASE COPIAR A LA SIGUIENTE DIRECCION E-MAIL: oc@te.com, SU ORDEN DE COMPRA, PARA QUE SEA CONFIRMADA Y ATENDIDA A LA BREVEDAD.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano vuestra preferencia, quedamos atentos a sus gratas órdenes.

Fuente: TE, 2019

ANEXO 11 – COTIZACIÓN DE LA EMPRESA “CONDUMAX S.A.”

		COTIZACION 4258-2019				
R.U.C. # 20349853915 Paje. Chasuta 2360 – Urb. Chacra Rios – Lima						
Lima, 17 de Junio del 2019						
ATENCION: Kevin Cairo Huaranga Presente.-						
De acuerdo a su solicitud, nos es grato cotizarles lo siguiente:						
ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT.	VALOR UNIT. USD\$	VALOR TOTAL USD\$	DIAS ENTREGA
1	N2XSY Cu 90°C 50 MM2 3.6/6 kV	MTS	150	8,9233	1338,50	
2	CABLE DE COBRE DESNUDO 70 MM2	MTS	20	7,9778	159,56	
3	TERMINACIONES AUTOCONTRAÍBLES PARA 6 KV. CABLE SECO UNIPOLAR, EXTERIOR. KIT PARA 3 FASES UNIPOLARES. 50 MM2	KIT	2	515,2600	1030,52	
4	CABLE DE COBRE DESNUDO 120 MM2	MTS	20	12,0878	241,76	
5	CABLE DE COBRE DESNUDO 95 MM2	MTS	20	9,9778	199,56	
VALOR TOTAL :					2.969,90	
IGV (18%) :					534,58	
TOTAL GRAL.USD\$					3.504,48	

Fuente: CONDUMAX S.A, 2019

ANEXO 13 – COTIZACIÓN DE LA EMPRESA “PROMELSA”

DONDE ILUMINAN LAS NUEVAS IDEAS, ILUMINA

PROMOTORES ELECTRICOS S.A.
 IMPORTADORES MAYORISTAS DE MATERIALES ELECTRICOS Y DE ILUMINACION PARA USO INDUSTRIAL, CIVIL, MINERO Y NAVAL

PROMOTORES ELECTRICOS S.A.
RUC : 20100084172
 Visita Nuestra Pagina Web www.promelsa.com.pe
 Av. Nicolás Arriola 885 - Sta. Catalina - Lima 13 Perú
 Teléfonos : Ventas 712-5555 Central 712-5500 Fax Central 473-6650 Fax Arriola 471-0641
 E-mail: promotores@promelsa.com.pe

PROFORMA DE VENTA Página 1 de 1
 NRO : 001-00852321

SEÑORES :
 RUC : E-MAIL :
 ATENCION : KEVIN CAIRO HUARINGA
 FAX : TELEFONO :
 NRO.REQUIS. :
 MONEDA : DOLARES AMERICANOS

FEC.EMISION : 18/06/2019
 VENDEDOR : 563082 - DONOSO , MICHAEL
 NEXTEL : 105*7897 CORREO : m.donosos@promelsa.com.pe
 COND. VENTA : 1 LETRA 45 DIAS SGASTO
 VALIDEZ : 10 DIAS
 SOPORTE DE VENTAS:
 NEXTEL : CORREO :

Item No	Código	Cantidad	Und.	Descripción	Modelo	Marca	Prec. Lista Unit.	Dcto 1	Dcto 2	V. Venta Unitario	Neto sin IGV	Dias Ent.	Perc
001	02104031	20.00	MT	CABLE DE COBRE DESNUDO 70MM2, TEMPLE BLANDO	SM0001	INDECO	8.16	.00	.00	8.16	163.20	5	0.00
002	62302136	1.00	PZ	MOLDE P/EMPAL"TT" CABL.-CABL.3/0-3/0AWG USA	M-241	THERMOWELD	104.52	.00	.00	104.52	104.52	5	0.00
003	62102027	1.00	PZ	CAPSULA DE SOLDADURA EXOTERMICA SPAT	M-150T	THERMOWELD	11.17	.00	.00	11.17	11.17	5	0.00
004	30402069	4.00	PZ	CONECTOR SIMPLE PARA CABLE DE 70MM2 SUPERFICIE	SM0001	FELECTRIC	10.44	.00	.00	10.44	41.74	5	0.00
005	50120025	1.00	PZ	TUBO PVC SAP 3/4" X 3MTS	SAP	PAVCO/AMANCO	1.74	.00	.00	1.74	1.74	5	0.00

* OPERACION SUJETO A PERCEPCION SEGUN DECRETO SUPREMO NRO.091-2013-EF Monto Referencial 380.40 Total a pagar 380.40

Total Bruto	Descuentos	Total Neto	Flete	Embalaje	I.G.V.	Total	Percepc.	Total Cotización
322.37	0.00	322.37	0.00	0.00	58.03	380.40	0.00	U.S.\$ 380.40

OBSERVACION:

Nota: Stock disponible salvo venta previa

Ejecutivo de Ventas

DONOSO , MICHAEL

Fuente: PROMELSA, 2019

ANEXO 14 – COTIZACIÓN DE LA EMPRESA “MISUJA TRAVES S.A.C”

		MISUJA TRAVES S.A.C.			
		RUC: 20522208745			
Señores:		Lima 01 de Junio del 2019			
Atención:					
Sr. Kevin Cairo					
Por medio del presente le enviamos la cotización del Servicio de Transporte según detalle:					
ITEM	DESCRIPCION	ORIGEN	DESTINO	UNIDAD	COSTO
01	BANCO DE CONDENSADORES	LIMA	AYACUCHO	SEMITRAILER	S/ 6,000.00
02	SUMINISTROS	LIMA	AYACUCHO	SEMITRAILER	S/ 500.00
<p>❖ Precio NO incluye IGV.</p> <p>❖ Forma de pago: LETRA 60 días.</p> <p>❖ Póliza de Seguro N° 12745487 - Póliza de carga contra todo riesgo. (PACIFICO)</p>					
RESPONSABILIDAD DEL TRANSPORTISTA:					
<ul style="list-style-type: none">• Disponibilidad inmediata de unidades de acuerdo al requerimiento					
Atentamente.					
JESÚS MAURO SULCA BONILLA GERENTE GENERAL					

Fuente: MIJUSA TRAVES S.A.C., 2019

ANEXO 15 – TABLA DE DATOS TÉCNICOS – BANCO DE CAPACITORES, SET BOLÍVAR

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	REQUERIDO	GARANTIZADO
1.00	DATOS GENERALES			
	Nombre del fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo (designación de fábrica)		Inf. Fabricante	
	País de origen		Inf. Fabricante	
	Norma de construcción y ensayo		IEC 60871	
	Instalación		Interior	
	Altura de instalación sobre el nivel del mar	msnm	3550	
	Acceso		Frontal	
	Enclavamientos		Mecánicos y Eléctricos	
2.00	DATOS SISTEMA ELÉCTRICO			
	Tensión de servicio	kV	4.16	
	Tensión de diseño del equipo	kV	7	
	Frecuencia de la red	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Corriente asignada de corriente de cortocircuito de la barra (3 seg.) (Icc)	kA	3.66	
	Corriente de corto momentánea admisible (2,6 x Icc)	kA	10	
	Conexión a tierra del neutro		Estrella aterrado	
3.00	MÓDULO DE ACOMETIDA, PROTECCIÓN Y CONTROL			
3.01	Comportamiento de acometida		Si	
	Ingreso de cable		Inferior	
	Tipo y sección del cable		Requerido	
	Nivel de tensión	kV	7	
	Perfil metálico para apoyo y amarre de cables		Requerido	
3.02	Protección de Pararrayos			
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	Clase (IEC 60099-4)		Clase 2	
	Montaje		Interior	
	Tensión de nominal (Ur)	kV	7	
	Tensión de trabajo continuo (Uc)	kV	5.4	
	Corriente de descarga nominal (In 8/20 us)	kA	1.3	
3.03	Seccionador			
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	Montaje		Interior	
	Tensión de diseño	kV	7	
	Corriente asignada de corriente de cortocircuito de la barra (3 seg.) (Icc)	kA	3.66	
	Cuchilla de puesta a tierra		SI	

