

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Análisis de la eficiencia del banco de condensadores
por incremento de potencia activa en la subestación
eléctrica de Chimay, provincia de Jauja, región Junín**

Ivan Jhonatan Guadalupe Arellano

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

DEDICATORIA

En primera instancia, a Dios por darme la vida, fortalecerme y bendecirme bondadosamente con una inteligencia para seguir esta digna carrera de la ingeniería eléctrica.

Seguidamente dedico a mi preciosa madre Nérida Arellano Calderón, por sus sabios consejos y su apoyo incondicional en todo mi desarrollo profesional para hacer posible de alcanzar mis metas proyectadas.

Así mismo este presente trabajo de investigación va dedicado para todos mis colegas de la hermandad de linieros del Perú y del mundo, con quien desarrolle muchos proyectos de líneas de transmisión de 220kV y 500kV, motivo fundamental para ejercer la carrera de la ingeniería eléctrica, con el propósito de continuar desarrollando y dirigir proyectos de líneas de transmisión a nivel nacional e internacional.

AGRADECIMIENTO

A mi padre que está en el cielo, Pascual Guadalupe Córdor y al divino creador, por otorgarme la vida y la fuerza espiritual, para poder seguir disfrutando de cada momento de la vida a lado de familiares y personas que me rodean y sobre todo por guiarme correctamente hasta llegar a las metas propuestas.

Agradecimiento especialmente a mi madre por sus consejos y apoyo incondicional para lograr mis objetivos, también a mis hermanos por estar impulsándome en todo momento para seguir progresando profesionalmente.

También agradecer a la Universidad Continental especialmente a la Facultad de Ingeniería, por acogerme en sus claustros universitarios y formarme como persona y a los docentes de la escuela académica profesional de Ingeniería Eléctrica, por formarme ético y profesionalmente con sus sabias enseñanzas y experiencias.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está referido al análisis de la eficiencia del banco de condensadores por el incremento de la potencia activa en la subestación eléctrica de Chimay, lo que a su vez servirá de piloto para aplicarlo en otros bancos de condensadores con características similares.

Se aplicó el método sistémico para identificar las causas y consecuencias del incremento de potencia activa en la subestación eléctrica, que también servirá para tomar decisiones en el plan operativo anual y el plan estratégico respectivo.

La causa fundamental de las variaciones que se producen en el sistema eléctrico depende del incremento o disminución de la demanda máxima, por ende, se debe analizar en horas punta y en horas fuera de punta.

En conclusión, como resultado se logrará obtener la diferencia que existiera en el factor de potencia y si esto afectaría en la eficiencia del banco de condensadores, en relación al incremento de potencia activa en el sistema eléctrico, de acuerdo a los datos estadísticos y cálculos efectuados, por lo tanto, se deduce que el banco de condensadores se encuentra en óptimas condiciones de eficiencia y contribuye con la disminución de la potencia reactiva del transformador de la subestación eléctrica de Chimay.

Palabras Clave:

Eficiencia, banco de condensadores, potencia activa, demanda máxima.

ABSTRACT

This research work refers to the analysis of the efficiency of the capacitor bank due to the increase in active power at the Chimay electrical substation, which in turn will serve as a pilot to be applied in other capacitor banks with similar characteristics.

The analytical method was applied to identify the causes and consequences of the increase of active power in the electrical substation, which will also serve to make decisions in the annual operating plan and the respective strategic plan.

The fundamental cause of the variations that occur in the electrical system depends on the increase or decrease of the maximum demand, therefore, it must be analyzed at peak times and off-peak hours.

In conclusion, as a result it will be possible to obtain the difference that exists in the power factor and if this would affect the efficiency of the capacitor bank, in relation to the increase of active power in the electrical system, according to the statistical data and calculations made, therefore, it follows that the capacitor bank is in optimal efficiency conditions and contributes to the reduction of the reactive power of the Chimay electrical substation transformer.

Keywords:

Efficiency, capacitor bank, active power, maximum demand.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPITULO I	15
1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema	15
1.2. Planteamiento del problema	15
1.3. Formulación de problema	16
1.3.1. Problema general	16
1.3.2. Problema específico.....	16
1.4. Objetivos de la investigación	16
1.4.1. Objetivo General	16
1.4.2. Objetivo Específico.....	16
1.5. Justificación e Importancia.....	16
1.5.1. Justificación Social	17
1.5.2. Justificación Técnica	17
1.5.3. Justificación Económica	18
1.6. Hipótesis y Descripción de variables	18
1.6.1. Hipótesis general.....	18
1.6.2. Hipótesis específico	18
1.7. Descripción de variables.....	19
1.7.1. Variable dependiente	19
1.7.2. Variable independiente.....	19
1.8. Operacionalización de las variables.....	19
CAPITULO II	21
2. MARCO TEÓRICO.....	21

2.1.	Antecedente de la investigación	21
2.1.1.	Nacional	21
2.1.2.	Internacional.....	25
2.2.	Bases Teóricas	30
2.2.1.	La energía eléctrica.....	30
2.2.2.	Condensador eléctrico	31
2.2.3.	Banco de condensadores.....	31
2.2.4.	Contactador para condensadores	34
2.2.5.	Fusibles para condensadores	36
2.2.6.	Interruptor para condensadores	37
2.2.7.	Conductores eléctricos.....	38
2.2.8.	Eficiencia eléctrica.....	39
2.2.9.	Potencia activa	39
2.2.10.	Potencia reactiva.....	41
2.2.11.	Potencia aparente	41
2.2.12.	Factor de potencia.....	42
2.2.13.	Parámetros para dimensionar banco de condensadores	44
2.3.	Definición de términos básicos	44
2.3.1.	Eficiencia de banco de condensadores.....	44
2.3.2.	Incremento de potencia activa	46
2.3.3.	Demanda máxima	47
2.3.4.	En que afecta la energía reactiva a los usuarios.....	48
2.4.	Clasificación de los bancos de condensadores	50
2.4.1.	Banco de condensadores fijos	50
2.4.2.	Banco de condensadores automático	50
2.4.3.	Banco de condensadores mixto	51
2.5.	Instalación y puesta en servicio.	51
CAPITULO III	.....	55
3.	METODOLOGÍA.....	55
3.1.	Método, tipo y nivel de la investigación.....	55
3.1.1.	Método de la investigación.....	55
3.1.2.	Tipo de investigación.....	55
3.1.3.	Nivel de investigación.....	56

3.2.	Diseño de la investigación	56
3.3.	Población y muestra de la investigación	57
3.3.1.	Población	57
3.3.2.	Muestra	58
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	60
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos	60
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos	61
3.5.	Técnica de análisis de datos.....	61
CAPITULO IV	.....	62
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1.	Análisis de la información y Resultados del tratamiento	62
4.1.1.	Análisis de la información.....	62
4.1.2.	Resultados del tratamiento de información	64
4.1.3.	Flujo de carga de la subestación eléctrica	66
4.1.4.	Características técnicas de la línea de transmisión L-2257 ...	68
4.1.5.	Características técnicas del centro de transformación	69
4.1.6.	Resultado de datos de la subestación eléctrica	70
4.1.7.	Datos de tablero de la subestación eléctrica.....	76
4.2.	Prueba de Hipótesis.....	91
4.2.1.	Incremento de demanda máxima en la subestación eléctrica	97
4.3.	Discusión de resultados	108
CONCLUSIONES	.....	116
RECOMENDACIONES	.....	120
REFERENCIAS	.....	122
☞	Referencias de tesis y trabajo de grado	122
☞	Referencias de periódicos, revistas y entrevistas.....	123
☞	Referencias de libro digital	123
APÉNDICES	.....	125
Matriz de consistencia:	.....	125
ANEXOS	.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Banco de condensadores	32
Figura N° 2. Contactor para condensadores	35
Figura N° 3. Triángulo de potencias	43
Figura N° 4. Representación de la curva de demanda máxima.....	48
Figura N° 5. Detalle anclaje del banco de condensador	52
Figura N° 6. Diagrama del controlador automático de potencias.....	54
Figura N° 7. Centrales hidroeléctricas de la región central del país	57
Figura N° 8. Central Hidroeléctrica de Chimay	59
Figura N° 9. Celdas de llegada y salida de la red de distribución	60
Figura N° 10. Diagrama unifilar servicios auxiliares C.H. Chimay 13.8kV. ...	63
Figura N° 11. Diagrama unifilar redes primarias de C.H. de Chimay	67
Figura N° 12. Diagrama unifilar línea 220kV, Chimay-Yanango L-2257	68
Figura N° 13. Medidor de tensión entre fases y tensión promedio	76
Figura N° 14. Datos de factor de potencia, tensión y corriente promedio.....	78
Figura N° 15. Medición de desbalance de tensión y corriente	79
Figura N° 16. Placa nominal del transformador de 350 KVA	81
Figura N° 17. Transformador principal de 350 KVA.....	82
Figura N° 18. Valores de armónicos en la línea 13.8 KV	86
Figura N° 19. Valores de tensión, lado secundario del transformador.....	89
Figura N° 20. Intensidad de corriente, lado secundario de transformador ...	90
Figura N° 21. Valores de potencias y factor de potencia	92
Figura N° 22. Distorsión en armónicos, lado secundario del transformador .	94

Figura N° 23. Valores de armónicos, grupo N°1 y N°2 de la C.H. Chimay ...	95
Figura N° 24. Valores de armónicos en línea 2257 y línea 13,8 kV	96
Figura N° 25. Diagrama de demanda máxima, horas punta del año 2010 .	100
Figura N° 26. Diagrama de demanda máxima, horas punta del año 2017 .	102
Figura N° 27. Diagrama de demanda máxima, horas punta del año 2018 .	104
Figura N° 28. Diagrama, crecimiento de demanda máxima C.H. Chimay ..	107
Figura N° 29. Diagrama de corriente, lado primario de transformador	108
Figura N° 30. Diagrama de potencias	110
Figura N° 31. Tableros de control C.H. Chimay	112
Figura N° 32. Tableros de medición C.H. Chimay	113
Figura N° 33. Esquema eléctrico del banco de condensadores	114
Figura N° 34. Banco de condensadores subestación eléctrica de Chimay.	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Operacionalización de variables	20
Tabla N° 2. Tipo de condensador, según corriente	36
Tabla N° 3. Centrales hidroeléctricas de la región central del país	58
Tabla N° 4. Demanda Máxima - Etapa I - C.H. Chimay	64
Tabla N° 5. Demanda Máxima – Etapa II - C.H. Chimay	65
Tabla N° 6. Carga promedio en la C.H. Chimay 2011 – 2017.....	69
Tabla N° 7. Valores de tensiones entre fases	70
Tabla N° 8. Valores de frecuencia.....	71
Tabla N° 9. Valores de tensiones entre fase y neutro	72
Tabla N° 10. Valores de tensión promedio.....	73
Tabla N° 11. Valores de desbalance de niveles de tensión	75
Tabla N° 12. Niveles de tensión entre fases y tensión promedio	77
Tabla N° 13. Datos factor de potencia, tensión y corriente promedio	78
Tabla N° 14. Medición de desbalance de tensión y corriente	80
Tabla N° 15. Intensidad de corriente lado primario del transformador	83
Tabla N° 16. Promedio y desbalance de corriente, lado primario de transformador	84
Tabla N° 17. Porcentaje de valores de armónicos en la línea 13.8 KV	87
Tabla N° 18. Intensidad de corriente, lado secundario del transformador.....	88
Tabla N° 19. Valores de tensión, lado secundario del transformador	89
Tabla N° 20. Intensidad de corriente, lado secundario de transformador	91
Tabla N° 21. Valores de potencias y factor de potencia.....	93

Tabla N° 22. Distorsión de armónicos, lado secundario del transformador...	94
Tabla N° 23. Valores de armónicos, grupo N°1 y N°2 de la C.H. Chimay.....	96
Tabla N° 24. Valores de armónicos en línea 2257 y línea 13.8 KV.....	97
Tabla N° 25. Demanda máxima en horas punta del año 2010.....	99
Tabla N° 26. Demanda máxima en horas punta del año 2017.....	101
Tabla N° 27. Demanda máxima en horas punta del año 2018.....	103
Tabla N° 28. Demanda máxima promedio del año 2010, 2017 y 2018.....	105
Tabla N° 29. Cuadro de valores de potencias y factor de potencia	109
Tabla N° 30. Matriz de Consistencia	125

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1. Cálculo de energía eléctrica	31
Ecuación N° 2. Calcular la capacidad nominal del condensador.....	33
Ecuación N° 3. Cálculo de corriente nominal de un condensador.....	34
Ecuación N° 4. Selección de contactor para un condensador.....	35
Ecuación N° 5. Cálculo de corriente nominal de los fusibles.....	37
Ecuación N° 6. Cálculo de corriente nominal del interruptor	38
Ecuación N° 7. Cálculo de corriente del conductor	39
Ecuación N° 8. Cálculo de potencia activa, sistema monofásico.	40
Ecuación N° 9. Cálculo de potencia activa, sistema trifásico	40
Ecuación N° 10. Cálculo de potencia reactiva.....	41
Ecuación N° 11. Cálculo de potencia aparente	42
Ecuación N° 12. Cálculo de factor de potencia	43
Ecuación N° 13. Cálculo de potencia reactiva de una fase	45
Ecuación N° 14. Cálculo de reactancia capacitiva	46
Ecuación N° 15. Cálculo de tensión promedio	74
Ecuación N° 16. Cálculo de desbalance de tensión	75
Ecuación N° 17. Cálculo de intensidad de corriente promedio.....	84
Ecuación N° 18. Cálculo de desbalance de intensidad de corriente.	85

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación está referido al análisis de la eficiencia del banco de condensadores por incremento de potencia activa en la subestación eléctrica de Chimay, ubicado en el distrito de Monobamba, provincia de Jauja, región Junín.

Las variables se analizan de manera detallada, para determinar los valores reales en el sistema eléctrico alimentado por el transformador de la central hidroeléctrica de Chimay bajo la influencia del banco de condensadores.

Los valores de potencia activa y reactiva poseen gran relación y variación en el tiempo de consumo e incremento de potencia eléctrica.

El contenido cumple con la estructura del método científico y está distribuido en cuatro capítulos, que contienen lo siguiente:

El capítulo I, trata del planteamiento del problema, considerando el objetivo, hipótesis, variables y operacionalización de variables. El capítulo II, considera el marco teórico, antecedentes nacionales e internacionales y las bases teóricas empleadas en la presente tesis. El capítulo III, considera la metodología empleada durante el proceso de estudio hasta su culminación. El capítulo IV, considera los resultados y discusión del estudio, los cuales son el fundamento de la síntesis de la investigación, culminando con la referencia bibliográfica, conclusiones y recomendaciones.

La presente tesis brinda un gran aporte como estudio piloto para ser aplicado en las diferentes subestaciones eléctricas de la región central del Perú con características similares de la subestación en estudio.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

1.2. Planteamiento del problema

La subestación eléctrica de Chimay, está ubicado en el distrito de Monobamba, provincia de Jauja, región Junín.

Alimentado de la central hidroeléctrica de Chimay, la cual dispone de una potencia instalada de 168 MW, logrando una potencia activa de 154.8 MW, en promedio de consumo de energía eléctrica durante el año es de 845 GWh, la central hidroeléctrica trabaja con dos turbinas tipo Francis, con un caudal de 82 m³/s, con un salto de 190 metros, alimentándose de las aguas del río Tulumayo.

El problema surge por el incremento de la potencia activa y la variación de la potencia reactiva por efecto de la instalación de un banco de condensadores en la subestación eléctrica de la central hidroeléctrica de Chimay, distrito de Monobamba, provincia de Jauja, región Junín, siendo muy importante analizar la eficiencia del banco de condensadores instalando en la subestación eléctrica de Chimay.

1.3. Formulación de problema

1.3.1. Problema general

¿Cuáles son los factores que influyen en la eficiencia del banco de condensadores por incremento de potencia activa instalado en la subestación eléctrica de Chimay, ubicada en el distrito de Monobamba, provincia de Jauja, Región Junín?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo realizar el análisis del incremento de la potencia activa en la subestación de Chimay?
- ¿Cómo realizar el análisis del factor de potencia inicial y final para precisar cuánto es la variación de potencia reactiva en la subestación eléctrica de Chimay?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Realizar un análisis para verificar de cuanto es la disminución de la eficiencia del banco de condensadores, con datos estadísticos y mediciones desde la puesta en servicio hasta el incremento de la potencia activa de la subestación eléctrica de Chimay, distrito de Monobamba, provincia de Jauja, Región Junín.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar el incremento de la potencia activa en la subestación de Chimay.

- Analizar el factor de potencia inicial y final para precisar cuánto es la variación de potencia reactiva en la subestación eléctrica de Chimay.

1.4.3. Justificación e Importancia

El presente trabajo de investigación se justifica por la necesidad de verificar y garantizar la optimización del sistema eléctrico de la subestación eléctrica de Chimay, ubicado en el distrito de Monobamba, provincia de Jauja, Región Junín.

Se requiere obtener la información precisa respecto al comportamiento del sistema eléctrico y el rango de tolerancia para incrementar la potencia proyectada.

1.4.4. Justificación Social

El presente estudio de investigación:

- Contribuye con la confiabilidad del suministro eléctrico.
- La disminución de la potencia reactiva que brinda una mejor calidad de servicio eléctrico a la población.

1.4.5. Justificación Técnica

La presente investigación considera que:

- Es indispensable cumplir con las normas técnicas para brindar un buen servicio eléctrico.
- Es un requerimiento de garantía en la continuidad de servicio en la subestación eléctrica de Chimay.

1.4.6. Justificación Económica

El aspecto económico es importante y permite evaluar el desarrollo de la investigación mediante:

- El análisis de potencia reactiva, que contribuye con la confiabilidad del servicio eléctrico que brinda la subestación eléctrica de Chimay.
- El consumo de energía eléctrica se afecta con la variación de la potencia reactiva.

1.5. Hipótesis y Descripción de variables

1.5.1. Hipótesis general

Si se logrará verificar el nivel de incremento o disminución de la potencia reactiva entonces se determinará la eficiencia del banco de condensadores en la subestación eléctrica de Chimay.

1.5.2. Hipótesis específicos

- Si se logra realizar el análisis del incremento de potencia activa entonces se determinará la calidad del servicio eléctrico.
- Si se logra realizar el análisis de la variación de factor de potencia entonces se determinará la variación de potencia reactiva.

1.6. Descripción de variables

1.6.1. Variable dependiente

- Eficiencia del banco de condensadores.
- Variación de la potencia reactiva.

1.6.2. Variable independiente

- Incremento de potencia activa
- Variación de la demanda máxima.

1.7. Operacionalización de las variables

La operacionalización de variables usada para el análisis de la eficiencia del banco de condensadores por incremento de la potencia activa en la subestación eléctrica de Chimay, la **Tabla N°1**, detalla la variable, definición, indicadores e instrumentos que se tendrá en cuenta para la obtención de la operacionalización de variables.

Tabla N° 1: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Eficiencia del banco de condensadores	La eficiencia del banco de condensadores, influirá en la disminución de la potencia reactiva.	KVAR	Analizador de redes
Incremento de la potencia activa en el sistema eléctrico	El incremento de la potencia activa en el sistema eléctrico está en relación a la demanda máxima.	kW	Voltímetro Amperímetro

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedente de la investigación

En los siguientes antecedentes se muestra algunos estudios realizados tanto nacional como internacional que se asemejan y tienen alguna relación con el tema de tesis en estudio.

2.1.1. Nacional

⁽¹⁾ El proyecto de tesis presentado por Julio Carlos Machaca Vilca y Abell Alexis Coila Delgado, para obtener el título de Ingeniero mecánico electricista en marzo del 2017 - Puno Perú. Egresados de la Universidad Nacional del Altiplano.

Se asemeja con el proyecto por realizar el ***“Estudio Y Análisis Experimental De La Calidad Del Suministro Eléctrico De La Universidad Nacional Del Altiplano, Utilizando Un Analizador De Redes - 2016”*** este proyecto tiene como objetivo estudiar y analizar experimentalmente la calidad de suministro de la Universidad Nacional del Altiplano, Utilizando un analizador de redes, para permitir efectuar una calidad de energía eficiente.

En su conclusión refiere que al realizar las pruebas de medición mediante el analizador de redes PowerQ4 Plus, se obtuvieron los

resultados mostrados en el capítulo III, el cual se estudió y analizó por subestación eléctrica. Respecto a la frecuencia medida se podría decir que se encuentra correcta, sin embargo el voltaje suministrado por los transformadores dentro del campus de la UNA - PUNO se encuentra con 231.83V, el cual está en el límite del $\pm 5\%$ permitido por la NTCSE, esto puede provocar un deterioro de los equipos, el único déficit de la medición realizada es el factor de potencia, en especial la subestación 01, con un factor de potencia de 0.74; el mayor consumo de energía reactiva se ve reflejada en la subestación 03, con un valor de 81,037.38 kVAR-h. Considerándose el 41.41% de consumo total de energía reactiva; la alternativa de solución para optimizar costos sería realizar una compensación con filtros, por motivos que existen también armónicos de corriente.