3.04	Protección Relé electrónico			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	Funciones:			
	<ul style="list-style-type: none"> Por desbalance de corriente en el neutro de la conexión Y-Y 		Requerido	
	Comunicaciones			
	<ul style="list-style-type: none"> DNP3 y Motbus TCP 		Si	
3.05	Control-Regulador automático de factor de Potencia		Si	
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	PLC o microprocesador		Requerido	
	Display		Requerido	
	Configuración		1:2	
	Señalización		Requerido	
	Número de pasos		2	
	Funciones de monitoreo de parámetros eléctricos		Requerido	
	Precisión		+/-1% (Full scale)	
	Protocolo de comunicación		Modbus	
3.06	Transformador de corriente de Linea			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	País de origen		Inf. Fabricante	
	Norma de construcción y ensayo		IEC 60044-1	
	Tipo de aislamiento		Resina	
	Instalación		Interior	
	Cantidad		3	
	Tensión de diseño	kV	7	
	Tensión de servicio	kV	4.16	
	Frecuencia de la red	Hz	60	
	Corriente de cortocircuito Ith (3 seg.)	kA	3.66	
	Corriente de cortocircuito Idyn	kA	10	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Relación de Transformación	A	600/1	
	Clase de precisión		5P20	
3.07	Transformador de tensión			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	País de origen		Inf. Fabricante	
	Tipo de aislamiento		Resina	
	Instalación		Interior	
	Cantidad		1	
	Tensión de diseño	kV	7	
	Tensión de servicio	kV	4.16	
	Frecuencia de la red	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	

	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Cantidad de secundarios		1	
	Relación de Transformación	kV	4.16:V3/0.11:V3	
	Clase de precisión		0.5	
4.00	MÓDULO DE POTENCIA			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	Total de potencia reactiva requerida	KVAR	700	
	Número de Etapas	Etapas	2	
4.01	Eta 1-2 350KVAR/4.16kV	Etapas	2	
	Potencia de la unidad	KVAR	700/2	
	Tensión Nominal	KV	4.16/v3kV	
	Número de fases de unidad capacitiva		Monofásico	
	Número de unidades por etapa	Unid	2	
	Estándar de fabricación		IEC60871-1	
	Conexión de las Unidades		Estrella	
4.02	Características Generales de las Unidades			
	Voltaje nominal	kV	4.16/v3	
	Frecuencia nominal	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Capacidad de sobrecarga			
	• Máximas variaciones permanentes de tensión		+10%, 12h al día	
	• Intensidad máxima admisible permanente		+30%	
	Pérdidas inferiores a 0.2 W/KVAR @ 20°C		Requerido	
	Fusible externo por elemento o capacidad unitaria		Requerido	
	Tensión de fabricación de los condensadores		10% superior a la tensión de servicio	
	Capacidad cortocircuito del banco	kA	3.66	
	Material de los electrodos		Aluminio	
	Dieléctrico		Película tipo film sin PCB	
5.00	Protección – Sistemas de descarga			
	Reducción de tensión residual desde el valor de cresta a 75V en 10 minutos.		Requerido	
5.01	Protección – Fusibles			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Catalogo		Inf. Fabricante	
	Montaje		Interior	
	Voltaje nominal	kV	4.16	
	Tensión de diseño	kV	7	
	Frecuencia nominal	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Capacidad		Inf. Fabricante	

5.02	Protección - Inductancias			
	Inductancia		Requerida	
	Tipo de inductancia		Desintonizada	
	Valor de inductancia	mH	Inf. Fabricante	
	Corriente nominal		Inf. Fabricante	
	Tensión nominal de servicio	kV	4.16	
	Frecuencia desintonizada	Hz	291	
5.03	Contactores unipolares para maniobra			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Catalogo		Inf. Fabricante	
	Montaje		Interior	
	Norma		ANSI / IEEE C37.66	
	Voltaje nominal	kV	4.16	
	Voltaje de aislamiento	kV	Inf. Fabricante	
	Frecuencia nominal	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	Inf. Fabricante	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	Inf. Fabricante	
	Corriente continua nominal	A	Inf. Fabricante	
	Interrupción de corriente capacitiva max	A	Inf. Fabricante	
	Corriente de cortocircuito simétrica 1 seg	A	Inf. Fabricante	
	Voltaje de control	Vdc	Inf. Fabricante	
	Tiempo de apertura / Cierre	ms	Inf. Fabricante	
	Linea de fuga fase a tierra	mm	Inf. Fabricante	
	Número de operaciones mecánicas	#	Inf. Fabricante	
	Categoría de restrike acorde a IEEE 37.66		C2	
5.04	Transformador de desbalance			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Toroidal	
	País de origen		Inf. Fabricante	
	Tipo de aislamiento		Resina	
	Instalación		Interior	
	Cantidad		2 por etapa	
	Clase		5P20	
6.00	DETALLE DE GABINETES			
	Envolvente			
	Grado de protección		IP52	
	Tipo		Metal Enclosed	
	Montaje		Autosportado	
	Material		Acero galvanizado	
	Instalación		Interior	
	Ventilación		Natural	
	Pintura		Gris claro RAL 7032	
	Acabado anticorrosivo y tropicalizado		Requerido	
	Peso aproximado		Inf. Fabricante	
	Dimensiones		Inf. Fabricante	
7.00	SISTEMA DE MITIGACIÓN CONTRA FALLAS DE ARCO INTERNO			
	Interruptor de acción rápida			
	Norma	IEC		

	Tensión Nominal	kV	4.16	
	Tensión a frecuencia industrial	kV	12	
	Tensión a impulsos tipo rayo	kV	32	
	Frecuencia nominal	Hz	60	
	Corriente no disruptiva nominal de corta duración	kA	Inf. Fabricante	
	Corriente no disruptiva de pico nominal	kA	Inf. Fabricante	
	Duración de cortocircuito	s	3	
	Intensidad nominal de producción de cortocircuito	kA	Inf. Fabricante	
	Tiempo de cierre	ms	< 1.6	
	Tiempo de extinción de arco	ms	4	
	Dimensiones	mm	137 x 210	
	Operaciones de la vida mecánica		1	
	Número de operaciones de cortocircuito		1	
	Duración en almacén	años	20	
	Tipo de detección		Optica	
	Tipo de Conexión		Fibra Optica	
	Relé de Detección		SI	
	Relé de Disparo		SI	
8.00	ACCESORIOS			
	Iluminación al interior de la envolvente		Requerido	
	Calefactores para anticondensación		Requerido	
	Lámparas de señalización: (Rojo: conectado, Verde: listo para conectar, Ambar: disparo)		Requerido	
	Placa características		Requerido	
9.00	PRUEBAS DE RUTINA			
	Control dimensional		Requerido	
	Verificación del cableado de los dispositivos de control, protección y señalización		Requerido	
	Comprobación de los enclavamientos		Requerido	
	Mediciones de capacidad y del tangente del ángulo de pérdidas (10% al azar del total de los condensadores y a dos unidades como mínimo).		Requerido	
	Cada batería de condensadores será sometido durante 10 segundos a uno de los ensayos:		Requerido	
	• Test de corriente continua		Requerido	
	• Test de corriente alterna		Requerido	
	Prueba de tensión alterna entre los terminales puenteados y la envolvente durante 10 segundos		Requerido	

Fuente: Elaboración propia, 2019

ANEXO 16 – TABLA DE DATOS TÉCNICOS – BANCO DE CAPACITORES, SET SAN JERÓNIMO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	REQUERIDO	GARANTIZADO
1.00	DATOS GENERALES			
	Nombre del fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo (designación de fábrica)		Inf. Fabricante	
	País de origen		Inf. Fabricante	
	Norma de construcción y ensayo		IEC 60871	
	Instalación		Interior	
	Altura de instalación sobre el nivel del mar	msnm	3550	
	Acceso		Frontal	
	Enclavamientos		Mecánicos y Eléctricos	
2.00	DATOS SISTEMA ELECTRICO			
	Tensión de servicio	kV	4.16	
	Tensión de diseño del equipo	kV	7	
	Frecuencia de la red	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Corriente asignada de corriente de cortocircuito de la barra (3 seg.) (Icc)	kA	3.94	
	Corriente de corto momentánea admisible (2,6 x Icc)	kA	10	
	Conexión a tierra del neutro		Estrella aterrado	
3.00	MÓDULO DE ACOMETIDA, PROTECCIÓN Y CONTROL			
3.01	Comportamiento de acometida		Si	
	Ingreso de cable		Inferior	
	Tipo y sección del cable		Requerido	
	Nivel de tensión	kV	7	
	Perfil metálico para apoyo y amarre de cables		Requerido	
3.02	Protección de Pararrayos			
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	Clase (IEC 60099-4)		Clase 2	
	Montaje		Interior	
	Tensión de nominal (Ur)	kV	7	
	Tensión de trabajo continuo (Uc)	kV	5.4	
	Corriente de descarga nominal (In 8/20 us)	kA	1.3	
3.03	Seccionador			
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	Montaje		Interior	
	Tensión de diseño	kV	7	
	Corriente asignada de corriente de cortocircuito de la barra (3 seg.) (Icc)	kA	3.94	
	Cuchilla de puesta a tierra		SI	