⁽²⁾ En el proyecto de tesis presentado por Pácara Milla Yhonatan Diego, Ticona Human Jorge Armando y Tello Llanos Joahmed Allen, para obtener el título de Ingeniero electricista el año 2013 – Bellavista Callao, Perú. Egresados de la Universidad Nacional del Callao.

Se asemeja con el proyecto por realizar el proyecto ***“Influencia De La Sobre Tensión Eléctrica, En La Calidad De Suministro”*** este proyecto tiene como objetivo conocer el sistema de normatividad con respecto a la prestación de servicio público de electricidad, dar una solución económica y eficiente a los desniveles de tensión, proteger los equipos eléctricos ante acontecimientos de este tipo, brindar información a los usuarios sobre el uso adecuado de la energía eléctrica y el conocimiento para identificar las diferentes

perturbaciones que afectarían a la calidad de energía eléctrica de tensión.

En su conclusión refiere que la calidad en el suministro de la energía eléctrica es un tema de importancia vital, tanto para el productor y distribuidor de energía eléctrica como para los consumidores del sistema. Y la no observancia de los indicadores requeridos de la calidad de la electricidad implica el crecimiento de averías, pérdidas y daños económicos que, por significativo en unos casos y continuados en otros, representan una pérdida general para la economía del país que requiere de acciones planificadas y controles permanentes.

- ⁽³⁾ En el proyecto de tesis desarrollado por Iván Henry Vargas Espinoza, para obtener el título profesional de ingeniero Industrial, el año 2017 – Lima Perú, egresado de la Universidad Privada del Norte. Se asemeja con el proyecto por realizar el proyecto ***“Implementación de un Banco de Condensadores para Aumentar el Factor de Potencia en la Empresa Fibra Forte año 2015”***. Este proyecto tiene como objetivo implementar un banco de condensadores para aumentar el factor de potencia en la empresa Fibra Forte para el año 2015.

En su conclusión refiere que al realizar el diagnóstico antes de la implementación del banco de condensadores se observó que se pagaba una sobrefacturación por el concepto de existencia de energía reactiva debido al bajo factor de potencia, y que con la

aplicación del banco de condensadores en la empresa Fibra Forte queda demostrado que si es posible unirse a la tendencia mundial de proteger al medio ambiente además de generar beneficios económicos para la misma en el proceso.

Finalmente se evidencia que con esta instalación se logró el impacto económico existentes en las facturas por concepto de consumo de electricidad logrando un ahorro de 500 soles mensuales además por concepto de reducción de frecuencia de mantenimiento un ahorro de 1500 soles anuales quedando reflejado que este es un mecanismo totalmente válido y eficiente si se quiere ahorrar consumo eléctrico.

⁽⁴⁾ En el proyecto de tesis presentado por David Omar Torres Gutiérrez, para obtener el grado de magister en Tecnología Energética, Huancayo Perú del 2017, Universidad Nacional del Centro del Perú.

Se asemeja con el proyecto por realizar el proyecto **“Localización Óptima De Capacitadores En Redes De Distribución Para Mejorar La Eficiencia Energética Del Sistema Eléctrico De Chungar – Volcan”**. Este proyecto tiene como objetivo Optimizar la localización e implementar banco de capacitores en redes de distribución, para mejorar la eficiencia energética en el sistema eléctrico Chungar, Volcan.

En su conclusión refiere que se logró optimizar la localización e implementar bancos de capacitores en redes de distribución, mejorando la eficiencia energética en el sistema eléctrico de Chungar – Volcan, con reducción de demanda de hasta 0.6 MW.

⁽⁵⁾ En el proyecto de tesis presentado por Luis Alfredo Gálvez Del Villar y Dennis José Florián Villacorta, para obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Se asemeja con el proyecto por realizar el proyecto **“Sistema De Monitoreo Y Control De Subestaciones Eléctricas, Orientadas A La Gestión De La Demanda Y Basada En Sistemas De Control Inteligentes”**. Este proyecto tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de monitoreo y control de subestaciones eléctricas orientada a la gestión de la demanda basada en un sistema de monitoreo, el cual permite optimizar el consumo de energía eléctrica, reduciendo los costos de producción sin disminución de la misma.

En su conclusión refiere que el uso de interface permite el acceso a los datos de un solo medidor a la vez debido a que solo se envía el mando de toma de datos al medidor que tenga el identificador respectivo, de tal manera independientemente del número de medidores que puedan conformar el sistema, nunca se podrán obtener dos archivos iguales ya que siempre estarán diferenciados por los registros del identificador, fecha y hora.

2.1.2. Internacional

⁽⁶⁾ En el proyecto de tesis presentado por Daniel Alberto Saucedo Martínez y José Luis Taxis Villagrán, para obtener el título de Ingeniero electricista el año 2008 – México, D.F, egresado del Instituto Politécnico Nacional.

Se asemeja con el proyecto por realizar el proyecto **“Factores Que Afectan La Calidad De Energía Y Su Solución”** este proyecto tiene como objetivo la regulación de voltaje y la eliminación de armónicos son de los principales factores que se debe de tomar en cuenta para obtener una buena calidad de energía. Es claro que sin acciones correctivas las compañías suministradoras y experimentan un número creciente de fallas en sus sistemas y equipos, con los problemas subsecuentes, como pérdida de producción y competitividad.

En consecuencia, el concepto “Calidad de la Energía” es cada vez más común y necesario adquiriendo mayor importancia debido a la proliferación de equipo electrónico cada vez más sofisticado en todos los procesos de producción y uso doméstico siendo este último el que se tiende a impactar considerablemente las características principales del suministro de energía eléctrica.

En su conclusión refiere que la calidad de energía eléctrica depende en al menos una docena de características clase de las fuentes de electricidad, incluyendo la frecuencia, la tensión, pero las características más críticas son el contenido armónico y los transistores por sobretensión.

⁽⁷⁾ En el proyecto de tesis presentado por Johnny Duvan Mora Sánchez, Yandri Javier Cevallos Chávez, para obtener el título de Ingeniero Electricista mayo del 2014 – Guayaquil Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana.

Se asemeja con el proyecto por realizar el proyecto ***“Estudio Y Análisis De La Calidad De Energía Enfocado En Nivel De Armónicos En El Sistema Eléctrico De La Subestación Enfriadora 1 de HOLCIM Ecuador Planta Guayaquil”*** este proyecto tiene como objetivo identificar, enfocado en los armónicos de potencia, los posibles problemas energéticos existentes. Plantear, las soluciones adecuadas para corregirlos y así aportar a un eficiente servicio eléctrico en la subestación enfriadora 1 de la fábrica de cemento Holcim Ecuador planta Guayaquil, mediante la instalación del equipo analizador de redes Fluke 435 y en análisis de la recopilación de los datos obtenidos.

En su conclusión refiere que en el análisis desarrollado se pudo hallar tres ventiladores principales, de los cuales cada uno de ellos usa variadores de frecuencia, cuyos datos se puede observar en la placa característica de cada uno de ellos, pero como antecedente principal de éstos variadores de frecuencia es que son obsoletos.

Dentro del estudio realizado, se pudo determinar y diseñar por medio de cálculos los filtros de armónicos que se deberían de instalar, los cuales el capítulo cuatro de esta tesis analiza ampliamente y determina el filtro a ser construido, con la finalidad de atenuar los armónicos.

⁽⁸⁾ En el proyecto de tesis presentado por Joffre Gabriel Chicho Barragán, para obtener el título profesional de Ingeniero Electricista, Quito Ecuador del año 1987, Universidad Politécnica Nacional de Ecuador.

Se asemeja con el proyecto por realizar el proyecto **“Protección de Banco de Condensadores en Subestaciones”**. Que tiene como objetivo realizar un análisis de los principios en que se fundamente la protección para bancos de condensadores instalados en subestaciones, para, de esta manera, hacer una evaluación de las ventajas y desventajas técnicas de la protección, dentro de un acuerdo criterio económico y llegar a seleccionar la mejor, que guarde un equilibrio entre estos factores.

En su conclusión refiere que la protección de los condensadores mediante los fusibles individuales (para cada condensador debe de estar instalado un fusible), representa la primera línea de protección del banco de condensadores y, por su costo, contribuye el método de protección más económico.

Un banco de condensadores puede seguir operando normalmente mientras la separación de servicio de unidades que han fallado no expongan al resto de condensadores a un sobre voltaje mayor de diez por ciento del voltaje nominal, por lo que, la protección por desbalance es necesaria, ya que actuara para sacar de servicio al banco de condensadores, frente a esta condición anormal.

⁽⁹⁾ En el proyecto de tesis presentado Enrique Gómez Morales para obtener el título de Ingeniero Electricista, México, D.F. del año 2009, Instituto Politécnico Nacional.

Se asemeja con el proyecto por realizar el proyecto **“Compensación de Potencia Reactiva”**, que tiene como objetivo

realizar una metodología que permita implementar bancos de capacitores para compensación de potencia reactiva capacitiva en una industria así como simular la compensación por medio de bancos de capacitores, persiguiendo con ello aumentar la capacidad del sistema, reducir las pérdidas por efecto joule en las líneas y corregir el factor de potencia a un valor deseado, evaluándose los beneficios económicos por medio de la factura eléctrica de una industria, tomando como base los costos de energía consumida antes y después de corregir el factor de potencia.

En su conclusión refiere que es posible decir que en un sistema eléctrico no compensado seguramente está pagando o pagará los recargos de hasta un 20% de su facturación por consumo de energía eléctrica. Por otra parte, al realizar el método de compensación individual se puede concluir que es el método más efectivo, pero también el más costoso ya que se tiene que conectar un banco por cada carga que se tenga conectado al sistema, mientras que en los otros casos se puede tener un banco por 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.

⁽¹⁰⁾ En el proyecto de tesis presentado por Santiago Sánchez Miño para obtener el título de Ingeniero Electricista, Quito Ecuador del año 1980, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador.

Se asemeja al proyecto por realizar el proyecto **“Metodología para el Diagnóstico de Subestaciones”**, que tiene como objetivo es propiciar al cliente una herramienta para diagnosticar periódicamente la subestación para su pronta intervención o en mejor de los casos mantener el ritmo de servicio de energía eléctrica a las cargas de la subestación.

En su conclusión hace referencia que la empresa eléctrica tiene problemas serios que deberá de afrontar durante los próximos años, que mediante una inmediata y adecuada planificación, administrativa y técnica se deberá de disminuir estos problemas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. La energía eléctrica

La energía eléctrica es la potencia consumida en un determinado tiempo y es medido por un dispositivo eléctrico, que mide en vatios-hora (Wh). O en kilovatios-hora (KWh).

Normalmente las empresas que suministran energía eléctrica a la industria y domicilios, en lugar de facturar el consumo de vatios hora, lo hacen en kilovatios-hora (kWh). La potencia de vatio (W), o kilovatios (kW), de todos los aparatos eléctricos debe figurar junto a la tensión de alimentación una placa característica indicando la potencia del aparato eléctrico.

Aplicando la **Ecuación N° 1**, se puede hallar la energía eléctrica en kilo vatio-hora (KW-h):

Ecuación N° 1. Cálculo de energía eléctrica

$$E = P * T$$

Donde:

E: Energía eléctrica en kWh

P: Potencia en kW

T: Tiempo en horas

2.2.2. Condensador eléctrico

Un condensador eléctrico denominado también capacitor, está diseñado para almacenar energía.

Se compone de un par de superficies conductoras, en forma de placas, las cuales están sometidas a una diferencia de potencial, obteniendo un valor positivo en una de ellas y un valor negativo en la otra placa.

2.2.3. Banco de condensadores

Los bancos de condensadores son aptos para ser utilizados en subestaciones de media y baja tensión siempre y cuando es necesario reducir potencia reactiva y mejorar la compensación del factor de potencia.

Los transformadores de media tensión y baja tensión, son los equipos que requieren de la instalación de un banco de condensadores con la finalidad de compensar la potencia reactiva, o mejorar el factor de potencia, en relación a las cargas eléctricas instaladas en el sistema correspondiente.

El resultado de la disminución de la energía reactiva se trasluce en la disminución del costo de facturación por este consumo.

Asimismo, un banco de condensadores opera como un filtro de los armónicos insertando una inductancia entre ellos.

La **Figura N°1**, muestra un banco de condensadores, instalado para una carga específica dentro de un sistema eléctrico domiciliario o industrial que indirectamente cuente con la generación de potencia reactiva provocado por una carga inductiva.



Figura N° 1. Banco de condensadores

Fuente: *Elaboración Propia*

Para un sistema trifásico, los condensadores deben constituirse por elementos monofásicos con películas de polipropileno metalizado y deben tener la capacidad de ser autorregenerables.

Aplicando la **Ecuación N°2**, se puede calcular la capacidad nominal del condensador.

La constitución interna de los condensadores posee resistencias de descarga, con la finalidad de reducir el voltaje después de la desconexión del condensador.

Ecuación N° 2. Calcular la capacidad nominal del condensador

$$C = \frac{Q}{2 * \pi * f * V^2}$$

Donde:

C: Capacidad del condensador (faradios (F))

F: Frecuencia (ciclos /s (Hz))

Q: Potencia reactiva (VAR)

V: Nivel de Tensión del condensador (Voltios (V))

Es posible que se amplifiquen los armónicos existentes con la instalación del banco de condensadores, a pesar de que este equipo no los genera y eso puede considerarse como una desventaja de la aplicación.

Aplicando la **Ecuación N°3**, se podrá calcular la corriente nominal de un condensador trifásico, teniendo los valores de potencia reactiva, voltaje nominal entre fases y la constante raíz de 3.

Ecuación N° 3. Cálculo de corriente nominal de un condensador

$$I_n = \frac{Q}{\sqrt{3} * V}$$

Donde:

In: Corriente fase (A)

Q: Potencia reactiva del condensador (KVAR)

V: Voltaje Fase – Fase (KV)

2.2.4. Contactor para condensadores

Son equipos capaces de limitar la sobre corriente mediante la disposición de resistencias de pre-carga, las cuales se encargan de conectar y desconectar los distintos procesos programados en el banco de condensadores.

La **Figura N°2**, presenta un diagrama de conexionado trifásico del contactor para el banco de condensador, donde se puede apreciar la forma del conexionado en forma real y en diagrama unifilar.

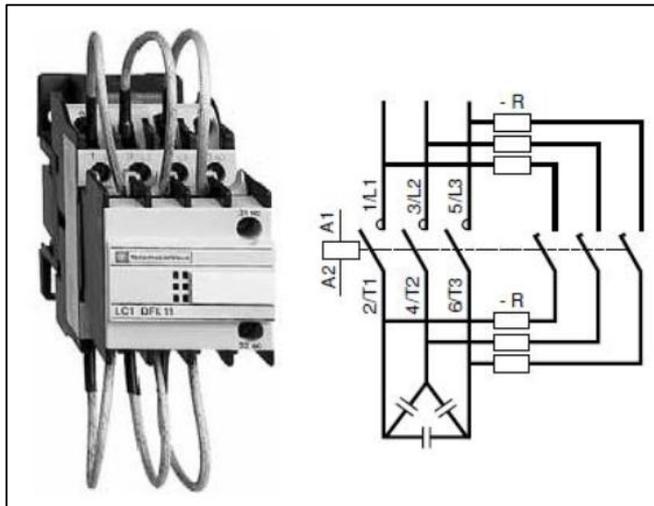


Figura N° 2. Contactor para condensadores

Fuente: F. Santiago, *Diseño de un banco de condensadores para la corrección de factor de potencia.*

Con la aplicación de la **Ecuación N°4**, se podrá calcular la corriente de un contactor, para luego seleccionar el contactor adecuado, la ecuación consta de duplicar el valor de la corriente nominal obtenida previamente.

Ecuación N° 4. Selección de contactor para un condensador

$$C_e = 2 * I_n$$

Donde:

C_e: Contactor especial

I_n: Corriente nominal de condensador (A)

2.2.5. Fusibles para condensadores

Son dispositivos fundamentales que funcionan a fin de proteger al banco de condensadores, garantizando el servicio continuo.

Los fusibles más usados en los bancos de condensadores son los del tipo NH.

Es recomendable emplear la protección individual de cada condensador, brindando ventajas cuando se tiene un condensador averiado a la vez que se puede visualizar las fallas por cada unidad y a la vez posee la capacidad de prevenir los daños en el sistema de compensación y de manera fundamental en el sistema eléctrico, motivo de la instalación.

Tabla N° 2. Tipo de condensador, según corriente

Tipo de Condensador	Constante de Multiplicación
HRC	1.5 - 2
Standard	1.6
H	1.6
SAH	1.5

Fuente: Fabricante T- Schneider Electric

La **Tabla N°2**, muestra datos que de acuerdo el fabricante T-Schneider Electric, cuando se utiliza condensadores tipo estándar y H, la constante de multiplicación por la corriente nominal será de 1.6 y en el caso del tipo SAH, la constante será de 1.5.

Según el fabricante para fusibles HRC (alta capacidad de ruptura) tipo GI, entre 1,5 a $2 I_n$:

Con la **Ecuación N°5**, se puede calcular la corriente nominal de los fusibles, para posteriores estudios de dimensionamiento.

Ecuación N° 5. Cálculo de corriente nominal de los fusibles.

$$I_n \text{ fusible} = 1.5 * I_n$$

Donde:

I_n fusible: Corriente nominal de fusible (A)

I_n : Corriente nominal de condensador (A)

2.2.6. Interruptor para condensadores

El interruptor es un equipo de protección contra las sobrecargas y cortocircuitos, que usualmente en el ámbito de la compensación de energía reactiva se utilizan los de tipo C60N/H o C120N/H.

Con la aplicación de la **Ecuación N°6**, se puede calcular la corriente nominal para el dimensionamiento del interruptor para el banco de condensadores, para ello se utiliza el factor constante de 1.43 multiplicado por la corriente nominal.

Ecuación N° 6. Cálculo de corriente nominal del interruptor

$$I_n \text{ interruptor} = 1.43 * I_n$$

Donde:

I_n interruptor: Corriente nominal de interruptor (A)

I_n : Corriente nominal del banco (A)

2.2.7. Conductores eléctricos

Los conductores eléctricos que alimentaran a los condensadores, deben calcularse tomando en cuenta que la corriente nominal de estos, pueden incrementar hasta en un 30 % de exceso de sobre carga permanente.

A estos estándares también permite una tolerancia máxima de + 10% en la capacidad nominal.

Es por ello que, en el dimensionamiento de los conductores para el diseño del banco de condensadores, se tendrá en cuenta que la sección del conductor en el lado de protección será mayor al lado de los condensadores.

Por lo tanto, aplicando la **Ecuación N°7**, se podrá calcular la corriente del contactor para el dimensionamiento del conductor y saber su capacidad a soportar.

Ecuación N° 7. Cálculo de corriente del conductor

$$I_{\text{conductor}} = 1.3 * 1.1 I_{\text{condensador}}$$

Donde:

I conductor: Corriente que soportara el conductor (A)

I condensador: Corriente del condensador (A)

2.2.8. Eficiencia eléctrica

La eficiencia eléctrica se calcula en base al consumo específico, es decir, el valor en kWh, para el servicio eléctrico.

La eficiencia eléctrica está regulada por la norma internacional ISO 50001, referida la calidad de energía y al sistema de gestión de energía.

2.2.9. Potencia activa

La potencia activa es reconocida como la potencia útil, real o verdadera y se debe más que nada a las cargas resistivas. La unidad de medición es el watt llamada también vatio y se calcula con las siguientes ecuaciones:

✓ **Sistema Monofásico**

Para calcular la potencia activa en un sistema monofásico se realizará con la aplicación de la **Ecuación N°8**.

Ecuación N° 8. Cálculo de potencia activa, sistema monofásico.

$$P = V * I * \text{Cos}\varphi$$

Donde:

P: Potencia activa en kW

V: Nivel de tensión en voltios

I: Intensidad de corriente eléctrico (A)

Cos φ : Factor de potencia

✓ **Sistema Trifásico**

Con la aplicación de la **Ecuación N°9**, se podrá calcular la potencia activa en un sistema trifásico.

Ecuación N° 9. Cálculo de potencia activa, sistema trifásico

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos}\varphi$$

$$P = S * \text{Cos}\varphi * \sqrt{3}$$

Donde:

P: Potencia activa en KW

S: Potencia aparente en kVA

V3: Coeficiente del sistema trifásico

V: Nivel de tensión en voltios

I: Intensidad de corriente eléctrico (A)

Cos φ : Factor de potencia

2.2.10. Potencia reactiva

Es la potencia que necesita el bobinado los transformadores y los condensadores que producir campos eléctricos o magnéticos, pero no se transforma en trabajo efectivo, sino que fluctúa en la red entre el generador y los receptores, su unidad de medición es el voltamperio reactivo (VAR), aplicando la **Ecuación N°10**, se podrá calcular la potencia reactiva.