3.04	Protección Relé electrónico			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	Funciones:			
	<ul style="list-style-type: none"> Por desbalance de corriente en el neutro de la conexión Y-Y 		Requerido	
	Comunicaciones			
	<ul style="list-style-type: none"> DNP3 y Motbus TCP 		Si	
3.05	Control-Regulador automático de factor de Potencia		Si	
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	PLC o microprocesador		Requerido	
	Display		Requerido	
	Configuración		1:4	
	Señalización		Requerido	
	Numero de pasos		4	
	Funciones de monitoreo de parámetros electricos		Requerido	
	Precisión		+/-1% (Full scale)	
	Protocolo de comunicación		Modbus	
3.06	Transformador de corriente de Linea			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	País de origen		Inf. Fabricante	
	Norma de construcción y ensayo		IEC 60044-1	
	Tipo de aislamiento		Resina	
	Instalación		Interior	
	Cantidad		3	
	Tensión de diseño	kV	7	
	Tensión de servicio	kV	4.16	
	Frecuencia de la red	Hz	60	
	Corriente de cortocircuito Ith (3 seg.)	kA	3.94	
	Corriente de cortocircuito Idyn	kA	10	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Relación de Transformación	A	600/1	
	Clase de precisión		5P20	
3.07	Transformador de tensión			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	País de origen		Inf. Fabricante	
	Tipo de aislamiento		Resina	
	Instalación		Interior	
	Cantidad		1	
	Tensión de diseño	kV	7	
	Tensión de servicio	kV	4.16	
	Frecuencia de la red	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	

	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Cantidad de secundarios		1	
	Relación de Transformación	kV	4.16:V3/0.11:V3	
	Clase de precisión		0.5	
4.00	MÓDULO DE POTENCIA			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Inf. Fabricante	
	Total de potencia reactiva requerida	KVAR	1400	
	Número de Etapas	Etapas	4	
4.01	Etapa 1-2-3 y 4 350KVAR/4.16kV	Etapas	4	
	Potencia de la unidad	KVAR	1500/4	
	Tensión Nominal	KV	4.16/v3kV	
	Número de fases de unidad capacitiva		Monofásico	
	Número de unidades por etapa	Unid	4	
	Estándar de fabricación		IEC60871-1	
	Conexionado de las Unidades		Estrella	
4.02	Características Generales de las Unidades			
	Voltaje nominal	kV	4.16/v3	
	Frecuencia nominal	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Capacidad de sobrecarga			
	• Máximas variaciones permanentes de tensión		+10%, 12h al día	
	• Intensidad máxima admisible permanente		+30%	
	Pérdidas inferiores a 0.2 W/KVAR @ 20°C		Requerido	
	Fusible externo por elemento o capacidad unitaria		Requerido	
	Tensión de fabricación de los condensadores		10% superior a la tensión de servicio	
	Capacidad cortocircuito del banco	kA	3.94	
	Material de los electrodos		Aluminio	
	Dieléctrico		Película tipo film sin PCB	
5.00	Protección – Sistemas de descarga			
	Reducción de tensión residual desde el valor de cresta a 75V en 10 minutos.		Requerido	
5.01	Protección – Fusibles			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Catálogo		Inf. Fabricante	
	Montaje		Interior	
	Voltaje nominal	kV	4.16	
	Tensión de diseño	kV	7	
	Frecuencia nominal	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	12	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	32	
	Capacidad		Inf. Fabricante	

5.02	Protección - Inductancias			
	Inductancia		Requerida	
	Tipo de inductancia		Desintonizada	
	Valor de inductancia	mH	Inf. Fabricante	
	Corriente nominal		Inf. Fabricante	
	Tensión nominal de servicio	kV	4.16	
	Frecuencia desintonizada	Hz	291	
5.03	Contactores unipolares para maniobra			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Catalogo		Inf. Fabricante	
	Montaje		Interior	
	Norma		ANSI / IEEE C37.66	
	Voltaje nominal	kV	4.16	
	Voltaje de aislamiento	kV	Inf. Fabricante	
	Frecuencia nominal	Hz	60	
	Ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (1 min.)	kV	Inf. Fabricante	
	Nivel de Aislamiento (BIL)	kV	Inf. Fabricante	
	Corriente continua nominal	A	Inf. Fabricante	
	Interrupción de corriente capacitiva max	A	Inf. Fabricante	
	Corriente de cortocircuito simétrica 1 seg	A	Inf. Fabricante	
	Voltaje de control	Vdc	Inf. Fabricante	
	Tiempo de apertura / Cierre	ms	Inf. Fabricante	
	Linea de fuga fase a tierra	mm	Inf. Fabricante	
	Número de operaciones mecánicas	#	Inf. Fabricante	
	Categoría de restrike acorde a IEEE 37.66		C2	
5.04	Transformador de desbalance			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Modelo / Tipo		Toroidal	
	País de origen		Inf. Fabricante	
	Tipo de aislamiento		Resina	
	Instalación		Interior	
	Cantidad		2 por etapa	
	Clase		5P20	
6.00	DETALLE DE GABINETES			
	Envolvente			
	Grado de protección		IP52	
	Tipo		Metal Enclosed	
	Montaje		Autosoportado	
	Material		Acero galvanizado	
	Instalación		Interior	
	Ventilación		Natural	
	Pintura		Gris claro RAL 7032	
	Acabado anticorrosivo y tropicalizado		Requerido	
	Peso aproximado		Inf. Fabricante	
	Dimensiones		Inf. Fabricante	
7.00	SISTEMA DE MITIGACIÓN CONTRA FALLAS DE ARCO INTERNO			
	Interruptor de acción rápida			
	Norma	IEC		

	Tensión Nominal	kV	4.16	
	Tensión a frecuencia industrial	kV	12	
	Tensión a impulsos tipo rayo	kV	32	
	Frecuencia nominal	Hz	60	
	Corriente no disruptiva nominal de corta duración	kA	Inf. Fabricante	
	Corriente no disruptiva de pico nominal	kA	Inf. Fabricante	
	Duración de cortocircuito	s	3	
	Intensidad nominal de producción de cortocircuito	kA	Inf. Fabricante	
	Tiempo de cierre	ms	< 1.6	
	Tiempo de extinción de arco	ms	4	
	Dimensiones	mm	137 x 210	
	Operaciones de la vida mecánica		1	
	Número de operaciones de cortocircuito		1	
	Duración en almacén	años	20	
	Tipo de detección		Optica	
	Tipo de Conexión		Fibra Optica	
	Relé de Detección		SI	
	Relé de Disparo		SI	
8.00	ACCESORIOS			
	Iluminación al interior de la envolvente		Requerido	
	Calefactores para anticondensación		Requerido	
	Lámparas de señalización: (Rojo: conectado, Verde: listo para conectar, Ambar: disparo)		Requerido	
	Placa características		Requerido	
9.00	PRUEBAS DE RUTINA			
	Control dimensional		Requerido	
	Verificación del cableado de los dispositivos de control, protección y señalización		Requerido	
	Comprobación de los enclavamientos		Requerido	
	Mediciones de capacidad y del tangente del ángulo de pérdidas (10% al azar del total de los condensadores y a dos unidades como mínimo).		Requerido	
	Cada batería de condensadores será sometido durante 10 segundos a uno de los ensayos:		Requerido	
	• Test de corriente continua		Requerido	
	• Test de corriente alterna		Requerido	
	Prueba de tensión alterna entre los terminales puenteados y la envolvente durante 10 segundos		Requerido	

Fuente: Elaboración propia, 2019

ANEXO 17 – TABLA DE DATOS TÉCNICOS – CABLE DE COBRE UNIPOLAR TIPO N2XSY DE 50 MM2

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZADO
1.0	GENERAL			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	País de Fabricación		Inf. Fabricante	
	Norma		N.T.P. -IEC 60502-2	
2.0	DESIGNACION N2XSY			
	Tensión Nominal Eo/E	kV	3.6/6	
	Temperatura máxima a condiciones normales	°C	90	
	Temperatura máxima en cortocircuito (5 s. Máximo)	°C	250	
3.0	CONDUCTOR DE FASE			
	Norma		N.T.P. 370.042	
	Material		Cobre recocido sin recubrimiento	
	Pureza	%	99.9	
	Sección Nominal	mm ²	50	
	Diámetro exterior del conductor	mm	21	
	Número de alambres mínimo	Nº	6	
	Densidad a 20 °C	gr/cm ³	Inf. Fabricante	
	Resistividad eléctrica a 20 °C	ohm.mm ² /m	Inf. Fabricante	
	Resistencia eléctrica máxima en CC a 20°C	Ohm/km	0.375	
4.00	Aislamiento			
	- Material		XLPE	
	- Color		natural	
	- Espesor nominal promedio	mm	2.5	
5.00	Pantalla			
	- Cinta semiconductora o compuesto semiconductor extruido sobre el conductor		Si	
	- Sobre el aislante:			
	Cinta semiconductora o compuesto semiconductor extruido		Si	
	Cintas o malla trenzada de cobre con Resistencia menor a 3 ohm/km a 20°C		Si	
6.00	Cubierta			
	- Material		PVC - Tipo CT5	
	- Color		Rojo	
	- Espesor	mm	1.8	
7.00	Pruebas			
	Tensión de ensayo de Continuidad de aislamiento	kV	Inf. Fabricante	