Ecuación N° 10. Cálculo de potencia reactiva

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \text{Sen}\varphi$$
$$Q = S * \text{Sen}\varphi$$

Donde:

Q: Potencia reactiva en KVAR

S: Potencia aparente en kVA

V3: Coeficiente del sistema trifásico

V: Nivel de tensión en voltios

I: Intensidad de corriente eléctrico (A)

Sen φ : Ángulo de desfasaje

2.2.11. Potencia aparente

Es la potencia total o absoluta consumida por la carga y es el producto de los valores eficaces de corriente y tensión, se obtiene multiplicando la tensión, la corriente y el factor de potencia, o dividiendo potencia activa sobre el factor de potencia, así como

muestra la **Ecuación N°11**, también se puede hallar con el método de Pitágoras.

Ecuación N° 11. Cálculo de potencia aparente

$$S = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos}\varphi$$

$$S = \frac{P}{\text{Cos}\varphi}$$

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

Donde:

S: Potencia aparente en KVA

P: Potencia activa en KW

Q: Potencia reactiva en KVAR

V3: Coeficiente del sistema trifásico

V: Nivel de tensión en voltios

I: Intensidad de corriente eléctrico (A)

Cos φ: Factor de potencia

Estas potencias son conocidos como triángulo de potencias, tal como se puede apreciar en la **Figura N°3**, mostrado en el ítem de factor de potencia.

2.2.12. Factor de potencia

Es la razón existente entre la potencia activa (KW) y la potencia aparente (KVA). La potencia aparente multiplicada por el Cos φ, denominado factor de potencia, otorga como resultado el valor de la potencia activa, asimismo; considerando que el desfase entre

la tensión y la corriente del sistema es similar al desfase entre la potencia activa y la potencia aparente como se puede apreciar en la **Figura N°3**.

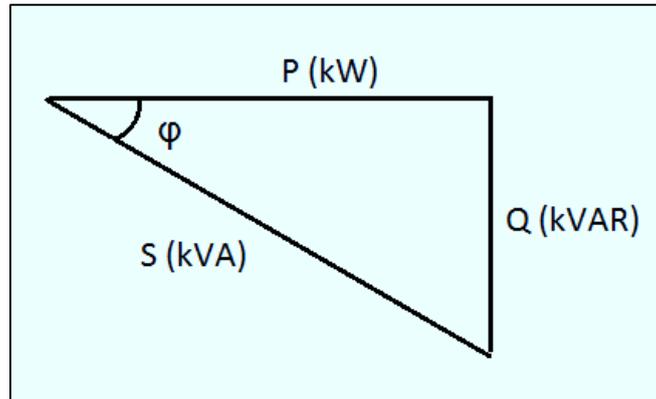


Figura N° 3. Triángulo de potencias

Fuente: Elaboración propia

En los ítems 2.2.9., 2.2.10. y 2.2.11 se indica los conceptos básicos de cada uno que conforman el triángulo de potencia, así como sus ecuaciones para calcular la potencia activa (P, (Kw)), potencia reactiva (Q, (kVAR)) y la potencia aparente (S, (kVA), con la aplicación de la **Ecuación N°12**, se puede calcular el factor de potencia.

Ecuación N° 12. Cálculo de factor de potencia

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

Donde:

Cos φ: Factor de potencia

P: Potencia Activa en kW

S: Potencia Aparente en KVA

Q: Potencia Reactiva en KVAR

2.2.13. Parámetros para dimensionar banco de condensadores

Para dimensionar los parámetros del banco de

condensadores se requiere obtener los siguientes datos:

- Información básica requerida
- Potencia activa inicial
- Nivel de tensión
- Potencia activa actual
- Potencia Reactiva
- Factor de Potencia
- Coseno inicial
- Coseno final

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Eficiencia de banco de condensadores

Los bancos de condensadores están instalados para mejorar en factor de potencia del sistema eléctrico, estos son auto regenerativos, quiere decir que el material dieléctrico entre las dos láminas de las placas tiene un film que haber fugas se calienta, pero a medida que pasa el tiempo, y al disminuir la superficie de las placas baja la capacidad.

Haciendo uso de la pinza amperimétrica se podrá corroborar que la corriente obtenida es menor que la que muestra en su placa nominal de condensador.

Descartando dicha pérdida de corriente por el buen diseño del banco de condensadores me atrevería indicar que el banco de condensadores está trabajando en óptimas condiciones, brindando una eficiencia en mejorar el factor de potencia en el sistema eléctrico.

Se requiere evaluar la eficiencia del banco de condensadores del triángulo de potencia se desprende que la nueva potencia reactiva será (Q_N):

La potencia reactiva de una fase ($Q_{C(fase)}$) es igual a la tensión al cuadrado (E^2) aplicada a esa fase dividida entre la reactancia capacitiva (X_C), así como lo muestra la **Ecuación N°13**.

Ecuación N° 13. Cálculo de potencia reactiva de una fase

$$Q_{C(fase)} = \frac{E^2}{X_C}$$

Con la expresión de reactancia capacitiva hallamos la capacidad de cada condensador (C) de la batería de condensadores a conectar en triángulo, con la **Ecuación N°14**, se puede calcular la reactancia capacitiva.

Ecuación N° 14. Cálculo de reactancia capacitiva

$$X_C = \frac{1}{2 * \Pi * f * C}$$
$$C = \frac{1}{2 * \Pi * f * X_C}$$

2.3.2. Incremento de potencia activa

Se incrementa la potencia activa a petición de los clientes y/o usuarios que solicitan un incremento de potencia cuando esta es insuficiente, quiere decir que se apertura los interruptores de potencia como también los seccionadores tipo expulsión que cuentan fusibles (Cut-Out), debido a que se han conectado varias cargas a la vez, motivo por ello se incrementa la potencia activa para atender a los clientes.

También se incrementa la potencia activa para suministrar las nuevas cargas, provocado por las nuevas ampliaciones de redes, nuevos usuarios, nuevas localidades, asentamientos humanos, comunidades, anexos, etcétera

Para ello la subestación en el proceso de diseño y estudio se considera un porcentaje adicional de 25% de potencia activa, para contrarrestar estos casos de futuras cargas.

De superar los límites de reserva se opta por el incremento de un transformador adicional para poder suministrar energía eléctrica eficiente y óptimamente a los usuarios.

Motivo de estudio de la presente tesis es para analizar la eficiencia de los bancos de condensadores por incremento de la potencia activa en la subestación eléctrica de Chimay.

En el capítulo IV, en el ítem 4.2.1. se muestra el incremento de demanda máxima de la subestación eléctrica de Chimay en los años 2010, 2017 y 2018, estos años fueron tomados como referencia para un análisis estadístico de incremento de la demanda máxima.

2.3.3. Demanda máxima

La intensidad de corriente está en relación directa de la demanda máxima, llamada también potencia eléctrica en un determinado tiempo. Este período de tiempo es denominado período de demanda, los cuales normalmente duran 15, 30 o 60 minutos y sirven para calcular la facturación del consumo eléctrico, es relevante considerar la interpretación del siguiente diagrama de demandas.

La **Figura N°4**, muestra la curva característica de una demanda máxima en un sistema eléctrico, donde se puede visualizar la demanda base que se da en horas valle, también la demanda base que se da en promedio de la demanda total diaria, así mismo se tiene la demanda punta que se da en un pico elevado, también se puede visualizar la demanda máxima propiamente dicho, que se presenta en un pico más elevado de la demanda máxima, normalmente se da en horas punta.

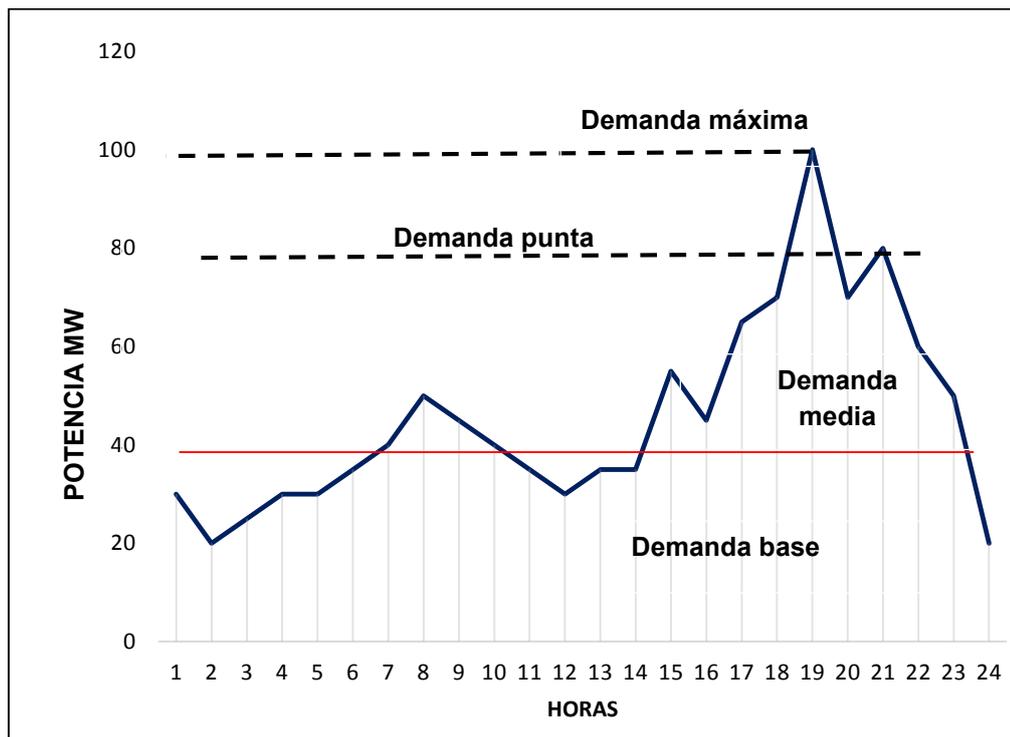


Figura N° 4. Representación de la curva de demanda máxima

Fuente: Elaboración propia

2.3.4. En que afecta la energía reactiva a los usuarios

Se ha oído de la energía reactiva o se ha visto reflejado en la factura de luz que la concesionaria de energía eléctrica emite, ¿realmente sabes que es, o en que se aplica?, se preguntó ingenieros y técnicos electricistas por el concepto claro de energía reactiva, donde se incluyó términos como, efecto joule, redes sinusoidales, armónicos, con los que normalmente no estamos familiarizados ello nos dificulta la comprensión del significado y misión de las mismas.

A diferencia a la energía activa que se transforma íntegramente en calor o en trabajo y es medido en kilo watts hora kWh, la energía reactiva:

- Se mide en kilo voltio-amperio reactivo hora kVArh
- No se consume ni sirve para transformarse en trabajo
- Se asocia a todos los aparatos que en su funcionamiento cuenten con una bobina, *es decir aquellos que funcionan con transformadores o motores*, siendo alimentado por corriente alterna, es por ello que la intensidad cambia de sentido de circulación, esta va y viene nuestro consumo a la der en un valor aproximado de 50 veces por segundo.

Entonces es necesario preguntar: si la energía reactiva no se consume: ¿Por qué se efectuaría una penalización al cobrarse un recargo en la factura de la luz?

Cierto es, que la energía reactiva no hay que producirla, pero sí, hay que transportarla, ya que, como se indicó con anterioridad, esta va y viene de nuestro consumo a la red con un valor aproximado de 50 veces por segundo, aprovechando variaciones en la intensidad eléctrica de los circuitos existentes, desencadenando sobre carga en las líneas de transmisión y centros de generación. Es decir que la energía reactiva no produce trabajo útil y es necesario compensarla con un banco de condensadores o neutralizarlo.

Todo esto provoca que las concesionarias de energía eléctrica tengan que realizar una mayor inversión en sus equipos de generación, para tener una mayor capacidad en las líneas de transmisión así mismo en los transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva. Realizar estos cambios en el equipamiento genera costos que finalmente, nos trasladan aplicándolo en la factura de consumo de energía eléctrica como una penalización en concepto de energía reactiva.

2.4. Clasificación de los bancos de condensadores

2.4.1. Banco de condensadores fijos

Los bancos de condensadores fijos, desarrollan una excelente compensación reactiva de acuerdo al proceso establecido por el personal profesional responsable, quien o quienes mediante cálculos y etapas planificadas de manera adecuada y con sus respectivas protecciones activadas por medio de protecciones controlados por un piloto conectado en la parte frontal del banco de condensadores.

Los procedimientos efectuados de manera apropiada, contribuyen con la obtención de resultados eficientes, en caso contrario la compensación podría ser mucho mayor o mucho menor a la programada, lo que resultaría en una sobre compensación o una sub compensación respectivamente.

2.4.2. Banco de condensadores automático

El banco de condensadores automático, está monitoreado por un relé especializado que efectúa la compensación reactiva, depende de la carga del sistema y su procedimiento es establecido por el profesional responsable.

Posee la ventaja de ser activado de manera automática y también de forma manual, pudiendo controlar la compensación de acuerdo a lo planificado.

2.4.3. Banco de condensadores mixto

El banco de condensadores mixto además de tener las ventajas del banco de condensadores automático, tiene una señalización de cada proceso y puede compensar las pérdidas técnicas del sistema eléctrico.

2.5. Instalación y puesta en servicio.

La instalación y puesta en servicio de los bancos de condensadores, debe hacerla únicamente personal calificado, teniendo en cuenta las siguientes características y recomendaciones.

A fines del proceso de construcción de los equipos eléctricos realizar pruebas encargadas por el área de comisionamiento y área especializada en realizar las pruebas necesarias para la puesta en servicio también llamado puesta en marcha.

- **Mecánica**

El banco de condensadores se sujetará al piso con 4 pernos expansivos y cuatro tornillos colocados sobre la platina de fijación del banco de condensadores.

Si existe un cáncamo de ancho superior al de la base del tablero se deberá colocar un ángulo o un soporte que garantice los cuatro puntos de fijación del banco al piso.

También se puede realizar la fijación sobre un bloque de concreto o de acuerdo a la construcción civil existente, en este caso se deberá fijar como se describió anteriormente, tal como muestra la

Figura N°5, plano adjuntada en anexos, se ubica en la lámina P-01 plano de detalle de anclaje al piso.

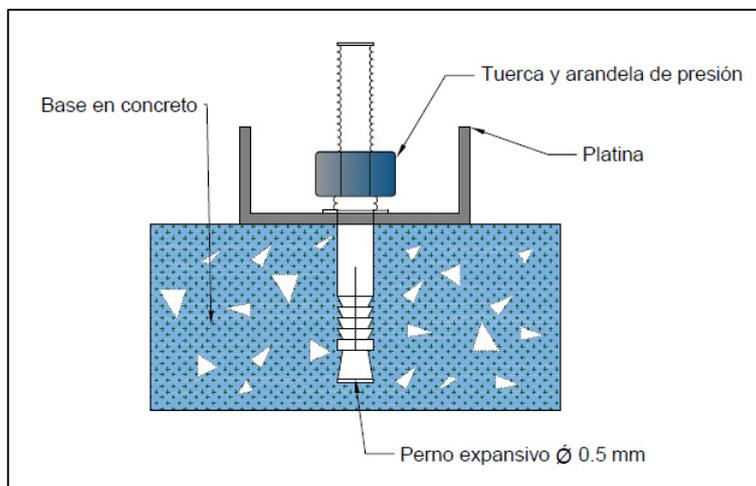


Figura N° 5. Detalle anclaje del banco de condensador

Fuente: Elaboración propio

- **Eléctrica**

El banco de condensadores deberá contar con tres líneas de fuerza correspondientes a la tensión trifásica del sistema eléctrico, provenientes del nodo principal al cual se encuentra conectada la totalidad de la carga del sistema y sobre el cual se realizará la compensación reactiva (conexión en paralelo).

Esta alimentación se conducirá por cáncamo, bandeja o tubería hasta el banco de condensadores y se debe tener en cuenta que el conductor se selecciona de acuerdo a la protección principal del banco de condensadores (flujo de corriente estimado).

La **Figura N°6**, muestra un diagrama de conexión de fuerza típico del banco de condensadores, más detalle de este diagrama citar en anexo

D, se halla la lámina P-02 plano de diagrama unifilar del controlador automático de potencia reactiva y aparente.

Descripción del diagrama de conexión:

T.C.: Transformador de corriente: Primario: depende de la corriente instalada;
secundario: 5 A - mínimo 10 VA - clase 1

J: Cables 2 x 2,5 mm² para el transformador de corriente

E: Tres polos de cables alimentadores

D: Interruptor principal de tres polos

FU: Fusible HRC, type qG

K: Contactor (230 V bobina)

Co: Condensadores

R: Resistencias de descarga (externas al capacitor)

S1, S2: Bloque de terminales de conexión para el secundario del T.C.

G, E: Bloque de terminales para bypass durante la operación del generador

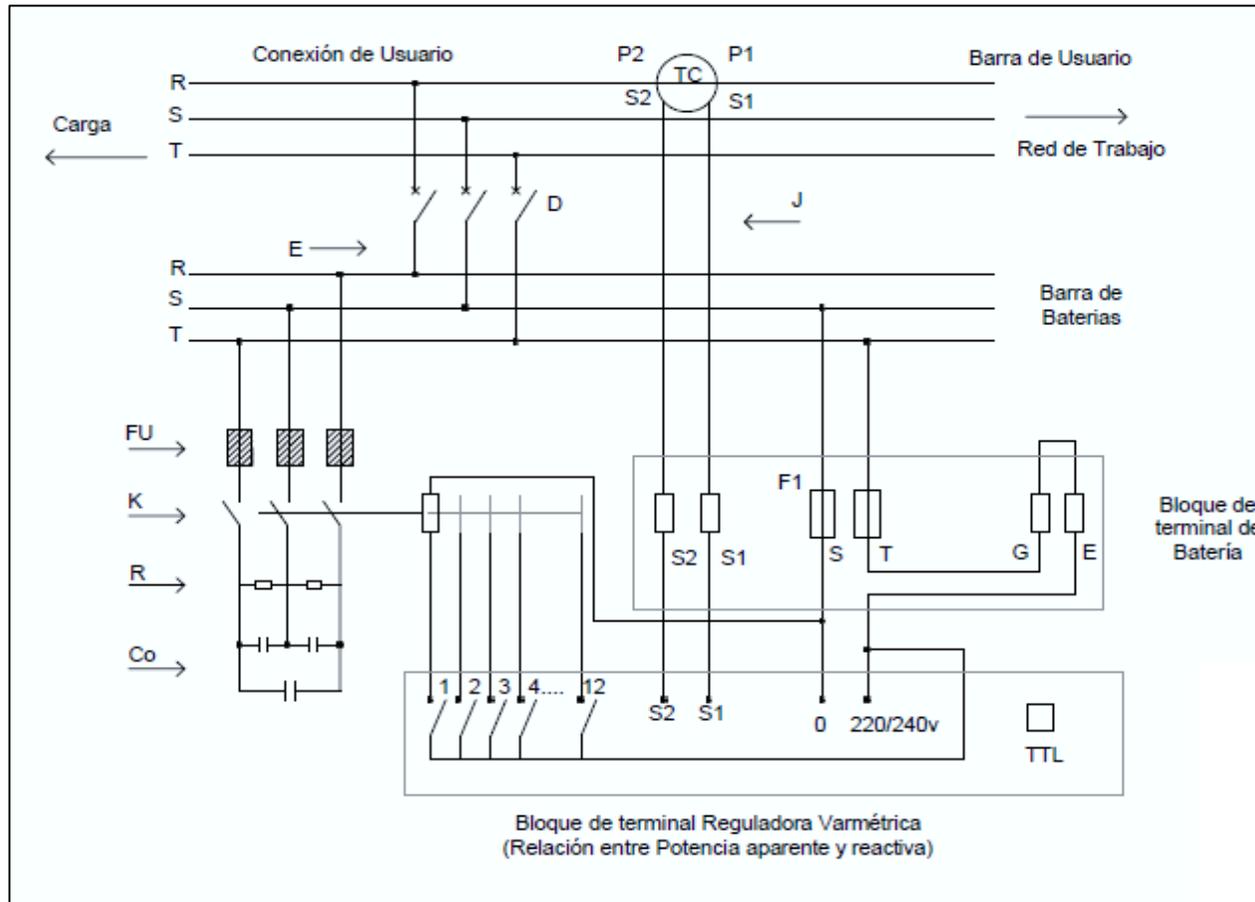


Figura N° 6. Diagrama del controlador automático de potencias

Fuente: Dibujo propio, y Total Ground M.R. Energy & protection system

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

En la presente investigación se ha aplicado el método sistémico porque se ha estudiado la eficiencia del banco de condensadores instalados en la subestación de Chimay, mediante la determinación de los elementos del sistema eléctrico cuando se incrementa la potencia activa, el enfoque sistémico enfrenta el problema de eficiencia de los bancos de condensadores en su complejidad a través de un pensamiento basado en la totalidad, en el estudio de la relación entre las partes del sistema eléctrico desde la alimentación hasta la carga y de las propiedades emergentes resultantes.