Fuente: Elaboración propia, 2019

ANEXO 18 – TABLA DE DATOS TÉCNICOS – TERMINACIONES PARA CABLES DE ENERGÍA DE 50 MM2

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZADO
1.0	País de procedencia		Inf. Fabricante	
2.0	Fabricante		Inf. Fabricante	
3.0	Normas		IEEE Std 48	
4.0	Tecnología de Terminación		Instalación en frío	
5.0	Certificaciones Internacionales de Calidad		Si	
6.0	Instalación		Interior/Exterior	
7.0	Tensión Nominal de la Terminación (E/Eo)	kVrms	3.6/6	
8.0	Nivel de Descarga Corona (3pC)	kVrms	13	
9.0	Tensión Sostenida			
	AC por 1 minuto en Seco	kVrms	Inf. Fabricante	
	AC por 10 segundos en Húmedo	kVrms	Inf. Fabricante	
	AC por 6 horas en Seco	kVrms	Inf. Fabricante	
	DC por 15 minutos	kVrms	Inf. Fabricante	
10.0	Tensión de Impulso (BIL)	kVpico	Inf. Fabricante	
11.0	Cable			
	Calibre	mm2	50	
	Sistema		Unipolar	
	Tipo de Aislamiento		Seco (Extruído)	
	Material del Conductor		Cobre	
	Tensión Nominal del Cable (E/Eo)	kVrms	3.6/6	

Fuente: Elaboración propia, 2019

ANEXO 19 – TABLA DE DATOS TÉCNICOS – CONDUCTOR DE COBRE PARA PUESTA A TIERRA 70 MM2

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZADO
1.1	País de Procedencia		Inf. Fabricante	
1.2	Fabricante		Inf. Fabricante	
1.3	Norma de Fabricación		NTP 370.251	
1.4	Material del Conductor		Cobre Electrolítico Recocido	
1.5	Pureza	%	100	
1.6	Sección nominal	mm ²	70	
1.7	Número de alambres	Nº	19	
1.8	Diámetro del alambre	mm	2.39	
1.9	Diámetro del conductor	mm	11.94	
2.0	Masa Nominal	kg/km	771	
2.1	Resistencia eléctrica	Ω/km	0.263	
2.2	Capacidad de corriente	A	425	

Fuente: Elaboración propia, 2019

ANEXO 20 – TABLA DE DATOS TÉCNICOS – CONDUCTOR DE COBRE PARA PUESTA A TIERRA 70 MM2

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZADO
1.0	CONECTORES			
	País de Procedencia		Inf. Fabricante	
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Norma de fabricación y pruebas		UNE 21021 NEMA CC1	
	Material		Bronce	
	Resistencia a la tracción	kg/mm2	21	
	Límite de elasticidad	%	10	
	Resistividad	$\mu\Omega$ cm	12/14	
	Alargamiento de ruptura	%	10	
	Dureza Brinell		60	
1.1	Conector simple para cable a superficie plana			
	Sección de conductor a aplicar	mm2	70	

Fuente: Elaboración propia, 2019

ANEXO 21 – TABLA DE DATOS TÉCNICOS – MOLDES Y SOLDADURAS EXOTÉRMICA

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	OFERTADO
1	MOLDE PARA SOLDADURA DE "T"			
	Material		Grafito	
	Tipo		"T"	
	Sección de conductor a aplicar	mm2	70	
2	SOLDADURA EXOTERMICA "T"			
	DATOS GENERALES			
	Fabricante		Inf. Fabricante	
	Número o código de catalogo		Inf. Fabricante	
	País de fabricación		Inf. Fabricante	
	Nivel de contaminación		Media	
	Índice de corrosión		Media	
	Tipo		"T"	
	DATOS TECNICOS			
	Normas de fabricación		IEC	
	Material polvo		Inf. Fabricante	
	Material del envolverte		plástico	
	Peso	gr	100	
	Sellado		hermético	
	Sección de conductor aplicar	mm2	70	

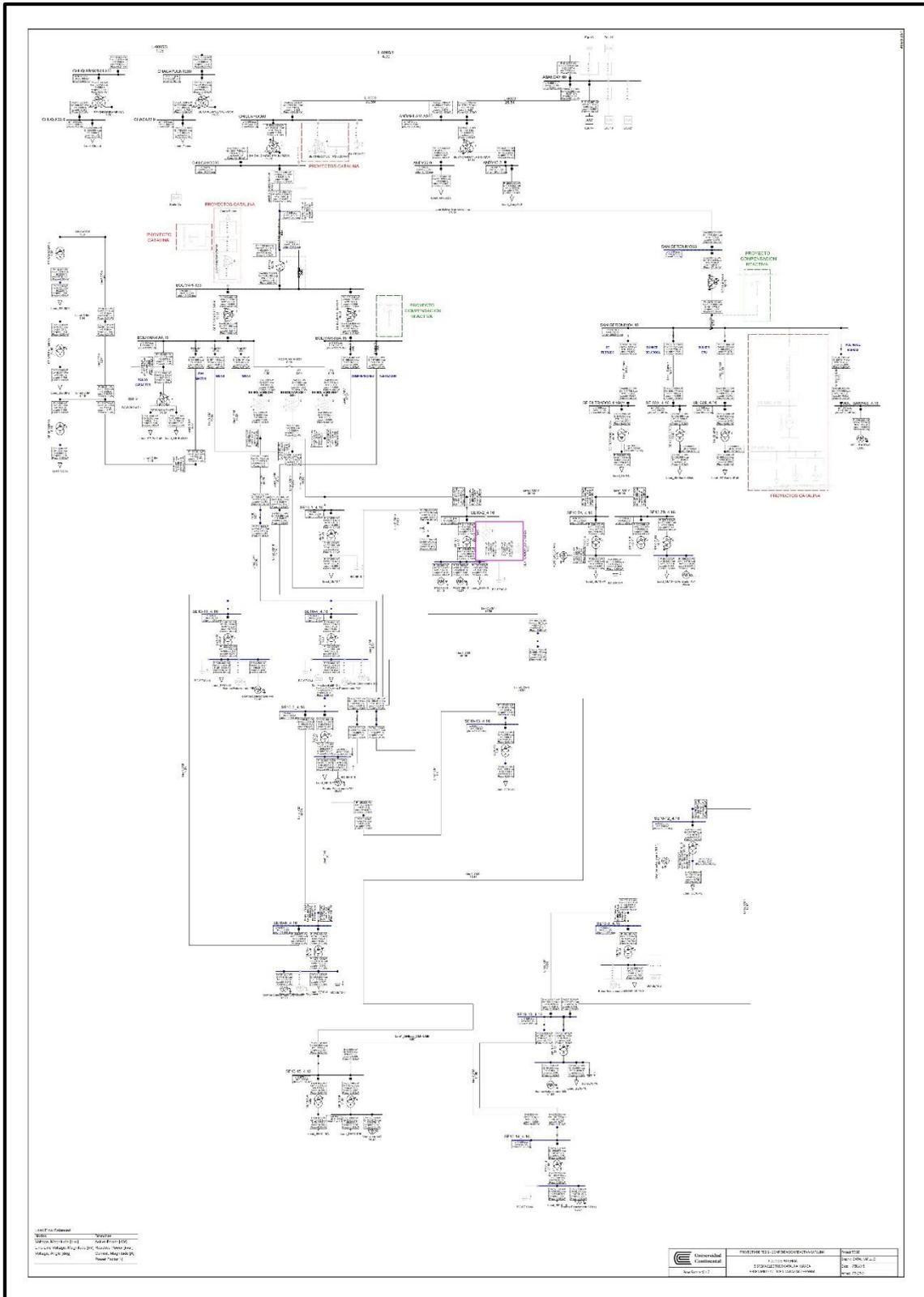
Fuente: Elaboración propia, 2019

ANEXO 22 – TABLA DE DATOS TÉCNICOS – TUBO PVC - SAP 3/4"