3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utilizó fue la investigación tecnológica que tiene como propósito aplicar el conocimiento científico sobre banco de condensadores, factor de potencia, triangulo de potencia y parámetros eléctricos para solucionar los

diferentes problemas que beneficien a la sociedad. Sus niveles son la experimentación y la aplicación.

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel que se empleó en la investigación fue la explicativo porque se da a conocer el comportamiento de la eficiencia del banco de condensadores en función del incremento de potencia activa, es decir este nivel se basa en criterios de causalidad.

3.2. Diseño de la investigación

En la investigación se empleó el diseño descriptivo comparativo porque se recogió información actualizada de varias muestras del factor de potencia del banco de condensadores para compararlas con el incremento de la potencia activa del sistema eléctrico.

Diagrama

M1 -> O1

M2 -> O2

M3 -> O3

Mn -> On

Donde

M1, M2, M3, Mn cada una de las muestras del estudio.

O1, O2, O3, On Observación de las muestras para recoger información relevante.

Comparación entre cada una de las muestras, pudiendo ser semejantes, iguales o diferentes.

3.3. Población y muestra de la investigación

3.3.1. Población

La población, es el número de subestaciones eléctricas en las centrales hidroeléctricas en la región central del país, considerando que es el motivo de la investigación.

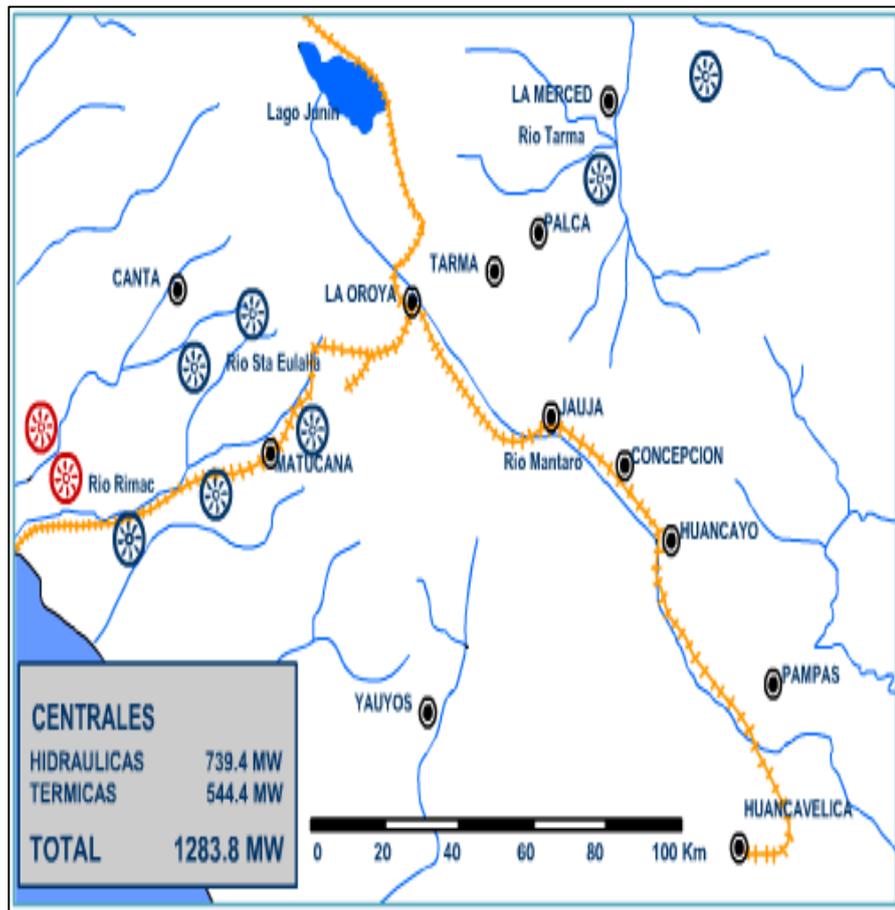


Figura N° 7. Centrales hidroeléctricas de la región central del país

Fuente: Página web/compendio de centrales hidroeléctricas del Perú.

La **Figura N°7**, muestra las centrales hidroeléctricas que actualmente se encuentran en la región central de país.

Como son la central hidroeléctrica de Concepción, Ingenio, Jauja, Santiago Antúnez de Mayolo, Yanango, La Oroya y la central hidroeléctrica de Chimay.

La **Tabla N°3**, muestra una lista de las centrales hidroeléctricas de la región central del Perú, datos obtenido de la **Figura N°7**, donde se muestra las centrales hidroeléctricas de la región central del país.

Tabla N° 3. Centrales hidroeléctricas de la región central del país

ITEM	CENTRAL HIDROELÉCTRICA
01	C.H. CONCEPCIÓN
02	C.H. INGENIO
03	C.H. JAUJA
04	C.H. SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
05	C.H. CHIMAY ✓
06	C.H. YANANGO
07	C.H. LA OROYA

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Muestra

La muestra se obtuvo con el método de muestreo intencional o también llamado por conveniencia, este tipo de muestreo se caracteriza por deliberado esfuerzo de obtener muestras mediante la inclusión en la muestra de grupos supuestamente típicos.

Su utilización es muy frecuente para definir una muestra por conveniencia propia.

También puede ser que el investigador seleccione intencionalmente o de forma directa los individuos de la población, el caso más frecuente de este procedimiento es el de utilizar como muestra los individuos a los que se tiene fácil acceso.

Por ser motivo de estudio para el presente estudio de tesis se toma como muestra la subestación eléctrica de la central hidroeléctrica de Chimay.

Se tomará como modelo para todas las centrales hidroeléctricas de la región central del país que cuenten con características similares a la subestación eléctrica en estudio.

En la **Figura N°8**, se puede apreciar la estructura de la central hidroeléctrica de Chimay.



Figura N° 8. Central Hidroeléctrica de Chimay

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos de las variables, se utilizará la Técnica Documental, que permitirá la recopilación de evidencias para demostrar la hipótesis de investigación, que estarán formados por documentos de diferentes tipos como; planos eléctricos, mediciones, reportes técnicos, registro de datos, memorias, información estadística, base de datos, etc.

En la **Figura N°9**, se muestra la sala donde se encuentran los equipos de medición de la subestación eléctrica de Chimay.



Figura N° 9. Celdas de llegada y salida de la red de distribución

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Para la variable independiente y dependiente, se emplearon como instrumentos, registros, fichas estadísticas, equipos de medición y protocolos de pruebas, existentes actualmente en la subestación eléctrica de Chimay.

3.5. Técnica de análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos, se realizará en cumplimiento de la (NTCSE), norma técnica de calidad del servicio eléctrico y del (CNE), código nacional de electricidad.

Así mismo se toma la norma internacional ISO 50001, referido a la eficiencia eléctrica, relacionada con la calidad de energía y al sistema de gestión de energía.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la información y Resultados del tratamiento

4.1.1. Análisis de la información

El diagrama unifilar de la subestación eléctrica de Chimay muestra los componentes del sistema eléctrico, sus características técnicas y la forma de sus instalaciones internas y externas.

En este diagrama unifilar se puede observar las cargas incrementadas en un segundo período de tiempo, motivo por el cual se evalúa los resultados de la información obtenida.

Asimismo, se considera las características durante la operación en las dos etapas, de acuerdo a la demanda máxima medida.

Las mediciones se efectuaron en la red primaria de 13.8 kV y en la red secundaria de 230 Voltios, lo que significa la evaluación del transformador de 350 KVA y el transformador de 80 KVA.

La **Figura N°10**, muestra el diagrama unifilar de los servicios auxiliares que alimenta la central hidroeléctrica de Chimay.

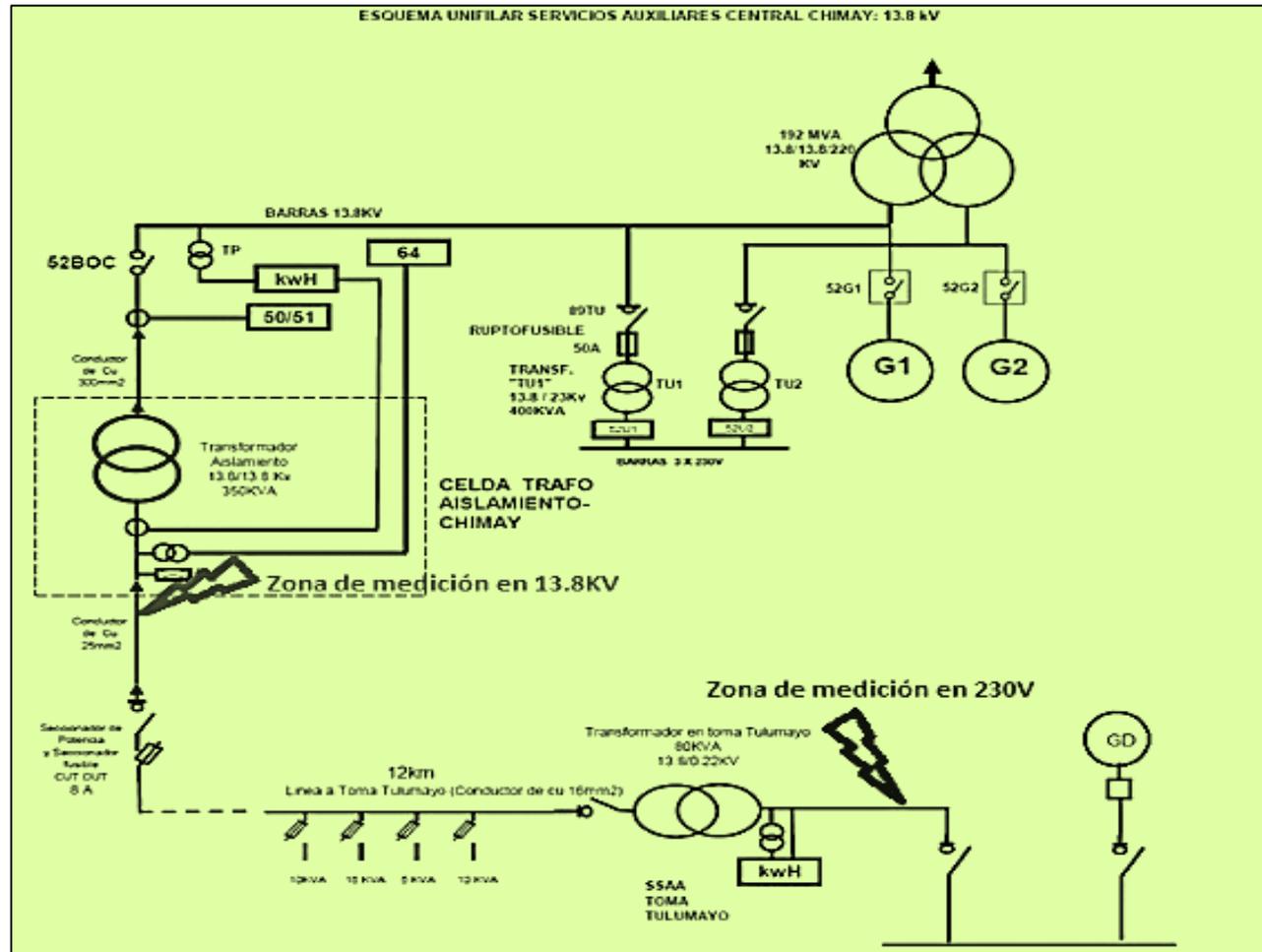


Figura N° 10. Diagrama unifilar servicios auxiliares C.H. Chimay 13.8kV.

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Resultados del tratamiento de información

Los resultados obtenidos de las mediciones de demanda máxima del sistema eléctrico de la subestación eléctrica de Chimay se clasifican en dos etapas.

La demanda máxima de la etapa I, se alimenta del transformador principal de 350 KVA y las cargas incrementadas en la etapa II se alimentan del transformador secundario de 80 KVA.

Los valores resultantes de la demanda máxima de ambas etapas se clasifican en las siguientes tablas.

La demanda máxima de las localidades de la **Etapa I**, lo muestra la **Tabla N°4**, mencionando las comunidades que son suministrados de energía eléctrica en la primera etapa y su respectiva demanda máxima que cada uno de las comunidades demandan en potencia.

Tabla N° 4. Demanda Máxima - Etapa I - C.H. Chimay

DEMANDA MÁXIMA C.H. CHIMAY – ETAPA I	
Localidad	Demanda Máxima (KW)
Los Ángeles	15.00
Yanayacu I	05.00
Yanayacu II	10.00
Las Orquídeas de Pacaybamba	10.00
TOTAL:	40.00

Fuente: Elaboración propia

La demanda máxima de la **Etapa II**, lo muestra la **Tabla N°5**, y se menciona las comunidades que son suministrados de energía eléctrica en la segunda etapa y su respectiva demanda máxima que cada uno de las comunidades demandan en potencia.

Tabla N° 5. Demanda Máxima – Etapa II - C.H. Chimay

DEMANDA MÁXIMA C.H. CHIMAY – ETAPA II	
Localidad	Demanda Máxima (KW)
Marancocha	05.00
Ayna	05.00
San José de Villano	05.00
Uchubamba	15.00
Paltay	05.00
Chacuybamba	05.00
TOTAL:	40.00

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Flujo de carga de la subestación eléctrica

La cantidad de carga instalada por localidades, alimentadas por el transformador principal de 350 KVA, se divide en dos etapas.

La Etapa I, considera las localidades de Los Ángeles, Yanayacu 1, Yanayacu 2 y las Orquídeas de Pacaybamba.

La Etapa II, considera las localidades de Marancocha, Ayna, San José de Villano, Uchubamba, Paltay y Chacaybamba.

La demanda máxima de las dos etapas que tiene la subestación de Chimay, que se puede visualizar en el diagrama unifilar, mostrado en la **Figura N°11**, para su mejor visualización citar anexos D, lámina P-03 se encuentra el plano de diagrama unifilar de redes primarias y la distribución de carga para cada comunidad correspondiente en la etapa I y en la etapa II de la subestación eléctrica de Chimay.

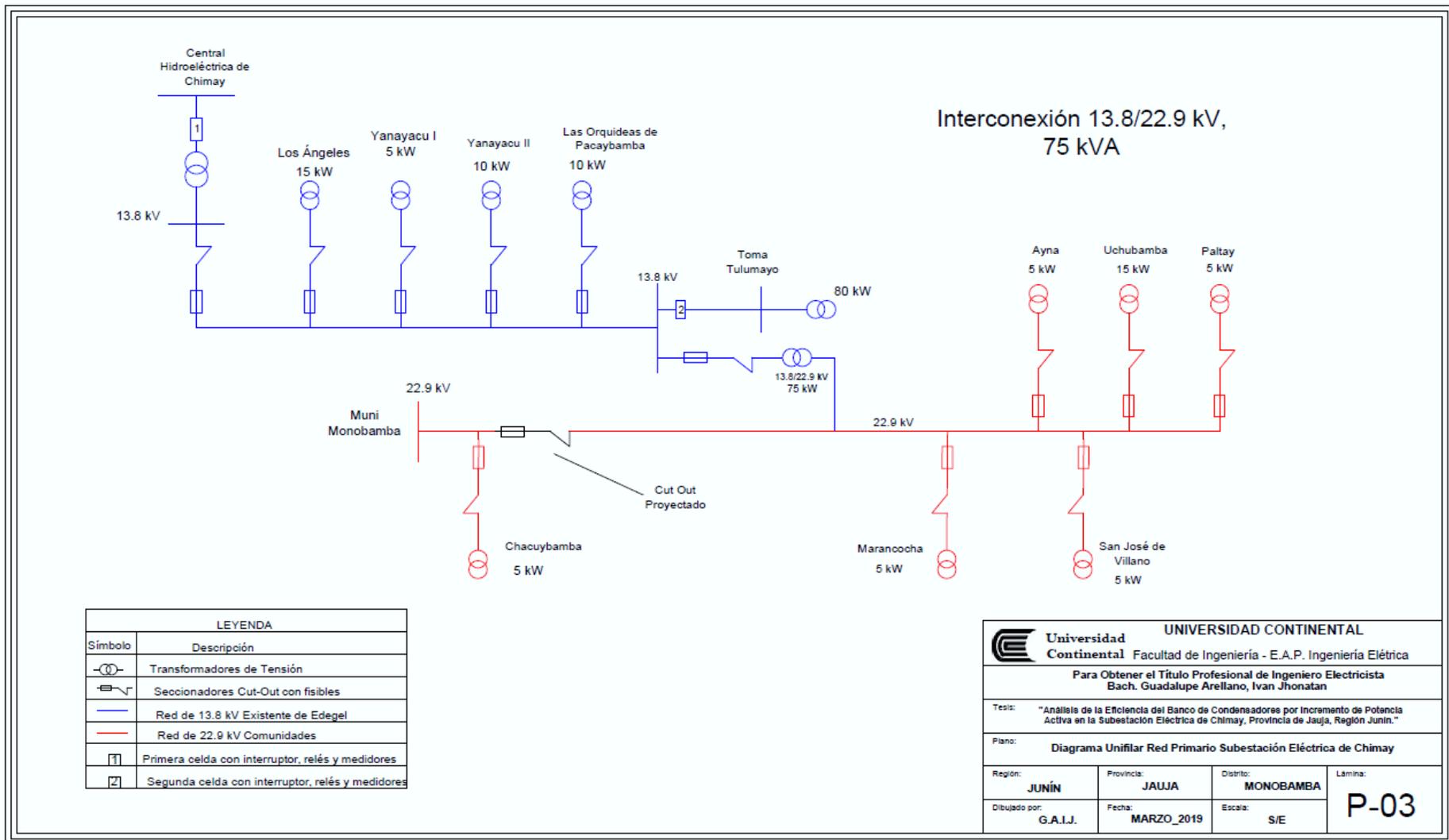


Figura N° 11. Diagrama unifilar redes primarias de C.H. de Chimay

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Características técnicas de la línea de transmisión L-2257

La subestación eléctrica de Chimay, cuenta una interconexión eléctrica con la subestación de Yanango, a través de la L-2257

La línea de transmisión L-2257 inicia en la barra de la subestación eléctrica de Chimay con una longitud de 29.54 kilómetros en simple terna con una tensión de 220 KV, y una capacidad de 1000 amperios teniendo como barra final en la subestación eléctrica de Yanango, la sección del conductor es de 500 mm² equivalente a 986.75 kcmil, tipo ACAR.

La **Figura N°12**, se muestra el diagrama unifilar de la interconexión eléctrica de la línea L-2257, línea de transmisión 220 KV Chimay – Yanango, en anexo D, se junta la lámina P-04, para su mejor visualización de este diagrama unifilar.

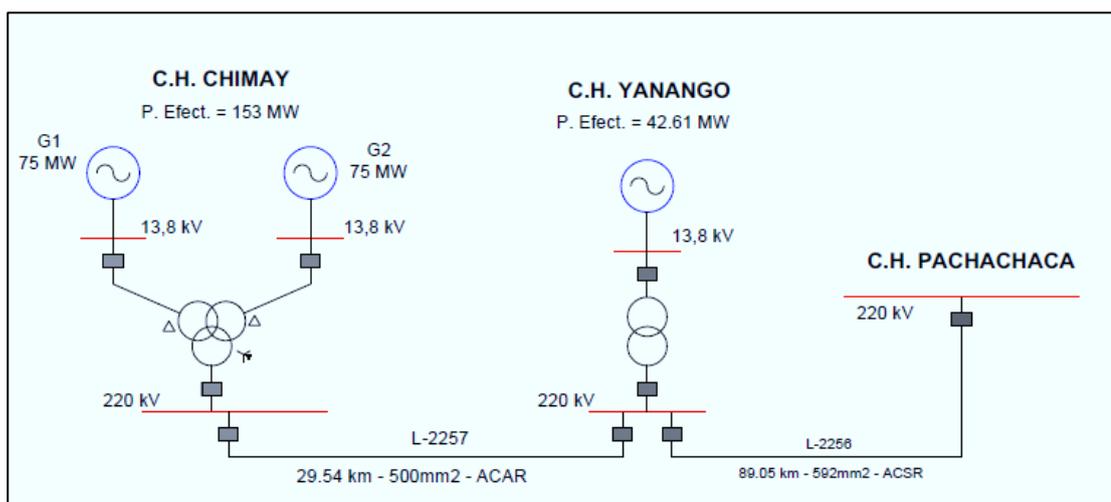


Figura N° 12. Diagrama unifilar línea 220kV, Chimay-Yanango L-2257

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Características técnicas del centro de transformación

La central hidroeléctrica de Chimay cuenta con un transformador principal con relación de transformación de 220/13.8 kV, posee una potencia instalada de 168 MW, con una demanda de 150.9 MW, el valor de la demanda corresponde a la magnitud de potencia efectiva.