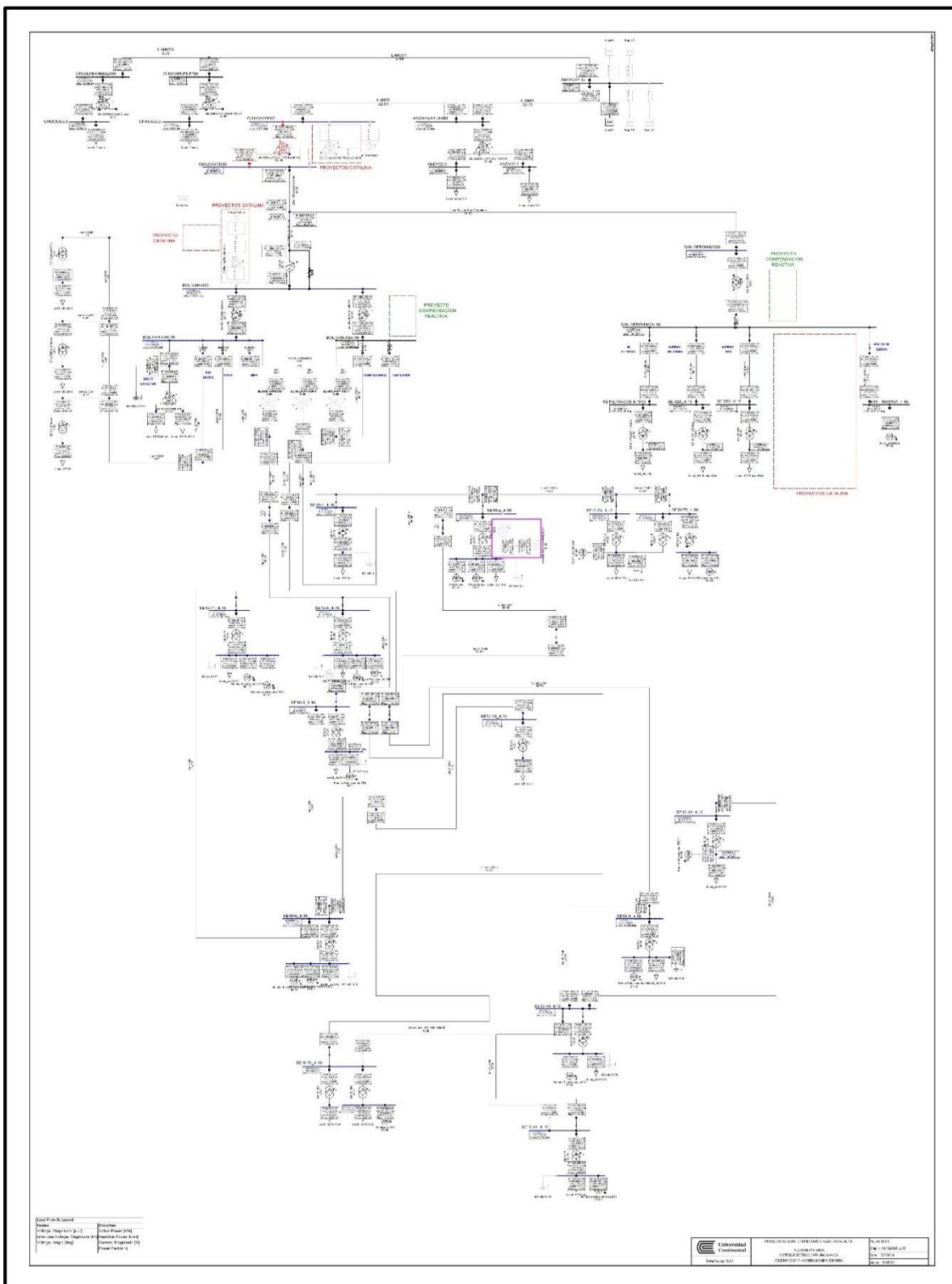
Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZADO
1.0	CARACTERISTICAS GENERALES			
1.1	Fabricante		Inf. Fabricante	
1.2	Normas de Fabricación y pruebas		NTP 399.006	
1.3	Material		PVC	
1.4	Tipo		Pesado (SAP)	
2.0	DIMENSIONES			
2.1	Diámetro nominal	Pulgadas	3/4	
2.2	Diámetro exterior	mm	21	
2.3	Longitud	m	3	
2.4	Espesor	mm	1.8	
2.5	Peso	kg	0.65	

Fuente: Elaboración propia, 2019

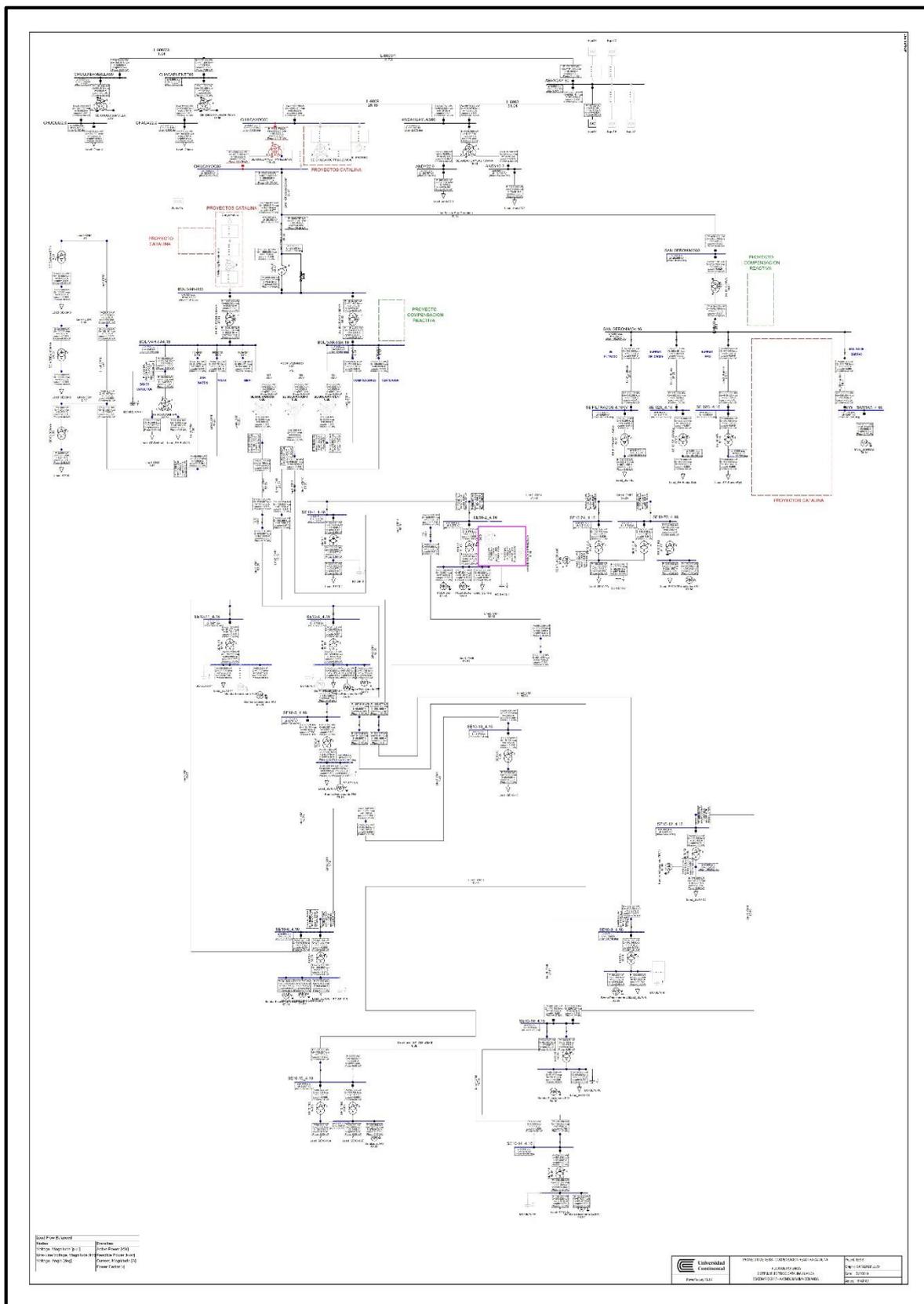
ANEXO 23 – FLUJO DE POTENCIA, SIN COMPENSACIÓN REACTIVA, AVENIDA MÁXIMA DEMANDA 2017



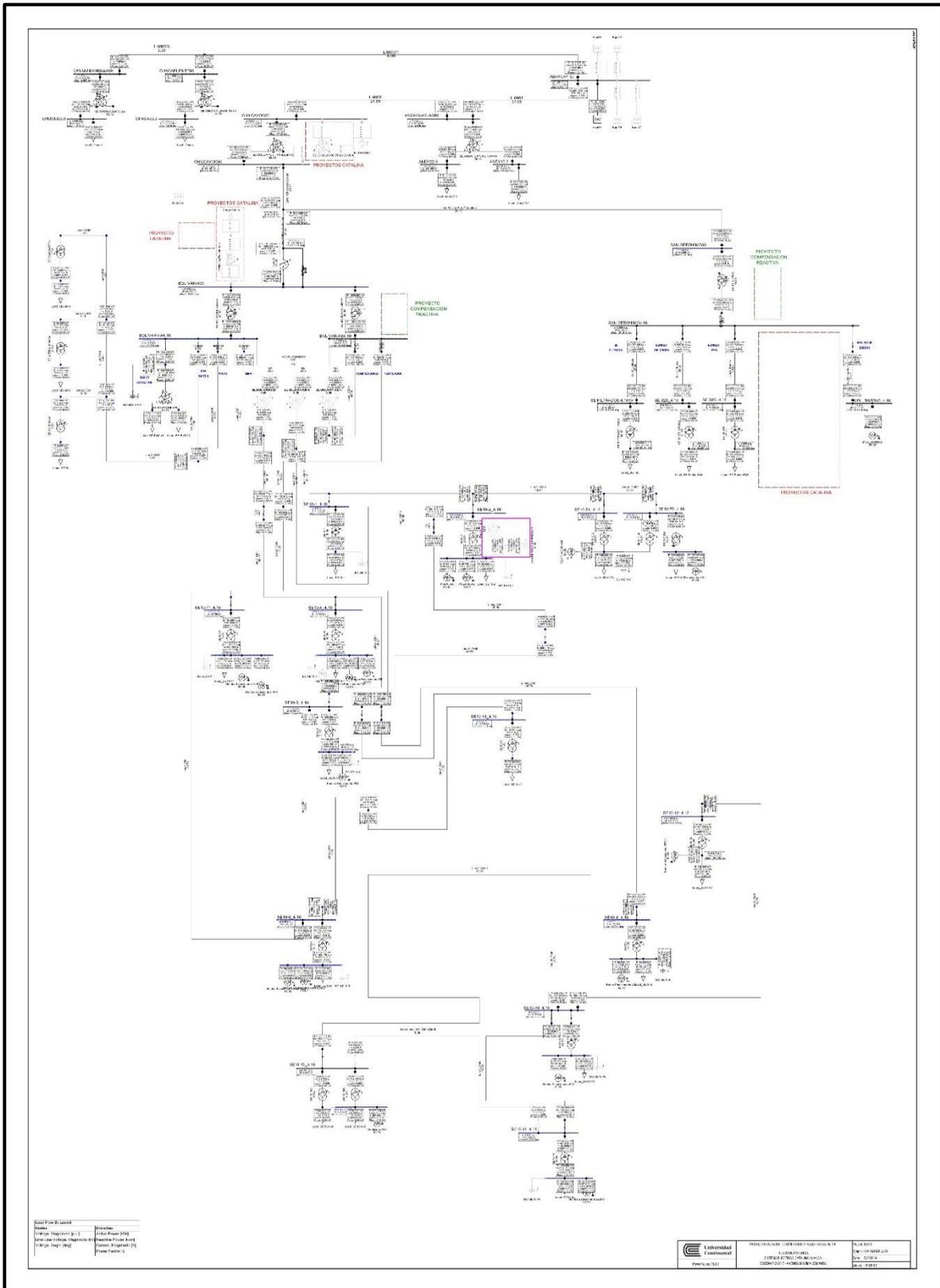
ANEXO 24 – FLUJO DE POTENCIA, SIN COMPENSACIÓN REACTIVA, AVENIDA MEDIA DEMANDA 2017



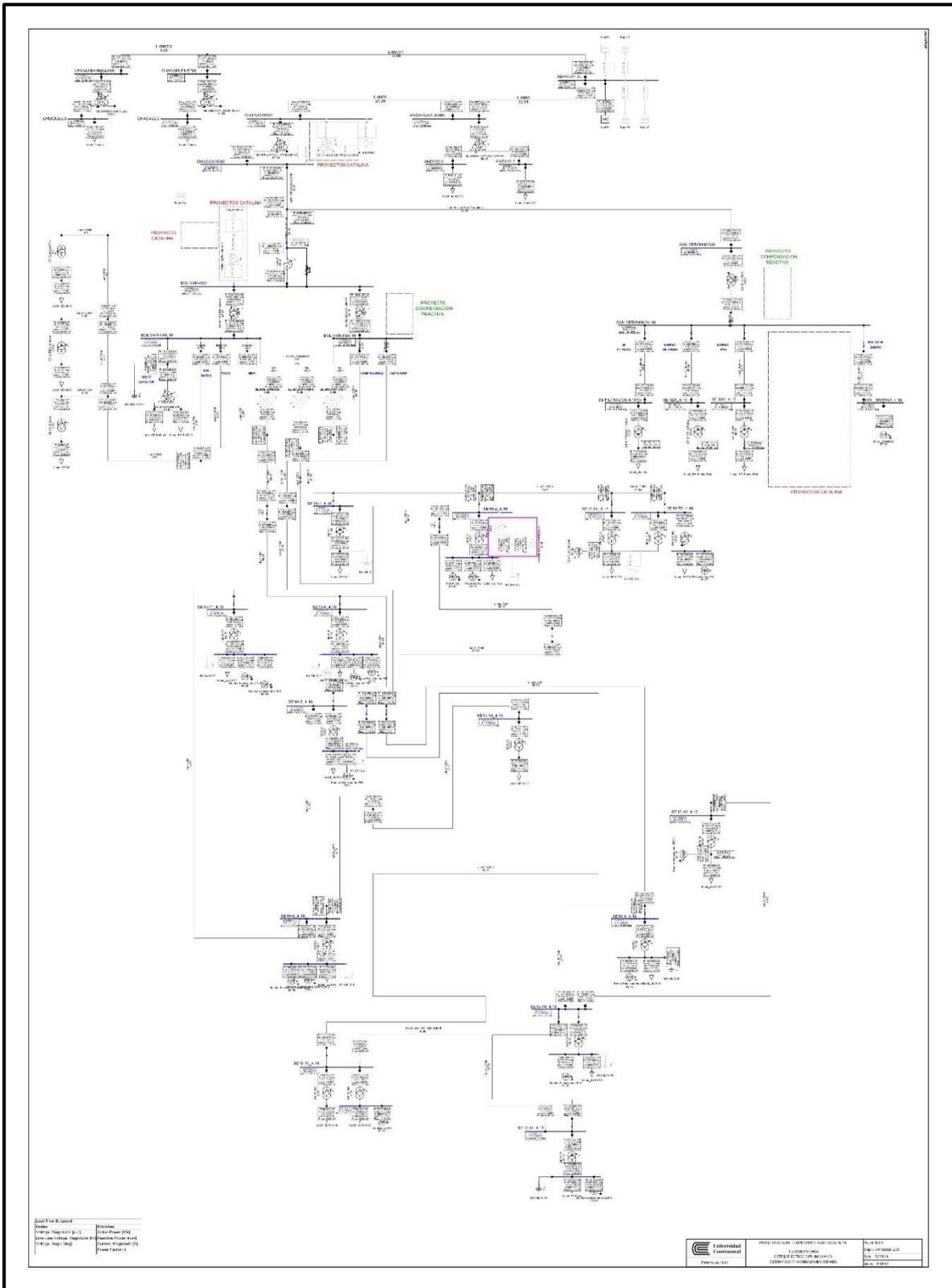
ANEXO 25 – FLUJO DE POTENCIA, SIN COMPENSACIÓN REACTIVA, AVENIDA MÍNIMA DEMANDA 2017



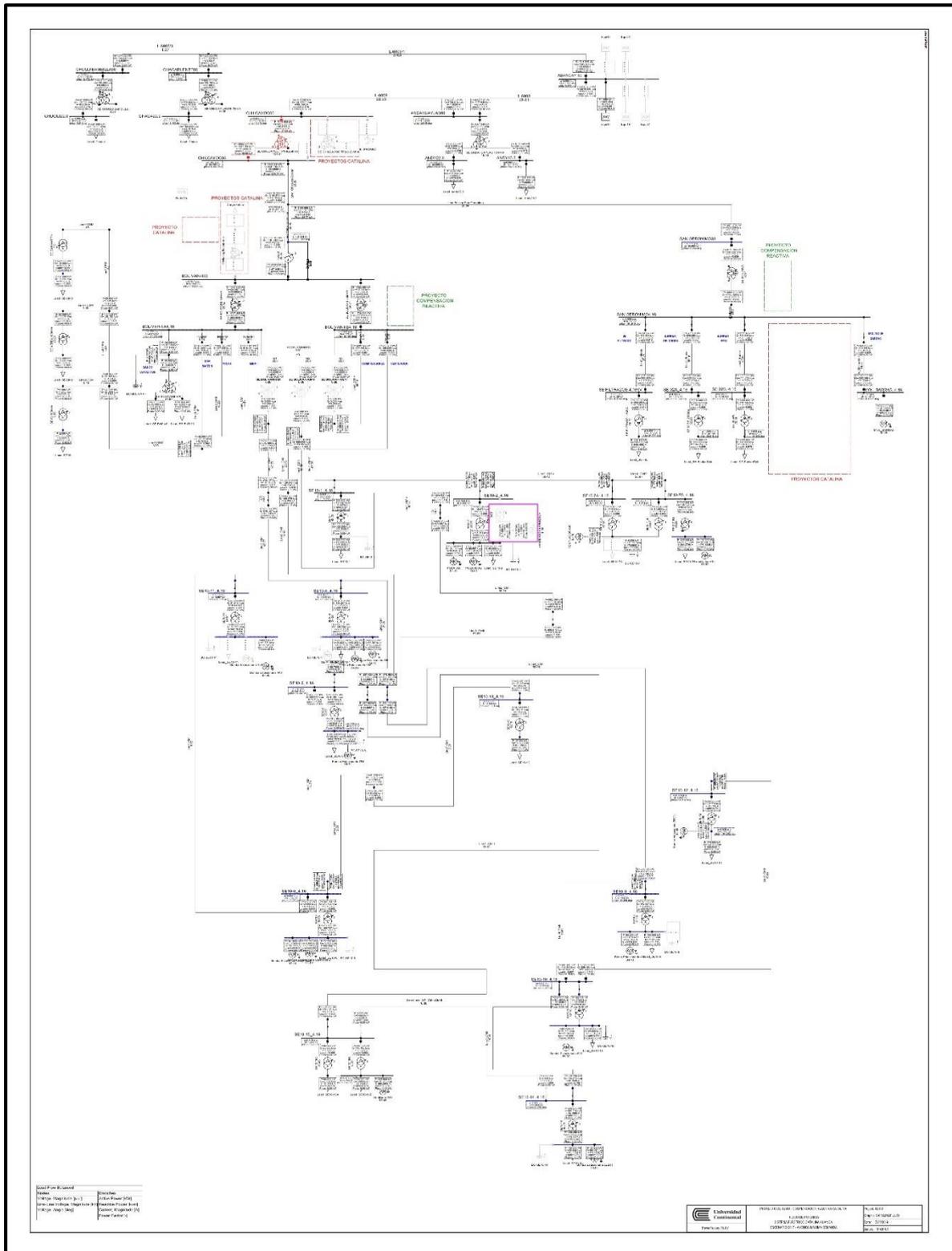
ANEXO 26 – FLUJO DE POTENCIA, SIN COMPENSACIÓN REACTIVA, ESTIAJE MÁXIMA DEMANDA 2017