La **Tabla N°6**, muestra la demanda conectada a la barra de generación en el sistema eléctrico de servicios auxiliares de la subestación eléctrica de Chimay, son sistemas rurales que demanda la concesionaria de Electrocentro S.A., con las siguientes cargas correspondientes al periodo desde el año 2013 al 2017.

Tabla N° 6. Carga promedio en la C.H. Chimay 2011 – 2017

AÑO	Central Hidroeléctrica de Chimay	
	CARGA (MW)	CARGA (KW)
2011	0.034	34
2013	0.037	37
2014	0.038	38
2015	0.040	40
2016	0.041	41
2017	0.043	43

Fuente: Plan de inversión Chinango

4.1.6. Resultado de datos de la subestación eléctrica

La **Tabla N°7**, muestra los valores de tensión entre fases en (kV), datos recopilados en tres días consecutivos, siendo el 13, 14 y 15 de febrero del 2018, en la sala donde están ubicados en los medidores de tensión de la subestación eléctrica de Chimay.

Por lo que se logro obtener y apreciar los niveles de tensiones entre fases se encuentran dentro de los márgenes que comprende el Código Nacional de Electricidad con respecto a caídas de tensión que es de ± 5 % de caída de tensión.

Tabla N° 7. Valores de tensiones entre fases

FECHA DE MEDICIÓN	HORA	TENSIÓN ENTRE FASES (kV)		
		R-S	S-T	R-T
13-02-18	09:02	13.67	13.72	13.75
	12:00	13.67	13.72	13.75
	18:30	13.67	13.77	13.75
14-02-18	09:02	13.67	13.72	13.75
	12:00	13.67	13.72	13.75
	18:30	13.67	13.72	13.75
15-02-18	09:59	13.69	13.75	13.77
	12:46	13.80	13.85	13.85
	18:46	13.85	13.85	13.85

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla N°8**, muestra los valores de frecuencia en (Hz), que la subestación eléctrica viene operando, estos datos se obtuvieron los tres días consecutivos, siendo el día 13, 14 y 15 de febrero del 2018, en la sala eléctrica donde están ubicados los medidores de frecuencia de la subestación eléctrica de Chimay.

Se logro obtener y apreciar que el nivel de frecuencia están dentro de los márgenes que comprende el Código Nacional de Electricidad con respecto a la variación de frecuencia que es un ± 1 Hz de variación, teniendo el valor de 59.97Hz como mínimo, y 60.08 Hz como máximo.

Tabla N° 8. Valores de frecuencia

Fecha de Medición	Hora	Frecuencia (Hz)
13-02-18	09:02	60.00
	12:00	60.02
	18:30	60.02
14-02-18	09:02	59.97
	12:00	60.01
	18:30	60.08
15-02-18	09:59	60.00
	12:46	60.01
	18:46	60.03

Fuente: Elaboración propia

Así mismo los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018 de recopilación de datos, se logró obtener los valores de tensión entre fase y neutro (kV), datos obtenidos de la sala eléctrica donde están ubicados los medidores de tensión de la subestación eléctrica de Chimay, tal como lo muestra la **Tabla N°9**, valores de tensiones entre fase y neutro.

Se logro obtener y apreciar que los niveles de tensiones entre fase y neutro están dentro de los márgenes que comprende el (CNE) Código Nacional de Electricidad con respecto a caídas de tensión que es de un ± 5 % de caída de tensión.

Tabla N° 9. Valores de tensiones entre fase y neutro

FECHA DE MEDICIÓN	HORA	TENSIÓN ENTRE FASE Y NEUTRO (KV)		
		R-N	S-N	T-N
13-02-18	09:02	7.90	7.89	7.94
	12:00	7.90	7.89	7.94
	18:30	7.90	7.89	7.94
14-02-18	09:02	7.90	7.89	7.94
	12:00	7.90	7.89	7.93
	18:30	7.90	7.89	7.94
15-02-18	09:59	7.92	7.90	7.95
	12:46	7.98	7.96	8.01
	18:46	7.90	7.89	7.94

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N°10**, muestra los valores de tensión media o también llamada tensión promedio entre fases en (kV), valores que nos permitirá tener un panorama global con respecto a los niveles de tensión que se tiene en el sistema, los datos recopilados los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, en la sala eléctrica donde están ubicados los medidores de tensión de la subestación eléctrica de Chimay.

Se logro obener los valores de tensión promedio y se confirma que los niveles de tensión promedio entre fases se encuentran dentro de los márgenes que comprende el Código Nacional de Electricidad con respecto a caídas de tensión que es de un $\pm 5\%$ de caída de tensión.

Tabla N° 10. Valores de tensión promedio.

FECHA DE MEDICIÓN	HORA	TENSIÓN MEDIA (Vm) (KV)
13-02-18	09:02	13.71
	12:00	13.71
	18:30	13.72
14-02-18	09:02	13.71
	12:00	13.71
	18:30	13.71
15-02-18	09:59	13.73
	12:46	13.80
	18:46	13.82

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Aplicando la **Ecuación N°5**, se puede calcular la tensión media o tensión promedio, que consiste en la sumatoria de las tres tensiones entre fases, dividido en 3.

Ecuación N° 15. Cálculo de tensión promedio

$$V_m = \frac{V(RS) + V(ST) + V(RT)}{3}$$

Donde:

V_m: Tensión promedio (kV)

V(R-S): Tensión entre la fase R y S (kV)

V(R-S): Tensión entre la fase S y T (kV)

V(R-S): Tensión entre la fase R y T (kV)

Así como es la importancia de obtener los valores de tensión promedio entre fases también es importante calcular el porcentaje de desbalance de tensión que existe en el sistema eléctrico, los valores obtenidos se da con respecto a los valores de tensión entre fases en (kV), los datos que fueron recopilados los tres días consecutivos, siendo el día 13, 14 y 15 de febrero del 2018, en la sala eléctrica donde están ubicados los medidores de tensión de la subestación eléctrica de Chimay.

La **Tabla N°11**, muestra los valores de tensiones entre fases, donde denotan un desbalance mínimo de 0.12% a 0.27%, los cuales están permitidos por las normas vigentes, sin embargo, el desbalance mayor se encuentra muy cercano al límite establecido de 0.3%, lo que indica

que se debe establecer un plan de evaluación más detallado para identificar las causas del incremento de desbalance.

Tabla N° 11. Valores de desbalance de niveles de tensión

FECHA DE MEDICIÓN	HORA	PORCENTAJE DE DESBALANCE (D%)
13-02-18	09:02	0.27
	12:00	0.27
	18:30	0.27
14-02-18	09:02	0.27
	12:00	0.27
	18:30	0.27
15-02-18	09:59	0.27
	12:46	0.24
	18:46	0.12

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se requiere aplicar la **Ecuación N°16**, para calcular el porcentaje de desbalance de tensiones en la red eléctrica.

Ecuación N° 16. Cálculo de desbalance de tensión

$$D\% = \frac{Vn - Vm}{Vm} * 100$$

Donde:

D% = Porcentaje de desbalance de Tensión entre fases

Vn = Tensión nominal entre fases (kV)

Vm = Tensión nominal media (kV)

4.1.7. Datos de tablero de la subestación eléctrica

En la visita técnica a las instalaciones de la subestación eléctrica de Chimay, los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, se obtuvo los datos de tensión entre fases (kV), en la **Figura N°13**, se muestra los datos del día 13 de febrero del 2018, horas 18:32, para su veracidad y poder corroborar los datos obtenidos, para ser plasmados en la **Tabla N°7** y en la **Tabla N°10**.

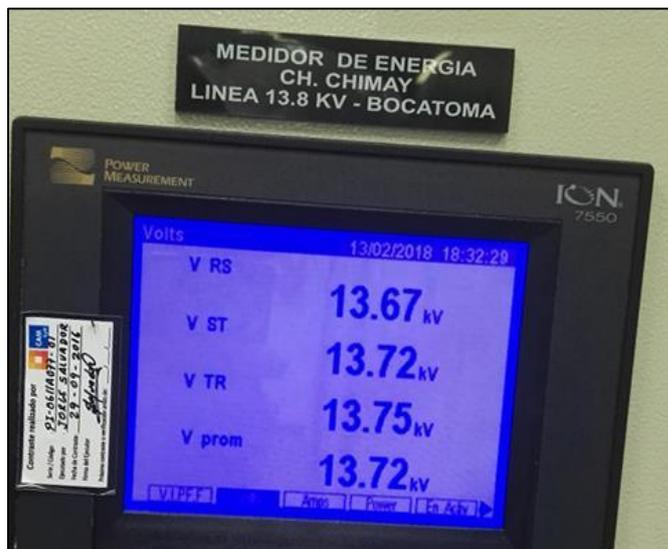


Figura N° 13. Medidor de tensión entre fases y tensión promedio

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla N°12**, muestra los datos extraídos de la **Figura N°13**, para la mejor visualización de los datos de tensión entre fases (KV), en la visita técnica a las instalaciones de la subestación eléctrica de Chimay, los tres días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, los datos corresponden al día 13 de febrero del 2018, horas 18:32.

Tabla N° 12. Niveles de tensión entre fases y tensión promedio

MEDICIÓN	VOLTAJE (KV)
V RS	13.67
V ST	13.72
V TR	13.75
V Prom	13.72

Fuente: Elaboración propia

De la información analizada y de las mediciones efectuadas durante las visitas técnicas a las instalaciones de la subestación eléctrica de Chimay, los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, se obtuvieron datos de tensión promedio (kV), intensidad de corriente promedio (A), factor de potencia y la frecuencia (Hz).

La **Figura N°14**, muestra los datos del día 13 de febrero del 2018, horas 18:32, para su veracidad y poder corroboran los datos obtenidos, para ser plasmado en la **Tabla N°8** y la **Tabla N°10**.



Figura N° 14. Datos de factor de potencia, tensión y corriente promedio.

Fuente: Elaboración propia

Para la mejor visualización de los datos de tensión promedio (KV), intensidad de corriente promedio (A), factor de potencia y la frecuencia (Hz), se extrae datos de la **Figura N°14**, en visita técnica a las instalaciones de la subestación eléctrica de Chimay, los tres días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, los datos refieren al día 13 de febrero del 2018, horas 18:32, tal como lo detalla la **Tabla N°13**.

Tabla N° 13. Datos factor de potencia, tensión y corriente promedio

INDICADOR	MEDICIÓN	UNIDAD
V Prom	13.72	KV
I Prom	1.610	A
Factor de Potencia	99.55	IND
Frecuencia	60.02	Hz

Fuente: Elaboración propia

En la visita técnica a las instalaciones de la subestación eléctrica de Chimay, los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, también se obtuvo los datos de desfases entre la tensión y la intensidad de corriente.

La **Figura N°15**, muestra los datos del día 13 de febrero del 2018, horas 18:33, en el medidor de energía de la línea 13.8 kV, Bocatoma.



Figura N° 15. Medición de desbalance de tensión y corriente

Fuente: Elaboración propia

Para su mejor visualización de los datos mostrados en la **Figura N°15**, se extrae y se presenta en la **Tabla N°14**, los datos de desfases entre la tensión y la intensidad de corriente, datos obtenidos el día 13 de febrero del 2018, horas 18:33, en el medidor de energía de la línea 13.8 KV, Bocatoma.

Tabla N° 14. Medición de desbalance de tensión y corriente

FASORES	MAGNITUD (kV) (A)	ANGULO
Vr	7.90	0.0
Vs	7.89	-119.7
Vt	7.94	120.3
V4	0.00	0.0
Ir	0,634	-10.6
Is	1.677	-96.7
It	1.836	103.3
I4	0.000	0.0
I	0.000	0,0

Fuente: Elaboración propia

Visita técnica a las instalaciones de la subestación eléctrica de Chimay, los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, se visitó el transformador principal con una potencia de 350 KVA, de ello se obtuvo la placa característica, así como se muestra en la **Figura N°16**.

Siendo este transformador que alimenta la primera etapa de la subestación eléctrica de Chimay, que comprende las localidades de Los Ángeles, Yacuyacu I, Yacuyacu II Y Las Orquídeas De Pacaybamba.

En la segunda etapa está alimentado por un transformador de potencia 35 KVA, en esta etapa comprende las localidades de Marancocha, Ayna, San José De Villano, Uchubamba, Paltay Y Chacaybamba.

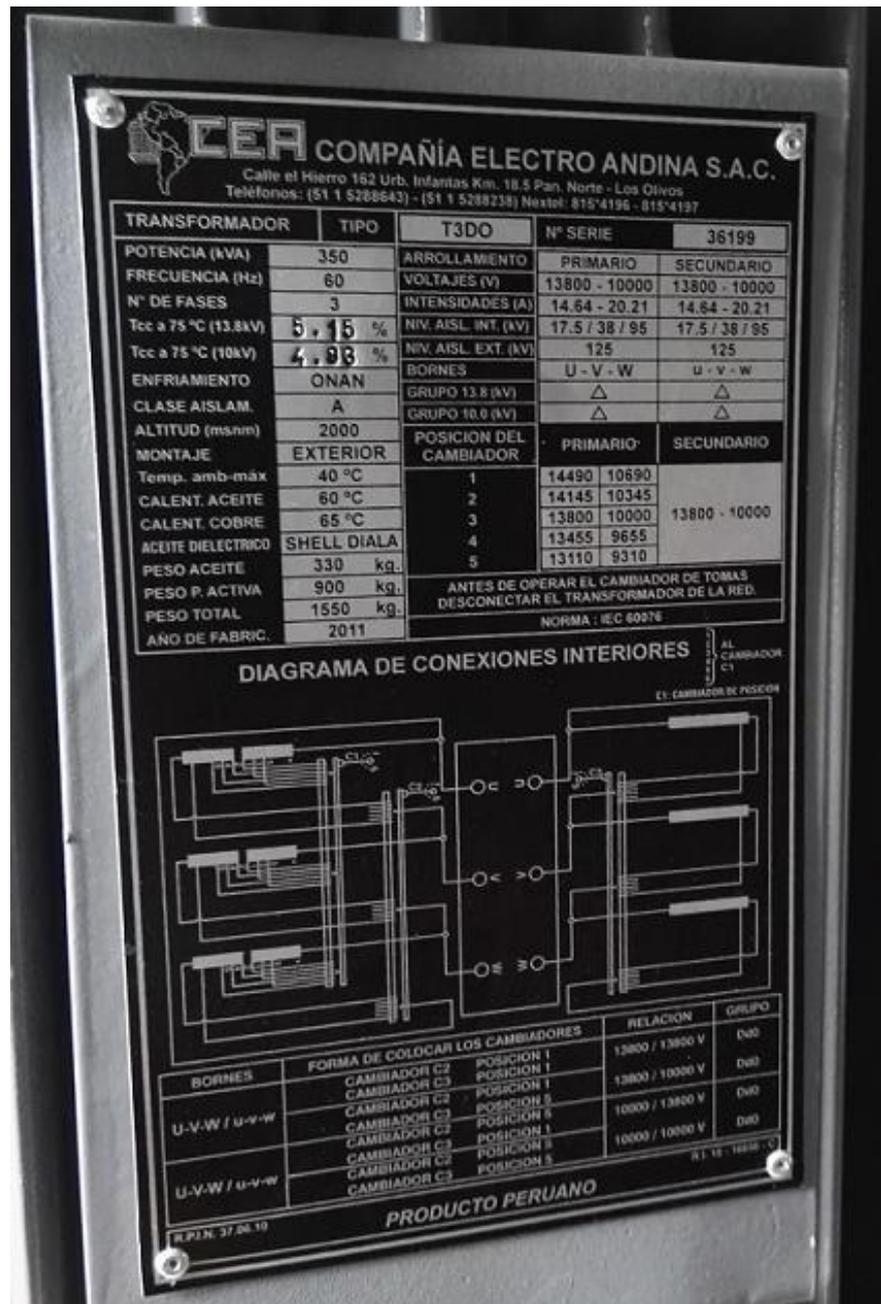


Figura N° 16. Placa nominal del transformador de 350 KVA

Fuente: Elaboración propia

El transformador de distribución es el equipo principal para considerarlo de referente para el diseño del banco de condensadores, es la razón fundamental para tomar decisiones de acuerdo a los resultados

obtenidos en el sistema eléctrico a fin de mejorar la calidad de servicio eléctrico.

La **Figura N°17**, se obtuvo en visita técnica a las instalaciones de la subestación eléctrica de Chimay, los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, se muestra claramente el transformador principal con una potencia de 350 KVA.

Siendo este transformador principal que alimenta la primera etapa de la subestación eléctrica de Chimay, que comprende las localidades de Los Angeles, Yacuyacu I, Yacuyacu II Y Las Orquídeas de Pacaybamba.



Figura N° 17. Transformador principal de 350 KVA

Fuente: Elaboración propia

En visita técnica a las instalaciones de la subestación eléctrica de Chimay, los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, también se obtuvo los datos de intensidad de corriente, en el lado primario del transformador principal, tal como lo detalla la **Tabla N°15**.

Tabla N° 15. Intensidad de corriente lado primario del transformador

FECHA DE MEDICIÓN	HORA	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)		
		R	S	T
13.02.18	09:02	0.23	1.23	1.18
	12.00	0.36	1.21	1.24
	18.30	0.70	1.83	2.15
14.02.18	09.00	0.24	1.34	1.35
	12.00	0.25	1.25	1.19
	18.30	0.68	2.35	2.38
15.02.18	09.59	0.24	1.17	1.13
	12.46	0.28	1.26	1.30
	18.46	0.77	2.44	2.58
Promedio		0.42	1.56	1.61

Fuente: Elaboración propia

De la **Tabla N°15**, que contiene los valores de la intensidad de corriente, se pudo calcular la intensidad de corriente promedio y el porcentaje de desbalance para tener de información, que podría contribuir en el presente estudio de tesis.

La **Tabla N°16**, presenta valores de la intensidad de corriente promedio y el porcentaje de desbalance.

Tabla N° 16. Promedio y desbalance de corriente, lado primario de transformador

FECHA DE MEDICIÓN	HORA	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)			I Prom	D (%)
		IR	IS	IT		
13-02-18	09:02	0.23	1.23	1.18	0.88	39.98
	12:00	0.36	1.21	1.24	0.93	29.61
	18:30	0.70	1.83	2.15	1.56	17.39
14-02-18	09:02	0.24	1.34	1.35	0.98	37.24
	12:00	0.25	1.25	1.19	0.90	39.23
	18:30	0.68	2.35	2.38	1.80	30.28
15-02-18	09:59	0.24	1.17	1.13	0.85	37.54
	12:46	0.28	1.26	1.30	0.95	32.49
	18:46	0.77	2.44	2.58	1.93	26.49

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Aplicando la **Ecuación N°17**, se puede obtener el valor de la intensidad de corriente promedio.

Ecuación N° 17. Cálculo de intensidad de corriente promedio.

$$I_m = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

Donde:

I_m = Intensidad de corriente media (A)

I_R = Intensidad de corriente en la fase R (A)

I_S = Intensidad de corriente en la fase S (A)

I_T = Intensidad de corriente en la fase T (A)

- ✓ Para calcular el desbalance de intensidad de corriente producido en las fases, se obtiene aplicando la **Ecuación N°18**.

Ecuación N° 18. Cálculo de desbalance de intensidad de corriente.

$$D\% = \frac{I_n - I_m}{I_m} * 100$$

Donde:

$D\%$ = Porcentaje de desbalance de intensidad de corriente.

V_n = Corriente nominal entre fases (A)

V_m = Corriente media (A)

Con el motivo de estudio de tesis que también tiene como responsabilidad social para brindar un servicio de energía eléctrica sin perturbaciones en el sistema provocados por armónicos, se tomó los datos de distorsión de armónicos en el medidor de energía de la subestación eléctrica de Chimay, línea 13.8 KV, Bocatoma.

Los datos presentados se obtuvieron los días de visita técnica a la subestación eléctrica, los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, los valores de la **Figura N°18**, corresponden al día 13 de febrero a las 18:34 horas.



Figura N° 18. Valores de armónicos en la línea 13.8 KV

Fuente: Elaboración propia

Para tener una mejor visibilidad de los datos de la **Figura N°18**, que contiene los datos de distorsión de armónicos en el medidor de energía de la central hidroeléctrica de Chimay, línea 13.8 kV, Bocatoma, la medición se realizó el día 13 de febrero del 2018 a 18:34 horas, así como lo detalla la **Tabla N°17**.

Tabla N° 17. Porcentaje de valores de armónicos en la línea 13.8 KV

VOLTAJE Y CORRIENTE	
INDICADOR	TOTAL HD (%)
V1	2.27
V2	2.28
V3	2.27
I1	15.72
I2	45.01
I3	44.43

Fuente: Elaboración propia

Así también en la visita técnica a las instalaciones de la subestación eléctrica de Chimay, los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018, se obtuvo los datos de la intensidad de corriente, en el lado secundario del transformador principal, la **Tabla N°18**, muestra los datos obtenidos.

Tabla N° 18. Intensidad de corriente, lado secundario del transformador

FECHA DE MEDICIÓN	HORA	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)		
		IR	IS	IT
13-02-18	09:02	20.07	28.2	20.30
	12:00	20.00	28.00	20.20
	18:30	38.33	31.73	33.25
14-02-18	09:02	19.25	19.77	18.91
	12:00	11.65	16.28	11.72
	18:30	58.92	54.89	46.80
15-02-18	09:59	18.13	27.60	21.01
	12:46	40.52	40.03	46.98
	18:46	87.66	84.69	86.07

Fuente: Elaboración propia

La **Figura N°19**, muestra los valores de tensión (V) y la frecuencia, datos tomados en el lado secundario del transformador principal, obtenido los días de visita técnica a la subestación eléctrica de Chimay.



Figura N° 19. Valores de tensión, lado secundario del transformador

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N°19**, se adjunta datos extraídos de la **Figura N°19**, para fines de su mejor visualización de los datos.

Tabla N° 19. Valores de tensión, lado secundario del transformador

INDICADOR	MEDIDA	UNIDAD
R - S	222.9	V
S - T	227.1	V
T - R	227.5	V
V avg	227.2	V
Frecuencia	59.981	Hz

Fuente: Elaboración propia

Donde se puede apreciar que los niveles de tensión (V), están dentro de los márgenes que el Código Nacional de Electricidad indica con respecto a la caída de tensión, que deberían de estar dentro del $\pm 5\%$ de caída de tensión, así mismo el nivel de frecuencia está dentro del margen ± 1 Hz, que establece la norma.

También se muestra los valores de intensidad de corriente (A), tomado del lado secundario del transformador principal, de la subestación eléctrica de Chimay, tal como lo muestra la **Figura N°20**.



Figura N° 20. Intensidad de corriente, lado secundario de transformador

Fuente: Elaboración propia

Para una mejor visibilidad de los datos presentados en la **Figura N°20**, se extrajo los valores de intensidad de corriente en el lado secundario del transformador principal, así como lo detalla la **Tabla N°20**.

De los valores obtenidos se puede apreciar que los niveles de amperaje en la fase R y T, tienen valores muy cercanos, a excepción de la fase S que tiene un amperaje superior de la fase R y T, por lo que se deduce que existe un desbalance de carga en el sistema eléctrico.

Tabla N° 20. Intensidad de corriente, lado secundario de transformador

INDICADOR	MEDIDA	UNIDAD
I (R)	20.07	A
I (S)	28.20	A
I (T)	20.30	A
I avg	22.88	A

Fuente: Elaboración propia

4.2. Prueba de Hipótesis

Como prueba de hipótesis, se consideraron los indicadores de potencia activa, reactiva, aparente y del factor de potencia, los cuales, son importantes para el análisis de la eficiencia del banco de condensadores.

La variación de cada una de ellas influye directamente sobre los resultados finales.

La **Figura N°21**, muestra los valores de potencias, así como; potencia activa (P, (KW)), potencia reactiva (Q, (KVAR)), potencia aparente (S,

(KVA)) y el factor de potencia, datos obtenidos en la subestación eléctrica de Chimay.



Figura N° 21. Valores de potencias y factor de potencia

Fuente: Elaboración propia

Para explicar mejor la **Figura N°21**, se extrajo los datos potencia activa (P, (KW)), potencia reactiva (Q, (KVAR)), potencia aparente (S, (KVA)) y el factor de potencia, en la **Tabla N°21**.

Por lo que se puede precisar que la potencia reactiva (Q), podría perturbar en un nivel mínimo la calidad del sistema eléctrico, en cuanto a la potencia aparente (S), está muy cercano a la potencia activa (P), lo

ideal sería que el valor de la potencia aparente sea el mismo a la potencia activa, solo así el valor de la potencia reactiva sería nulo, en este período de la medición se tiene un buen resultado del factor de potencia teniendo el valor de **0.9787**, Inductivo.

Los indicadores de potencia activa, reactiva, aparente y del factor de potencia, son importantes para el análisis de la eficiencia del banco de condensadores.

La variación de cada una de ellas, directamente afectaría sobre los resultados finales que se podría obtener en la toma de datos.

Tabla N° 21. Valores de potencias y factor de potencia

INDICADOR	SIMBOLO	MEDIDA	UNIDAD
Potencia activa	P	8.576	KW
Potencia reactiva	Q	1.799	KVAR
Potencia aparente	S	8.762	KVA
Factor de potencia	Cos φ	-97.87 0.9787	IND

Fuente: Elaboración propia

Así mismo se muestra los valores de distorsión de armónicos, en la **Figura N°22**, se aprecia los valores de distorsión de armónicos en la tensión y en la intensidad de corriente en el lado secundario del transformador principal de la subestación eléctrica de Chimay.



Figura N° 22. Distorsión en armónicos, lado secundario del transformador

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 22**, se visualiza mejor los valores extraídos de la **Figura N°22**, donde se aprecia que los niveles de distorsión de armónicos en la tensión y en la intensidad de corriente en el lado secundario del transformador, son considerables por existir mínima distorsión en el sistema eléctrico en la subestación eléctrica de Chimay.

Tabla N° 22. Distorsión de armónicos, lado secundario del transformador

VOLTAJE Y CORRIENTE	
INDICADOR	TOTAL HD
V1	1.467
V2	1.270
V3	1.257
I1	26.75
I2	15.49
I3	9.721

Fuente: Elaboración propia

También en la **Figura N°23**, se puede apreciar los valores de distorsión de armónicos en el sistema eléctrico, valores obtenidos del medidor de energía de la central hidroeléctrica de Chimay, Grupo N°1 y Grupo N° 2.



Figura N° 23. Valores de armónicos, grupo N°1 y N°2 de la C.H. Chimay

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N°23**, se muestra los valores de distorsión de armónicos en el sistema eléctrico, valores obtenidos del medidor de energía de la central hidroeléctrica de Chimay, Grupo N°1 y grupo N° 2, datos extraído de la **Figura N°23**, para su mejor visualización, de los valores obtenidos en el tablero de medición independientemente.

Tabla N° 23. Valores de armónicos, grupo N°1 y N°2 de la C.H. Chimay

TOTAL HD (%)		
INDICADOR	GRUPO 1	GRUPO 2
V1	2.36	2.55
V2	2.26	2.43
V3	2.35	2.55
I1	0.83	0.84
I2	0.79	0.77
I3	0.72	0.64

Fuente: Elaboración propia

De igual manera en la **Figura N°24**, se aprecia valores de distorsión de armónicos en el sistema eléctrico, valores obtenidos del medidor de energía de la central hidroeléctrica de Chimay, Línea 2257 y Línea 13.8 KV – Bocatoma.



Figura N° 24. Valores de armónicos en línea 2257 y línea 13,8 kV

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla N°24**, muestra los valores de distorsión de armónicos en el sistema eléctrico, valores obtenidos del medidor de energía de la central hidroeléctrica de Chimay, Línea 2257 y Línea 13.8 KV – Bocatoma, datos extraído de la **Figura N°24**, para su mejor visualización.

Tabla N° 24. Valores de armónicos en línea 2257 y línea 13.8 KV

TOTAL HD (%)		
INDICADOR	LINEA 2257	LINEA 13.8 KV
V1	1.48	2.26
V2	1.41	2.26
V3	1.37	2.29
I1	0.37	19.45
I2	0.76	38.69
I3	075	40.77

Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Incremento de demanda máxima en la subestación eléctrica

Por planteamiento de problema de tesis, se conoce los datos de la subestación eléctrica de central hidroeléctrica de Chimay, que posee una capacidad instalada de 168 Megavatios (MW), logrando una potencia activa de 154.8 Megavatios (MW).

La central hidroeléctrica de Chimay, fue puesto en servicio en el mes de octubre del año 2000, con un monto de inversión de 131.6 millones de dólares.

Por motivo de estudio de la presente tesis, es analizar la eficiencia del banco de condensadores por incremento de potencia activa en la subestación eléctrica de Chimay.

Se extrajo datos de máxima demanda en horas punta del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), correspondiente al año 2010, 2017 y 2018; datos que servirá estadísticamente para su análisis de incremento de la potencia durante el periodo.

La **Tabla N°25**, muestra la máxima demanda en megavatios (MW), suscitado cada mes, día y hora del año 2010, en horas punta, tanto en la etapa I y en la etapa II, de la subestación eléctrica de Chimay.

La **Figura N°25**, se muestra el diagrama de demandas máximas en megavatios (MW), de la subestación eléctrica de Chimay correspondiente al año 2010, en donde se puede apreciar que, desde el inicio del año, el nivel de demanda fue casi constante hasta el mes de abril, pero en el mes de mayo tuvo un pico de descenso de demanda que al siguiente mes de elevó casi al mismo valor de los cuatro primeros meses.

El día, mes y hora que tuvo una mínima demanda máxima fue el día 12 del mes a las 20:00 horas con 90.292 MW de demanda máxima, así como el 29 de enero a las 20:30 horas fue de mayor demanda máxima con 151.331 MW, así como se puede constatar en el diagrama presentado en la **Figura N°25**.

Tabla N° 25. Demanda máxima en horas punta del año 2010

AÑO: 2010	HORAS PUNTA		DEMANDA MAXIMA (MW)		
MES	FECHA	HORA	CHIMAY I	CHIMAY II	TOTAL
Enero	29/01/2010	20:30:00	75.520	75.811	151.331
Febrero	24/02/2010	20:00:00	74.299	74.584	148.883
Marzo	24/03/2010	20:30:00	75.261	75.498	150.759
Abril	13/04/2010	21:30:00	75.268	75.579	150.847
Mayo	20/05/2010	20:00:00	45.387	45.626	91.013
Junio	10/06/2010	20:00:00	73.436	73.403	146.839
Julio	13/07/2010	19:45:00	73.533	70.913	144.446
Agosto	12/08/2010	20:00:00	45.125	45.167	90.292
Septiembre	21/09/2010	19:30:00	45.443	45.233	90.676
Octubre	27/10/2010	21:00:00	45.190	45.191	90.381
Noviembre	26/11/2010	19:45:00	74.713	75.447	150.160
Diciembre	16/12/2010	20:00:00	44.912	74.866	119.778
Promedio parcial			62.341	64.777	127.117
Promedio Total			63.559		
Demanda máxima			75.520	75.811	151.331
Demanda mínima			44.912	45.167	90.292

Fuente: Elaboración propia / Coes

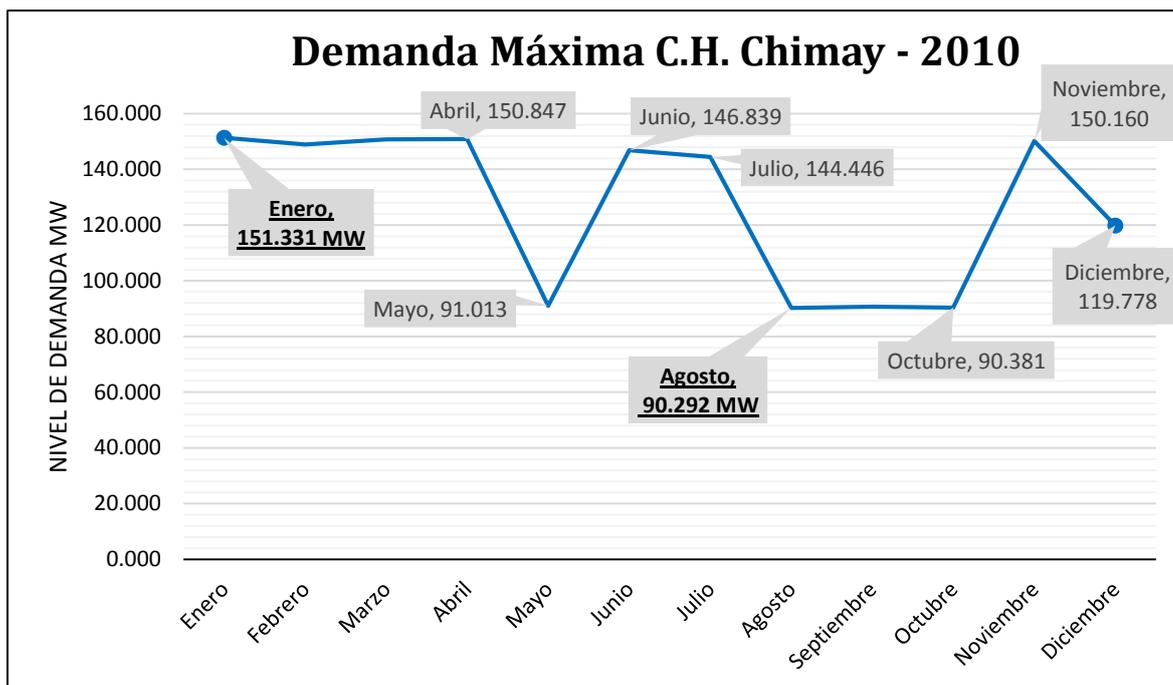


Figura N° 25. Diagrama de demanda máxima, horas punta del año 2010

Fuente: Elaboración propia

Los valores mostrados son de la sumatoria de demanda máxima de la etapa I y de etapa II de la subestación eléctrica de Chimay, valores presentados en la **Tabla N°25**, donde se puede apreciar el mes que tuvo una demanda máxima más elevado como el mes que tuvo una demanda máxima más bajo.

Así mismo se muestra la **Tabla N°26**, la máxima demanda (MW), suscitado cada mes, día y hora del año 2017, en horas punta, tanto en la etapa I y en la etapa II, de la subestación eléctrica de Chimay.

Tabla N° 26. Demanda máxima en horas punta del año 2017

AÑO: 2017	HORAS PUNTA		DEMANDA MAXIMA (MW)		
MES	FECHA	HORA	CHIMAY I	CHIMAY II	TOTAL
Enero	25/01/2017	17:30:00	76.860	57.653	134.513
Febrero	01/02/2017	20:00:00	76.106	76.899	153.005
Marzo	07/03/2017	20:00:00	78.129	77.069	155.198
Abril	28/04/2017	19:45:00	78.107	77.059	155.166
Mayo	09/05/2017	21:15:00	77.909	76.865	154.774
Junio	21/06/2017	18:45:00	77.080	45.223	122.303
Julio	12/07/2017	19:45:00	61.410	58.890	120.300
Agosto	24/08/2017	19:45:00	0.000	75.244	75.244
Septiembre	20/09/2017	18:45:00	49.713	48.193	97.906
Octubre	23/10/2017	20:45:00	75.263	77.244	152.507
Noviembre	21/11/2017	21:30:00	73.207	46.849	120.056
Diciembre	18/12/2017	20:45:00	76.071	46.164	122.235
Promedio parcial			66.655	63.613	130.267
Promedio Total			65.134		
Demanda máxima			78.129	77.244	155.198
Demanda mínima			0.000	45.223	75.244

Fuente: Elaboración propia / Coes

La **Figura N°26**, muestra el diagrama de demandas máximas en megavatios (MW), de la subestación eléctrica de Chimay correspondiente al año 2017, del cual se visualiza que durante el año tuvo un promedio de demanda máxima, por tener valores superiores a 95.00MW, con excepción del mes de agosto que tuvo un pico de descenso de demanda máxima.

El día, mes y hora que tuvo la mayor demanda máxima fue el día 07 de marzo a las 20:00 horas con 155.198 MW, y el 24 de agosto a las 19:45 horas fue el mes con mínima demanda máxima con 75.244 MW, en el diagrama de demanda máxima se puede apreciar claramente.

Los valores mostrados son de la sumatoria de demanda máxima de la etapa I y de etapa II de la subestación eléctrica de Chimay, valores de la **Tabla N°26**.

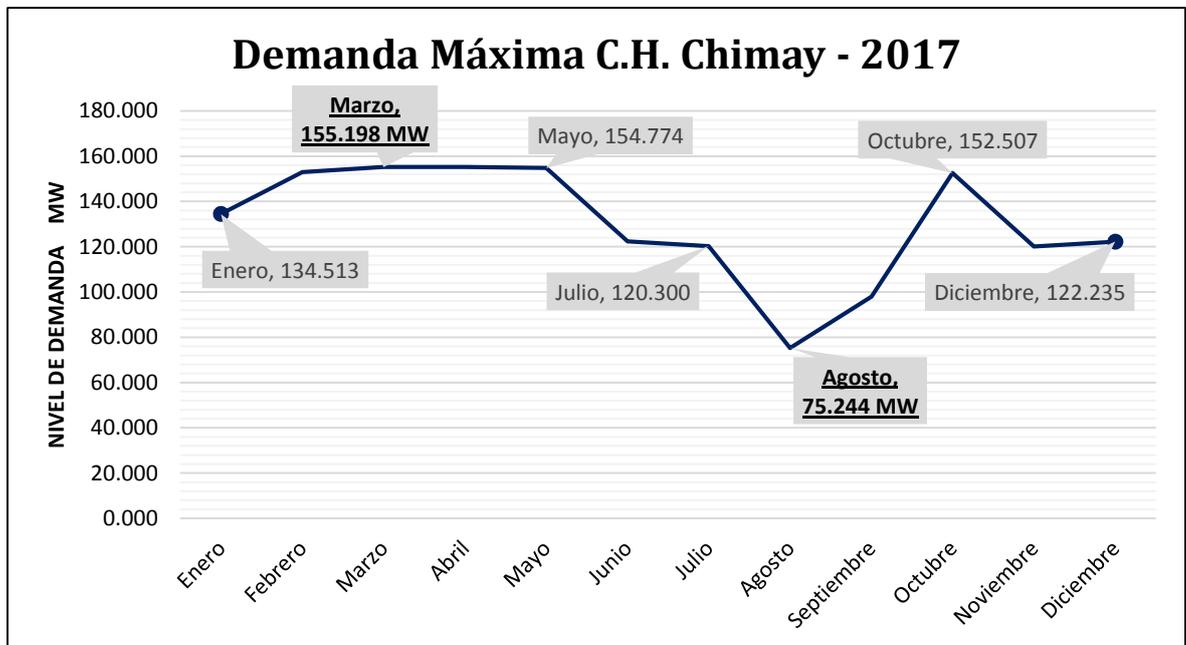


Figura N° 26. Diagrama de demanda máxima, horas punta del año 2017

Fuente: Elaboración propia

Así mismo se presenta la **Tabla N°27**, donde se detalla la máxima demanda (MW), suscitado cada mes, día y hora del año 2018, en horas punta, tanto en la etapa I y en la etapa II, de la subestación eléctrica de Chimay.

Tabla N° 27. Demanda máxima en horas punta del año 2018

AÑO: 2018	HORAS PUNTA		DEMANDA MAXIMA (MW)		
MES	FECHA	HORA	CHIMAY I	CHIMAY II	TOTAL
Enero	26/01/2018	21:45:00	75.904	74.138	150.042
Febrero	13/02/2018	19:45:00	75.968	74.003	149.971
Marzo	17/03/2018	19:30:00	76.186	74.217	150.403
Abril	24/04/2018	17:45:00	75.974	74.070	150.044
Mayo	08/05/2018	18:00:00	78.127	74.869	152.996
Junio	05/06/2018	20:00:00	79.085	75.825	154.910
Julio	09/07/2018	21:00:00	0.000	75.500	75.500
Agosto	28/08/2018	20:15:00	55.153	44.924	100.077
Septiembre	26/09/2018	21:15:00	78.686	75.555	154.241
Octubre	17/10/2018	19:00:00	78.601	75.395	153.996
Noviembre	27/11/2018	20:30:00	78.576	75.571	154.147
Diciembre	17/12/2018	20:00:00	77.658	74.726	152.384
Promedio parcial			69.160	72.399	141.559
Promedio Total			70.780		
Demanda máxima			79.085	75.825	154.910
Demanda mínima			0.000	44.924	75.500

Fuente: Elaboración propia / Coes

La **Figura N°27** detalla el diagrama de demandas máximas en megavatios (MW), de la subestación eléctrica de Chimay correspondiente al año 2018, que durante todo el año se mantuvo en un nivel de demanda máxima promedio, por tener valores que superan los 140.00MW, a excepción del mes de junio que alcanzo un pico elevado de demanda

máxima, y el mes de julio descendió considerablemente motivo que solo la Etapa II tuvo demanda de cargas y etapa I no tuvo demanda en ese mes.

El día, mes y hora que tuvo la mayor demanda máxima alcanzando a 154.910 MW, fue el día 05 de junio a las 20:00 horas y 09 de julio a las 21:00 horas con un mínimo de demanda máxima con un valor de 75.500 MW, tal como se puede apreciar en el diagrama.