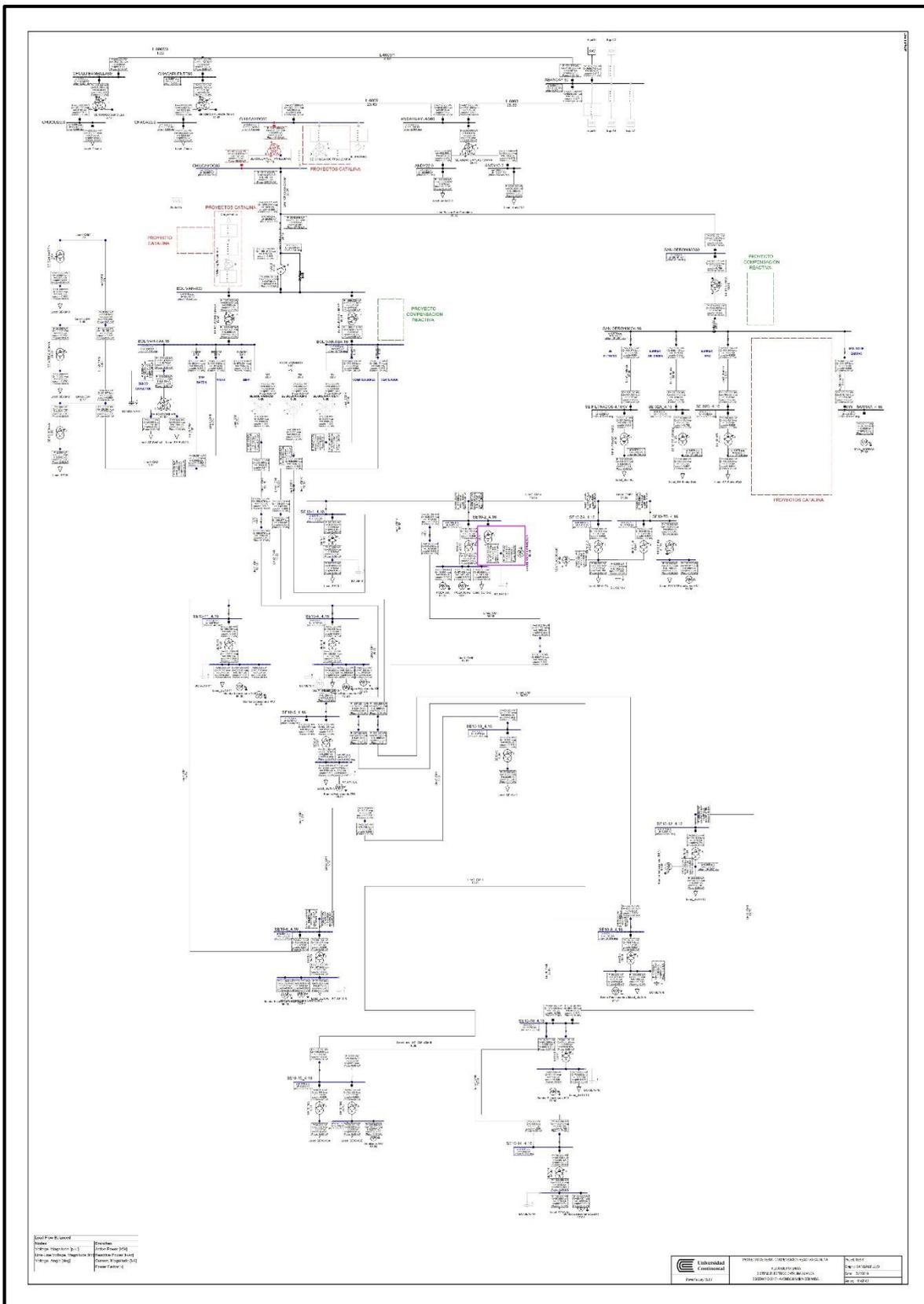
ANEXO 27 – FLUJO DE POTENCIA, SIN COMPENSACIÓN REACTIVA, ESTIAJE MEDIA DEMANDA 2017



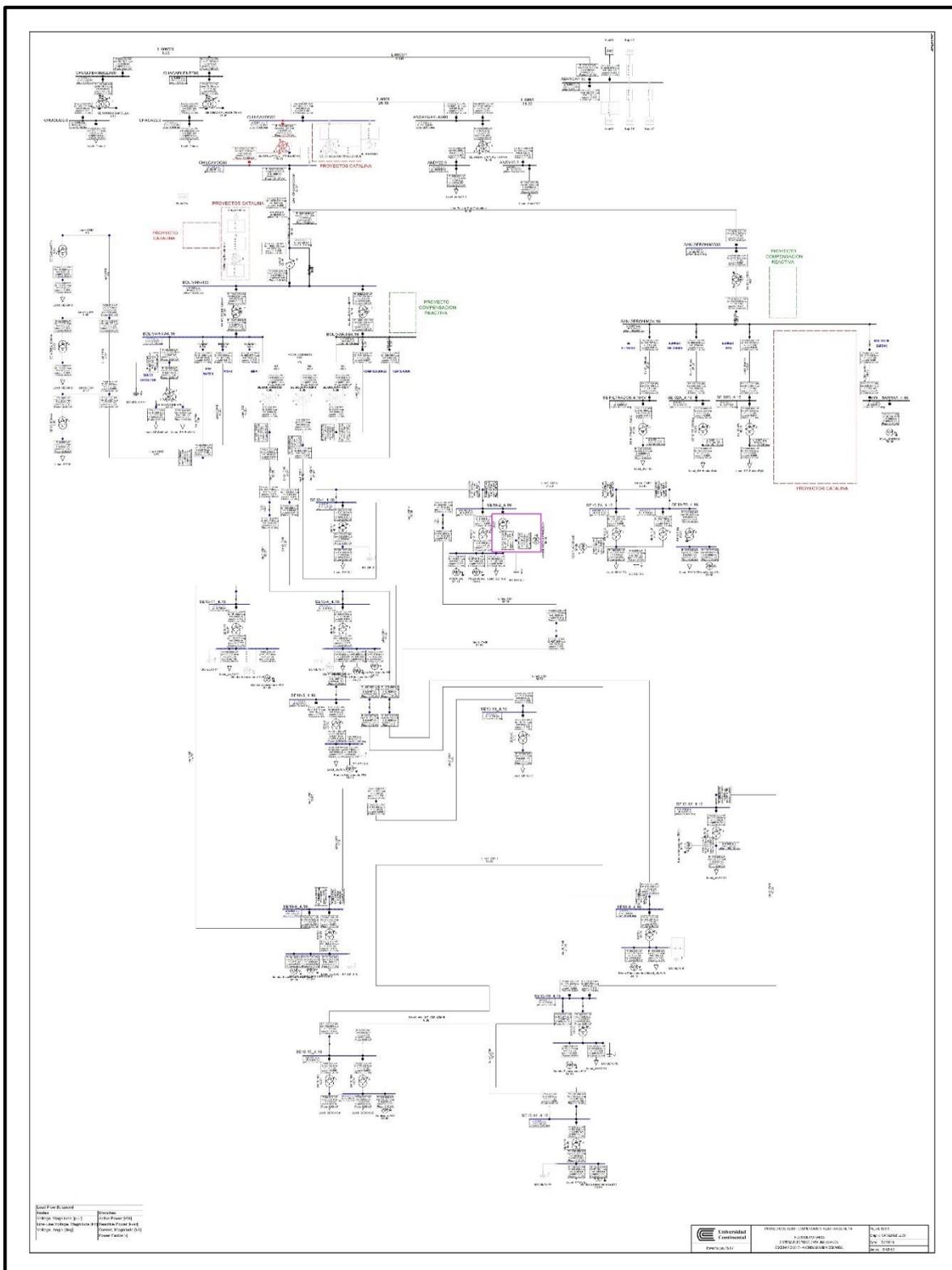
ANEXO 28 – FLUJO DE POTENCIA, SIN COMPENSACIÓN REACTIVA, ESTIAJE MÍNIMA DEMANDA 2017