Los valores mostrados son de la sumatoria de demanda máxima de la etapa I y de etapa II de la subestación eléctrica de Chimay, valores de la **Tabla N°27**.

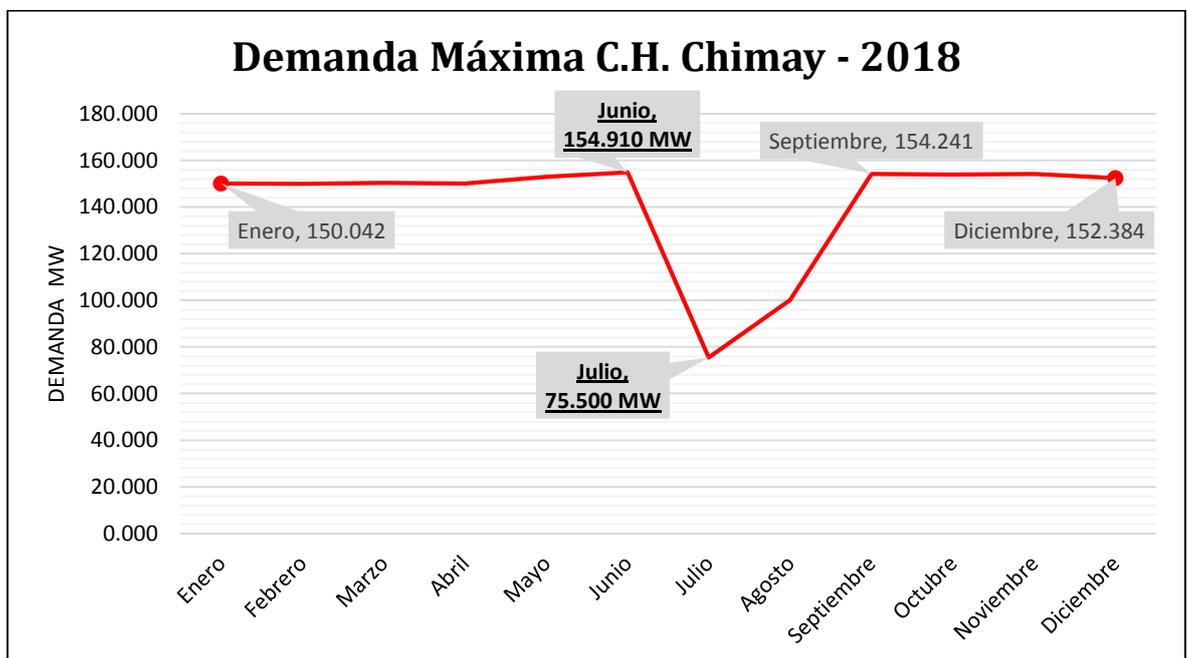


Figura N° 27. Diagrama de demanda máxima, horas punta del año 2018

Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos de demanda máxima de los años 2010, 2017 y 2018, detallados en las **Tablas N°25, N°26 y N°27**, se presenta la **Tabla N°28**, para fines de verificar el incremento de la demanda máxima en la subestación eléctrica de Chimay.

Las demandas máximas evaluadas en estos tres años, se obtuvo los valores netamente de las horas en punta, es por ello que se da a partir de las 18:00 horas que normalmente inicia las horas punta de consumo de energía eléctrica.

Tabla N° 28. Demanda máxima promedio del año 2010, 2017 y 2018

HORAS PUNTA				DEMANDA MAXIMA (MW)		
AÑO	MES	FECHA	HORA	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO TOTAL ANUAL
2010	Agosto	12/08/2010	20:00:00	90.292		
	Enero	29/01/2010	20:30:00		151.331	
						127.117
2017	Agosto	24/08/2017	19:45:00	75.244		
	Marzo	07/03/2017	20:00:00		155.198	
						130.267
2018	Julio	09/07/2018	21:00:00	75.500		
	Junio	05/06/2018	20:00:00		154.910	
						141.559

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N°28**, se visualiza que el año 2010, el 12 de agosto a las 20:00 horas se encontró una mínima demanda máxima con un valor de 90.292 MW, y el 29 de enero a las 20:30 horas del mismo año, se llegó al pico de demanda máxima con un valor de 151. 331 MW.

También se aprecia que el año 2017, el día 24 de agosto a las 19.45 horas se llegó al nivel mínimo de demanda máxima con 75.244 MW, y el día 03 de julio a las 20:00 horas se llegó al pico de la demanda máxima con un valor de 155.198 MW.

Por último, el año 2018, el día 09 de julio a las 21:00 horas se llegó a nivel mínimo de la demanda máxima con 75.500 MW, y el 05 de junio a las 20:00 horas se llegó al pico de la demanda máxima con un valor de 154.910 MW.

La **Figura N°28**, presenta el diagrama de demanda máxima donde se puede apreciar que analizando los valores de demanda máxima en horas punta de los años 2010, 2017 y 2018 en la subestación eléctrica de Chimay.

Se puede visualizar claramente el crecimiento de la demanda máxima, el año 2010 se tiene un valor promedio total de demanda máxima de 127.117 MW, y el año 2017 llegó a un valor de demanda máxima de 130.267 MW, siendo una elevación de 3.15 MW entre el periodo que comprende del año 2010 – 2017.

A comparación de la versión anterior la elevación de la demanda máxima es de 11.292 MW, entre el periodo 2017 – 2018, teniendo el año 2018 como valor promedio total de demanda máxima 141.599 MW.

Por ende, se deduce que crecimiento de la demanda máxima en la subestación eléctrica de Chimay, creció en 14.442 MW, analizado desde el año 2010 hasta el año 2018.

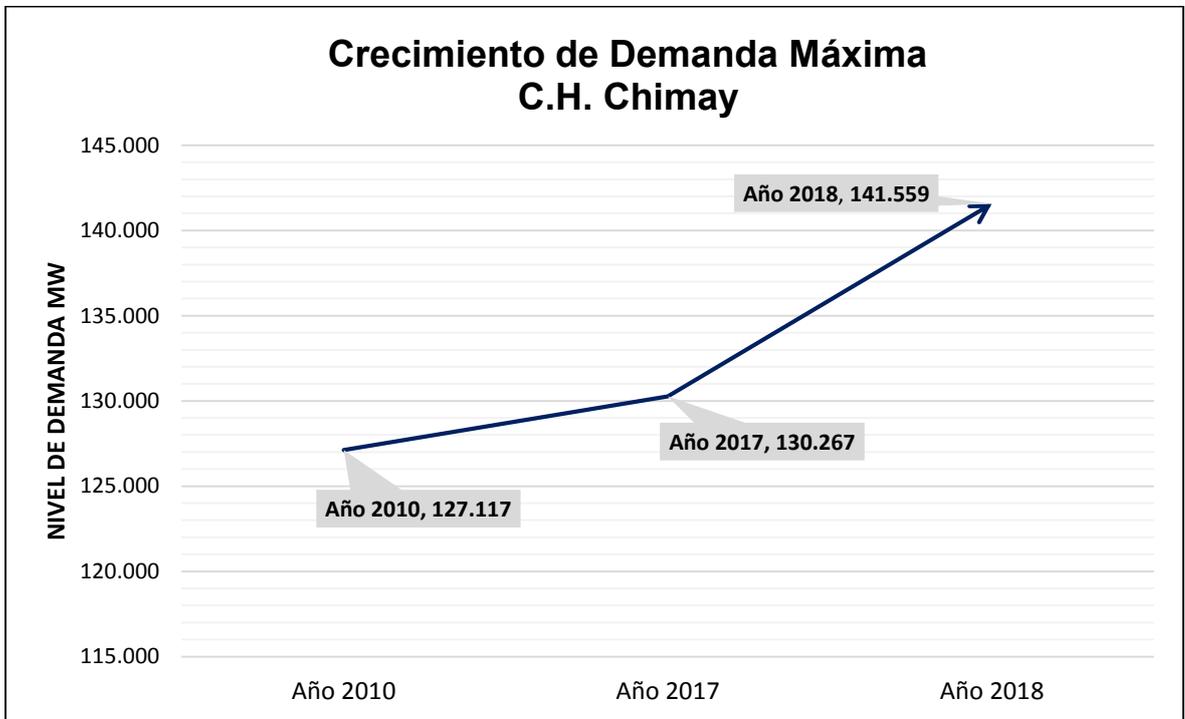


Figura N° 28. Diagrama, crecimiento de demanda máxima C.H. Chimay

Fuente: Elaboración propia

4.3. Discusión de resultados

De acuerdo a los datos de la **Tabla N°15**, se muestra el siguiente diagrama estadístico, en la **Figura N°29**, se puede analizar los resultados de los niveles de corriente en las fases R, S y T, los resultados obtenidos nos indican que el sistema eléctrico se encuentra en óptimas condiciones.

Visualizando el diagrama de crecimiento de demanda máxima podemos deducir que el incremento de la potencia activa en el sistema eléctrico de la subestación eléctrica de Chimay, es relevante desde la puesta en servicio la etapa II de la subestación eléctrica en estudio.

Del diagrama presentado en la **Figura N°29**, se puede apreciar que hay un desbalance de corriente, en la fase R, que tiene valores de corriente bajos con respecto a la fase S y a la fase T, por lo que se aprecia un desbalance en las curvas de cargas.

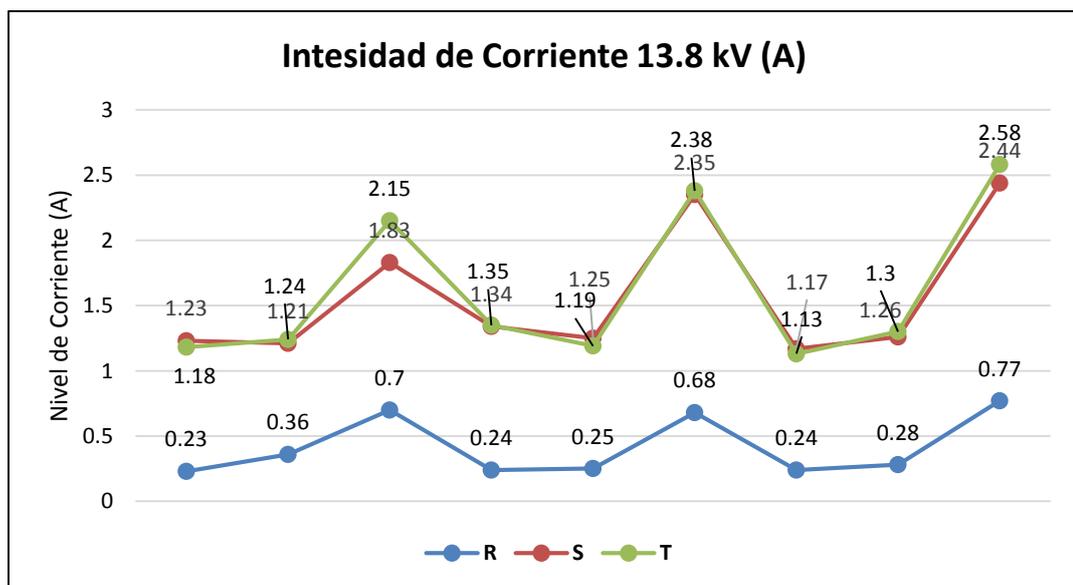


Figura N° 29. Diagrama de corriente, lado primario de transformador

Fuente: Elaboración propia

Revisando los valores obtenidos de potencia activa (P, (KW)), potencia reactiva (Q, (KVAR)), potencia aparente (S, (KVA)) y el factor de potencia, datos obtenidos en la visita técnica a la subestación eléctrica de Chimay, los días 13, 14 y 15 de febrero del 2018.

Con respecto la potencia reactiva se visualiza que en horas punta su valor se eleva, así como se eleva la potencia activa y la potencia aparente, valor que tendría que ver con la distorsión parcial en el sistema eléctrico de la subestación eléctrica de Chimay, valores que se presenta en la **Tabla N°29**.

Tabla N° 29. Cuadro de valores de potencias y factor de potencia

Fecha de Medición	Hora	Potencia Activa (KW)	Potencia Aparente (KVA)	Potencia Reactiva (KVAR)	Factor de Potencia (ϕ) Calculado	Factor de Potencia (ϕ) Medido
13-02-18	09:02	8.58	8.76	1.80	0.98	0.99
	12:00	8.54	8.68	1.66	0.98	0.98
	18:30	16.38	19.16	9.96	0.85	0.85
14-02-18	09:02	5.83	5.97	1.28	0.98	0.98
	12:00	4.50	5.16	2.52	0.87	0.87
	18:30	14.10	16.10	5.40	0.93	0.93
15-02-18	09:59	8.49	8.91	2.69	0.95	0.95
	12:46	17.34	18.90	7.53	0.92	0.92
	18:46	28.88	33.52	17.05	0.86	0.86

Fuente: Elaboración propia

De la **Tabla N°29**, se visualiza que el factor de potencia calculado y el factor de potencia medido, coinciden en el sistema eléctrico, con un valor máximo de descender a 0.93, y un valor máximo de aproximación a la unidad 0.99, valor que sería ideal para llegar a la unidad en un sistema eléctrico

En el diagrama presentado en la **Figura N°30**, se puede apreciar claramente que la potencia reactiva tiene un valor mínimo en relación con los valores de la potencia activa y la potencia aparente en horas punta.

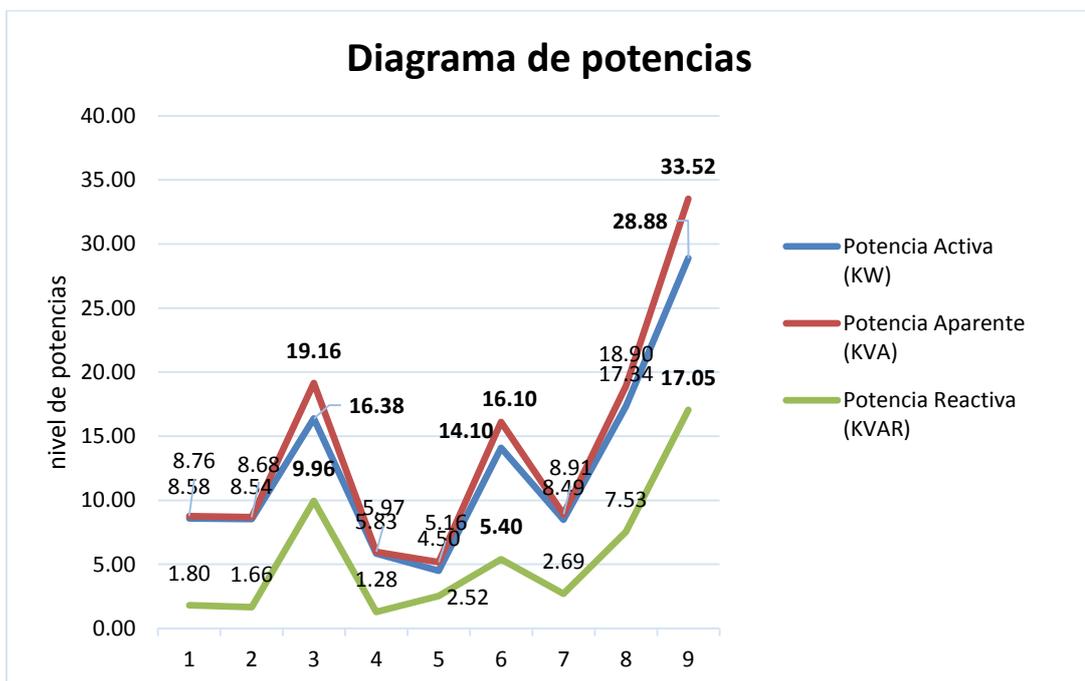


Figura N° 30. Diagrama de potencias

Fuente: Elaboración propia

Para lograr que la potencia activa sea más óptima a la que se encuentra actualmente, se tendría que anular la potencia reactiva, haciendo que el factor de potencia sea igual a la unidad, de esa manera hacer que la potencia activa y la potencia aparente sean iguales, lo que realmente en un sistema de corriente alterna es aún difícil de lograr; pero si se puede mejorar estos valores aplicando un banco de condensadores, que contribuya con el planteamiento.

En cuanto a los valores presentados en la **Tabla N°29**, se puede verificar que el valor del factor de potencia es diferente a la unidad, por lo tanto, la potencia aparente y la potencia activa son diferentes y la corriente que fluye por el sistema es mayor al calculado de acuerdo a la potencia útil y esto ocasiona mayores pérdidas eléctricas en los conductores y elevación de temperatura, por lo cual se producirán mayores caídas de tensión en el sistema eléctrico.

Si el valor del factor de potencia sería mucho menor que la unidad sería necesario compensar el valor de la potencia reactiva que es el caso del sistema eléctrico de Chimay, por lo cual desde el inicio de su funcionamiento se tuvo que instalar un banco de condensadores para lograr mejorar el valor de la potencia activa y disminuir el valor de la potencia reactiva.

Analizando los valores de las mediciones obtenidas se puede verificar que el factor de potencia es óptimo y aún se mantiene en un buen nivel de operación con bajas pérdidas técnicas y un valor mínimo de potencia reactiva.

Considerando que el banco de condensadores es de suma importancia para la eficiencia de brindar un buen servicio de energía eléctrica, se requiere efectuar una permanente inspección de su buen funcionamiento.

Los tableros de control tienen la misión de otorgar mediciones reales y precisas que contribuyan con entregar información útil para analizar la eficiencia energética del sistema eléctrico, así como se muestra en la **Figura N°31**, donde se puede apreciar los tableros de control de la central hidroeléctrica de Chimay.



Figura N° 31. Tableros de control C.H. Chimay

Fuente: Elaboración propia

Los tableros eléctricos albergan equipos de medición que miden constantemente los indicadores relacionados con la transformación de la energía eléctrica, el consumo, la tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia y otros indicadores indispensables referidos a las cargas inductivas y capacitivas, que se podrían presentar en transcurso de su operación de la subestación eléctrica de Chimay.

De misma forma, es importante tomar lectura de los registros obtenidos para evaluar las variaciones de los indicadores influyentes, los cuales deberán ser

atendidos inmediatamente a medida que traspasen los límites permitidos, según característica de la subestación eléctrica en estudio.

Considerando que el factor de potencia controlado se encuentra en un nivel superior al 90% considerado por el código nacional de electricidad, es un valor óptimo para el buen funcionamiento del sistema eléctrico.

Los tableros de medición son actualizados y modernos, en su mayor porcentaje son digitales y están fabricados con la precisión que exige el código nacional de electricidad y la NTCSE, (Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico).

En la **Figura N°32**, se presenta los tableros de medición de la subestación eléctrica de Chimay.



Figura N° 32. Tableros de medición C.H. Chimay

Fuente: Elaboración propia

Con la instalación del banco de condensadores en la subestación eléctrica de la central hidroeléctrica de Chimay se ha logrado optimizar la capacidad del transformador, disminuir las pérdidas de energía por calentamiento de los conductores, reducir las caídas de tensión en el sistema eléctrico, del mismo modo, se ha logrado optimizar el costo del servicio en relación a la disminución de la potencia reactiva y la prevención contra las multas por incremento de pérdidas técnicas.

En la **Figura N°33**, se muestra el esquema eléctrico del banco de condensadores instalados en la subestación eléctrica de Chimay, donde se aprecia que son monitoreados y controlados desde un centro de control a través del (PLC), programador lógico controlable.

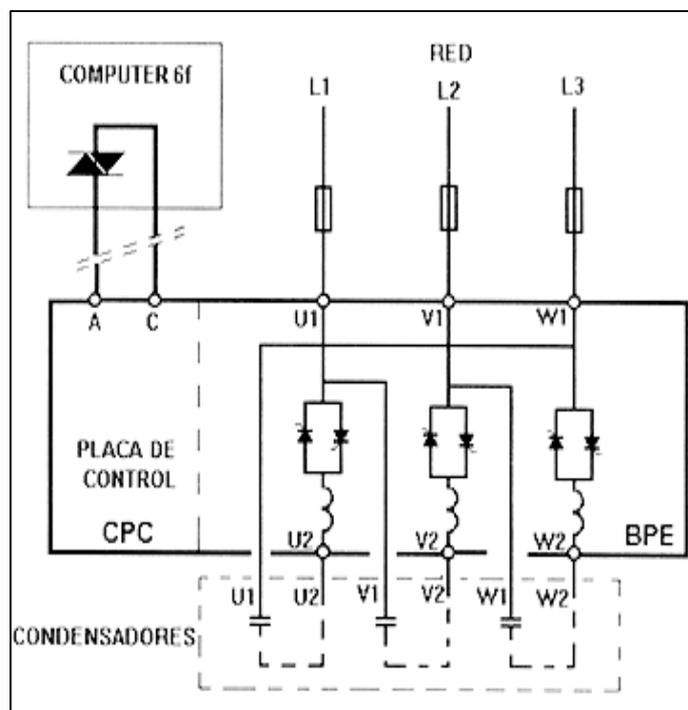


Figura N° 33. Esquema eléctrico del banco de condensadores

Fuente: Elaboración propia

La **Figura N°34**, muestra físicamente el banco de condensadores instalado en la subestación eléctrica de Chimay, con la finalidad de compensar la potencia reactiva y a su vez corregir el factor de potencia, en relación a las cargas eléctricas instaladas en el sistema eléctrico de la subestación eléctrico en estudio.