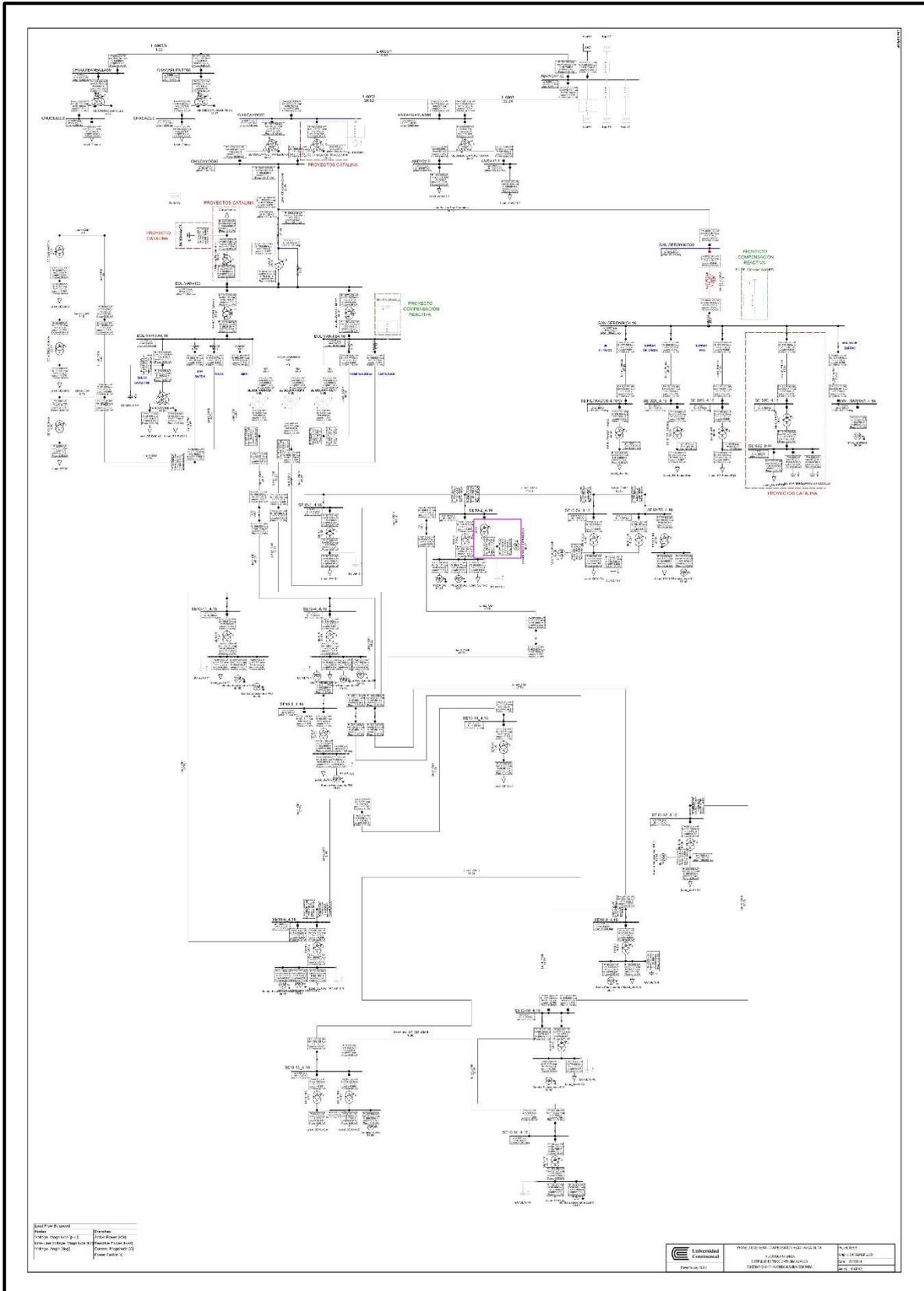
ANEXO 30 – FLUJO DE POTENCIA, SIN COMPENSACIÓN REACTIVA, AVENIDA MEDIA DEMANDA 2018



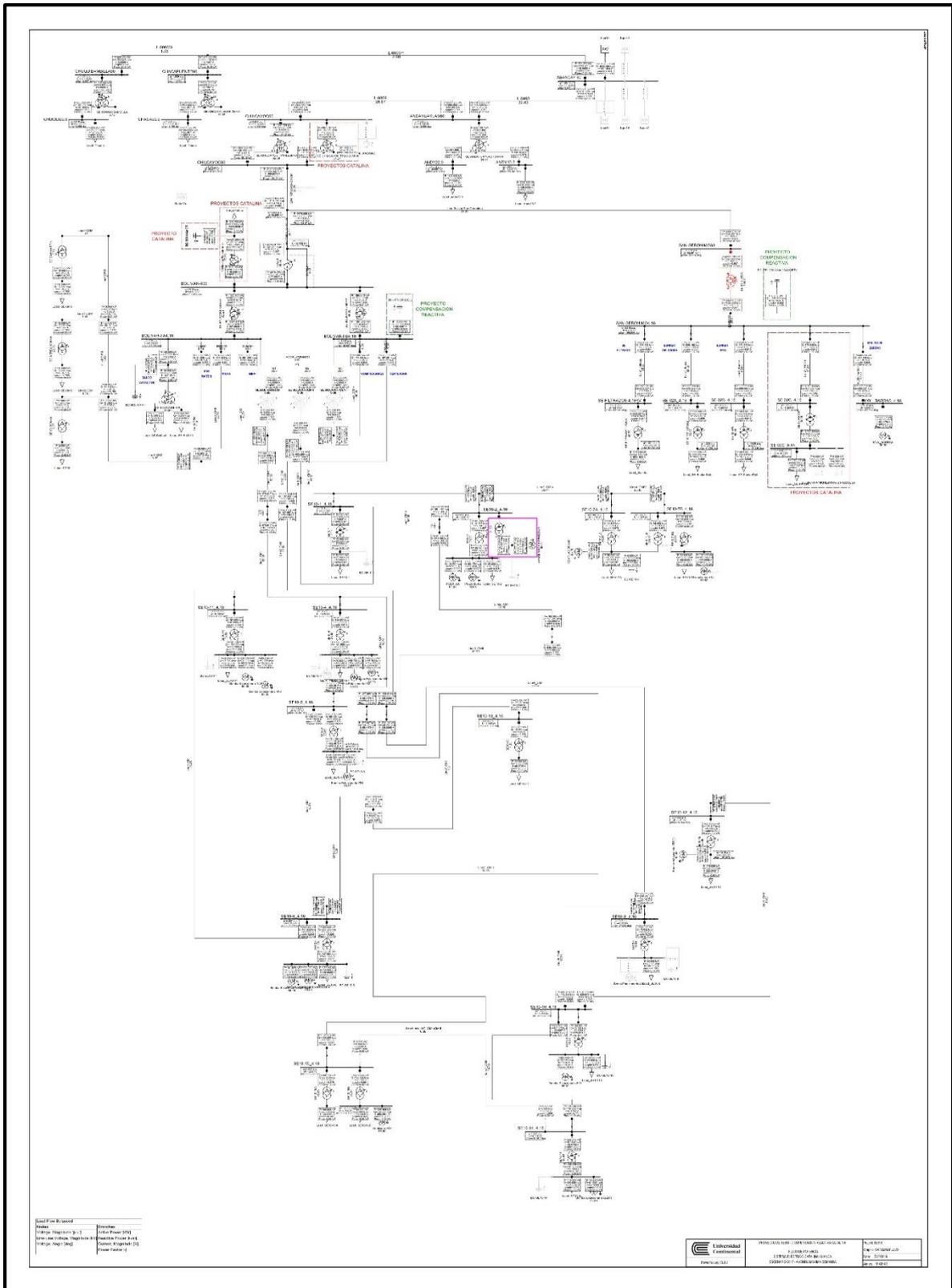
ANEXO 31 – FLUJO DE POTENCIA, SIN COMPENSACIÓN REACTIVA, AVENIDA MÍNIMA DEMANDA 2018



ANEXO 33 – FLUJO DE POTENCIA, SIN COMPENSACIÓN REACTIVA, ESTIAJE MEDIA DEMANDA 2018



ANEXO 35 – FLUJO DE POTENCIA, CON COMPENSACIÓN REACTIVA, ESTIAJE MÁXIMA DEMANDA 2018



ANEXO 36 – FLUJO DE POTENCIA, CON COMPENSACIÓN REACTIVA, ESTIAJE MEDIA DEMANDA 2018