Figura N° 34. Banco de condensadores subestación eléctrica de Chimay

Fuente: Elaboración propia

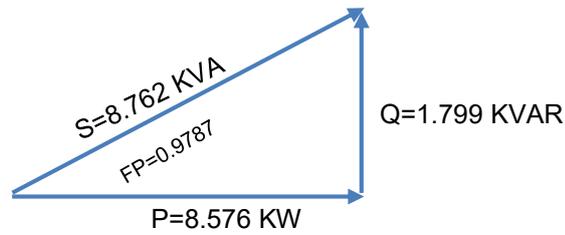
CONCLUSIONES

1. El incremento de la potencia activa del sistema eléctrico está en relación directa con la eficiencia del banco de condensadores y en el presente estudio determina que existe tolerancia para el incremento de potencia activa.

Para ello se presenta tabla de comparación, mostrando los niveles de factor de potencia inicial ($\cos\phi$ inicial) y el factor de potencia final ($\cos\phi$ final) dicha variación surge luego del incremento de potencia activa en la subestación eléctrica de Chimay.

Cos ϕ Inicial	Cos ϕ Final
0.9955	0.9787
Tabla N°13 Figura N°14	Tabla N°21 Figura N°21

2. La potencia reactiva variará en función a la variación del ángulo de desfase entre la tensión y la corriente del sistema eléctrico, los valores que forman el triángulo de potencia; potencia activa (KW), potencia reactiva (KVAR) y potencia aparente (KVA), es obtenido en la medición real en la subestación eléctrica de Chimay, valores que es presentado en la figura N°21, obtenido de la tabla N°21, tal como se muestra en el siguiente dibujo de triángulo de potencias.



INDICADOR	MEDICIÓN	UNIDAD
V Prom	13.72	KV
I Prom	1.610	A
Factor de Potencia	99.55 0.9955	IND
Frecuencia	60.02	Hz

Tabla N°13
Página 78

INDICADOR	SIMBOLO	MEDIDA	UNIDAD
Potencia activa	P	8.576	KW
Potencia reactiva	Q	1.799	KVAR
Potencia aparente	S	8.762	KVA
Factor de potencia	Cos ϕ	-97.87 0.9787	IND

Tabla N°21.
Página 93

- El presente estudio de investigación contribuye con un análisis de la eficiencia del banco de condensadores instalado en el transformador de la subestación eléctrica de Chimay, ubicado en el distrito de Monobamba, provincia de Jauja, región Junín.

La importancia de la eficiencia del banco de condensadores es fundamental para el rendimiento del transformador. Realizado el análisis desarrollado se deduce que el factor de potencia del transformador se

encuentra en un nivel elevado, motivo por el cual, el incremento de la potencia activa, no le afecta en la calidad del servicio eléctrico.

4. La potencia reactiva es baja a pesar del incremento de potencia activa, por lo tanto, la eficiencia del banco de condensadores y del sistema eléctrico de la subestación eléctrica de Chimay se encuentra en óptimas condiciones para su normal abastecimiento de energía eléctrica.
5. En el estudio desarrollado a la subestación eléctrica de Chimay, de haberse encontrado alguna variabilidad considerable en la eficiencia del banco de condensadores por incremento de la potencia activa surgiría un problema económico incrementándose la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente, penalizaciones de hasta un 120% en el costo de facturación, pérdidas en los conductores, sobre carga en los transformadores, generadores y líneas de transmisión.
6. Habiéndose encontrado en óptimas condiciones el banco de condensadores y por ende la calidad del servicio eléctrico que brinda la subestación eléctrica de Chimay, ya cuenta con una reserva considerable para mantenerse, podría contar con beneficio por corregir el factor de potencia, que vendrían a ser la disminución de las pérdidas en los conductores, reducción de caídas de tensión, aumento de la disponibilidad de potencia en el transformador, generador y línea de transmisión, reducción en los costos de facturación eléctrica, bonificación de hasta un 2.5% de la facturación cuando se tenga un factor de potencia mayor a 0,9.

Consideraciones:

Cargos bonificaciones máximas:

Factor de potencia = 0.30 Penalización máxima 120% de facturación

Factor de potencia = 1.00 Bonificación de 2.5% de facturación.

De acuerdo con las normas técnicas para las instalaciones eléctricas, la potencia reactiva (KVAR), de los condensadores, no debe exceder el 10% de la potencia nominal del transformador.

7. En la figura N°28 ubicado en la página 107, obtenida de la tabla N°28, ubicada en la página 105, se presenta el diagrama de demanda máxima donde se puede apreciar que analizando los valores de demanda máxima en horas punta del año 2010, 2017 y 2018 en la subestación eléctrica de Chimay.

Se puede visualizar claramente el crecimiento de la demanda máxima, el año 2010 se tiene un valor promedio total de demanda máxima de 127.117 MW, y el año 2017 llegó a un valor de demanda máxima de 130.267 MW, siendo una elevación de 3.15 MW en el periodo 2010 – 2017.

A comparación de la versión anterior la elevación de la demanda máxima es de 11.292 MW, entre el periodo 2017 – 2018, teniendo el año 2018 como valor promedio total de demanda máxima 141.599 MW.

Por ende, se deduce que crecimiento de la demanda máxima en la subestación eléctrica de Chimay, creció en 14.442 MW, analizado desde el año 2010 hasta el año 2018.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta las características eléctricas del sistema en el cual se encuentra conectado el banco de condensadores se deberá de proporcionar con reactores limitadores, de ser necesario, el responsable del diseño y suministro será el proveedor de estos equipos, informando las características técnicas garantizadas y características y parámetros de los reactores.

1. Se recomienda que para el banco de condensadores instalado en un gabinete, se deberá de considerar el empleo de protección mediante fusibles internos en cada banco de condensador, también se deberá de incluir un sistema de detección de desequilibrio entre fases, que dé alarma y protección de sobre corriente y de desbalance al banco de condensadores, dicho sistema deberá de incluir todos los equipos necesarios para la función descrita, tales como un amperímetro activado por botón, relés de protección, transformadores de corriente y transductores, ubicado entre dos estrellas, para indicar el nivel de desequilibrio; este sistema estará protegido adecuadamente contra actuaciones erróneas por circulación de corrientes armónicas.
2. Se recomienda que el banco de condensadores se proteja contra sobretensiones de origen atmosféricas mediante de pararrayos, los cuales deberán ser parte del suministro, además este sistema de protección pararrayo deberá de cumplir con la norma IEC 60099.
3. Se recomienda verificar de manera periódica la conexión de los conductores de fase del banco de condensadores, tanto de la entrada y de la salida como

del barraje y de la conexión a tierra con la finalidad de constatar el buen conexionado y así evitar punto caliente u otro tipo de falla provocado por una mal conexionado del mismo.

- 4.** Se recomienda planificar el incremento de potencia activa del sistema eléctrico de la subestación eléctrica de Chimay, en función al análisis de la eficiencia del banco de condensadores.
- 5.** Se recomienda aplicar el análisis de eficiencia del banco de condensadores, periódicamente para determinar el valor de variación del factor de potencia de la subestación eléctrica de Chimay, como en las subestaciones eléctricas de la región central del país que cuenten con las características similares a la subestación eléctrica en estudio.
- 6.** Se recomienda determinar el límite de incremento de potencia activa en el sistema eléctrico de la subestación eléctrica de Chimay, considerando el resultado de la variación de potencia reactiva final.
- 7.** Se recomienda efectuar el dimensionamiento adecuado del banco de condensadores en función a la vida útil del transformador principal instalado en la subestación eléctrica de Chimay.
- 8.** Se recomienda evaluar anualmente el relé regulador de reactivos instalado en la subestación eléctrica de Chimay.

REFERENCIAS

Referencias de tesis y trabajo de grado

1. Julio C. Machaca V. y Abell A. Coila D. *“Estudio Y Análisis Experimental De La Calidad Del Suministro Electro De La Universidad Nacional Del Altiplano, Utilizando Un Analizador De Redes - 2016”*, marzo del 2017 - Puno Perú.
2. Pácara M. Yhonatan D., Ticona H. Jorge A. y Tello Ll. Joahmed A. *“Influencia De La Sobre Tensión Eléctrica, En La Calidad De Suministro”*, Perú- 2013
3. Iván Henry Vargas Espinoza, *“Implementación de un Banco de Condensadores para Aumentar el Factor de Potencia en la Empresa Fibra Forte año 2015”*. Lima Perú, 2017 Universidad Privada del Norte.
4. David Omar Torres Gutiérrez, *“Localización Óptima De Capacitadores En Redes De Distribución Para Mejorar La Eficiencia Energética Del Sistema Eléctrico De Chungar – Volcan”*. Huancayo Perú del 2017, Universidad Nacional del Centro del Perú.
5. Luis Alfredo Gálvez Del Villar y Dennis José Florián Villacorta, *“Sistema De Monitoreo Y Control De Subestaciones Eléctricas, Orientadas A La Gestión De La Demanda Y Basada En Sistemas De Control Inteligentes”*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
6. Daniel Alberto Saucedo Martínez y José Luis Taxis Villagrán, *“Factores Que Afectan La Calidad De Energía Y Su Solución”*, México, D.F, 2008 Instituto Politécnico Nacional.

7. Johnny D. Mora S. y Yandri J. Cevallos C. *“Estudio Y Análisis De La Calidad De Energía Enfocado En Nivel De Armónicos En El Sistema Eléctrico De La Subestación Enfriadora 1 de HOLCIM Ecuador Planta Guayaquil”*, Guayaquil Ecuador – 2014
8. Joffre Gabriel Chicho Barragán, *“Protección de Banco de Condensadores en Subestaciones”*. Quito Ecuador del año 1987, Universidad Politécnica Nacional de Ecuador.
9. Enrique Gómez Morales, *“Compensación de Potencia Reactiva”*, México, D.F. del año 2009, Instituto Politécnico Nacional.
10. Santiago Sánchez Miño, *“Metodología para el Diagnóstico de Subestaciones”*, Quito Ecuador del año 1980, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador.

Referencias de periódicos, revistas y entrevistas

11. Entrevista Ingeniero electricista Raúl Calderón Valera, sobre la *“eficiencia de los bancos de condensadores”*. Adjuntada en ítem 2.3.1. del presente tesis.
12. Diario La República, titulado, *“Interconexión eléctrica beneficiará a más de mil pobladores de Jauja”*. Publicada el 9 de diciembre del año 2012, <https://larepublica.pe/archivo/678822-interconexion-electrica-beneficiara-a-mas-de-mil-pobladores-en-jauja>

Referencias de libro digital

13. Información de la central hidroeléctrica de Chimay, web de Enel. <https://www.enel.pe/es/inversionistas/enel-generacion-peru/chimay.html>

14. Archivo pdf, plan de inversión de Chinango, periodo 2013 – 2017.
“Características técnicas de centro de transformación y línea de transmisión 220 kV Chimay Yanango L-2257.
15. Diagrama unifilar del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, actualizado en diciembre del 2018. Publicado en la web de COES.
<https://www.coes.org.pe/Portal/Operacion/CaractSEIN/DiagramaUnifilar>
16. Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), *demanda maxima* de la central hidroeléctrica de Chimay, año 2010, 2017 y 2018.
<http://sicoes.coes.org.pe/AppMedidores/Reportes/DemandaPeriodo>
17. Que es la energía reactiva y por que se refleja en la factura de luz de la concesionaria eléctrica. <https://www.google.com/amp/s/gernernova.com/>
18. Archivo pdf factor de potencia,
<http://roble.pntic.mec.es/jsalinas/factor%20potencia.pdf>
19. Guía práctica para la construcción de muestras pdf.
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>

APÉNDICES

Matriz de consistencia:

Tabla N° 30. Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	MÉTODOLÓGÍA
¿Cuáles son los factores que influyen en la eficiencia del banco de condensadores por incremento de potencia activa instalado en la subestación eléctrica de Chimay, ubicada en el distrito de Monobamba, provincia de Jauja, Región Junín?	Realizar un análisis para verificar de cuanto es la disminución de la eficiencia del banco de condensadores, con datos estadísticos y mediciones desde la puesta en servicio hasta el incremento de la potencia activa de la subestación eléctrica de Chimay.	Si se logrará verificar el nivel de incremento o disminución de la potencia reactiva entonces se determinará la eficiencia del banco de condensadores en la subestación eléctrica de Chimay.	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia del banco de condensadores. • Variación de la potencia reactiva. INDICADOR:KVAR	MÉTODO: Sistémico TIPO: Tecnológica NIVEL: Explicativo DISEÑO: Descriptivo Comparativo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLE INDEPENDIENTE	POBLACIÓN: y MUESTRA
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo realizar el análisis del incremento de la potencia activa en la subestación eléctrica de Chimay? • ¿Cómo realizar el análisis del factor de potencia inicial y final para precisar cuánto es la variación de potencia reactiva en la subestación eléctrica de Chimay? 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el incremento de la potencia activa en la subestación de Chimay. • Analizar el factor de potencia inicial y final para precisar cuánto es la variación de potencia reactiva en la subestación eléctrica de Chimay. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se logra realizar el análisis del incremento de potencia activa entonces se determinará la calidad del servicio eléctrico. • Si se logra realizar el análisis de la variación de factor de potencia entonces se determinará la variación de potencia reactiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de potencia activa • Variación de la demanda máxima INDICADOR: KW	POBLACIÓN: Es el número de centrales hidroeléctricas de la región central del país. MUESTRA: Subestación eléctrica de la central hidroeléctrica de Chimay

Fuente: Elaboración Propia

ANEXOS

ANEXO A

TABLA

Tabla A1: Formulario utilizado para el estudio

MAGNITUD	SÍMBOLO	UNIDAD	FÓRMULA
Energía eléctrica	E	Watts hora (Wh)	$E = P * T$
Potencia Activa	P	Watts (W)	$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos}\phi$ $P = \sqrt{3} * S * \text{Cos}\phi$
Potencia Reactiva	Q	Volt amperio reactivo (VAR)	$Q = \sqrt{3} * V * I * \text{Sen}\phi$ $Q = \sqrt{3} * S * \text{Sen}\phi$
Potencia Aparente	S	Voltamperio (VA)	$S = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos}\phi$ $S = \frac{P}{\text{Cos}\phi}$
Factor de Potencia	FP	Cosϕ	$FP = \frac{P}{S} = \text{Cos}\phi$
Capacidad de condensador	C	Faradios (F)	$C = \frac{Q}{2 * \pi * f * V^2}$
Corriente nominal de condensador	In	Amperio (A)	$In = \frac{Q}{\sqrt{3} * V}$
Reactancia capacitiva	Xc	Ohmio (Ω)	$Xc = \frac{1}{2 * \pi * f * C}$
Tensión promedio	Vm	Voltio (V)	$Vm = \frac{Vrs + Vst + Vrt}{3}$
Corriente promedio	Im	Amperio (A)	$Im = \frac{Ir + Is + It}{3}$
Desbalance de tensión	Dv	%	$Dv\% = \frac{Vn - Vm}{Vm} * 100$
Desbalance de corriente	Da	%	$Da\% = \frac{In - Im}{Im} * 100$

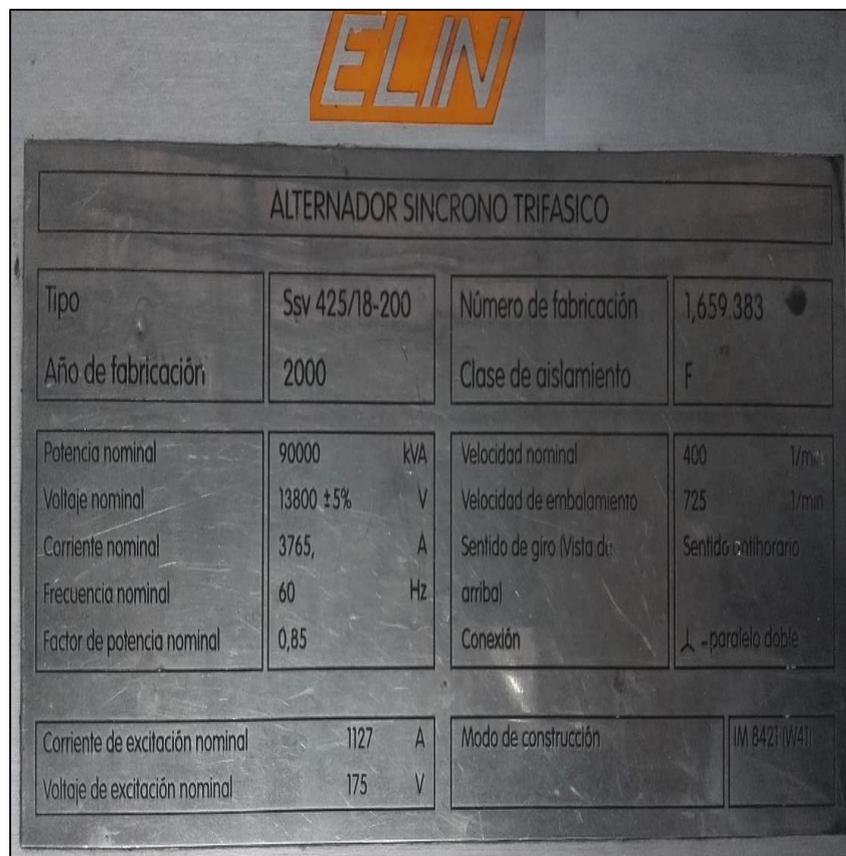
Fuente: Elaboración propia (Abstrac de libros)

ANEXO B

FIGURAS

Figura B1: Placa Característica Del Alternador Síncrino De La Central Hidroeléctrica De Chimay

Placa característica del alternador síncrino trifásico con una capacidad de potencia aparente de 9000 kVA, voltaje de alimentación 13.8 kV con un $\pm 5\%$ de variación en la tensión nominal y con un factor de potencia nominal de 0.85, instalado en la central hidroeléctrica de Chimay.



ALTERNADOR SINCRONO TRIFASICO

Tipo	Ssv 425/18-200	Número de fabricación	1,659 383
Año de fabricación	2000	Clase de aislamiento	F
Potencia nominal	90000 kVA	Velocidad nominal	400 1/min
Voltaje nominal	13800 $\pm 5\%$ V	Velocidad de embalamiento	725 1/min
Corriente nominal	3765 A	Sentido de giro (Vista de arriba)	Sentido antihorario
Frecuencia nominal	60 Hz	Conexión	Δ - paralelo doble
Factor de potencia nominal	0,85		
Corriente de excitación nominal	1127 A	Modo de construcción	IM B421 (W4)
Voltaje de excitación nominal	175 V		

Figura B1: Placa Característica del Alternador Síncrino de la Central Hidroeléctrica de Chimay

Fuente: Elaboración propia (Central hidroeléctrica de Chimay)

Figura B2: Placa Característica Del Banco De Condensadores De La Subestación Eléctrica De Chimay

Placa característica del banco de condensador que se encuentra instalado en la subestación eléctrica de Chimay.



Figura B2: Placa Característica Del Banco De Condensadores De La Subestación Eléctrica De Chimay

Fuente: Elaboración propia (Central Hidroeléctrica de Chimay)

Figura B3: Represa De La Central Hidroelctrica De Chimay

La represa está alimentado de las aguas del río Tulumayo, la misma que alimenta a dos turbinas tipo francis de la central hidroeléctrica de Chimay con un caudal de 82 m³/s, con un salto de 190 metros, de ello la central hidroeléctrica dispone de una potencia instalada de 168MW, logrando una potencia activa de 154.8MW y en promedio de consumo de energía eléctrica durante del año es de 845 GWh.



Figura B3: Represa de la Central Hidroelctrica de Chimay

Fuente: Elaboración propia (Central hidroeléctrica de Chimay)

Figura B4: Sala De Control De La Subestación Eléctrica De Chimay

En sala se encuentra instalado los equipos de monitoreo y control del sistema eléctrica, que monitorea la subestación eléctrica y la central hidroeléctrica de Chimay.

Desde esta sala se realiza maniobras de apertura y cierre de circuitos, cabe mencionar que la subestación eléctrica de Chimay tiene una interconexión con la subestación eléctrica de Yanango.

Interconexión a través de la línea de transmisión L-2257 que inicia en la barra de la subestación eléctrica de Chimay con una longitud de 29.54 km en simple terna con una tensión de 220 kV, y una capacidad de 1000 amperios, sección y tipo de conductor 986.75 kcmil, ACAR, teniendo como barra final la subestación eléctrica de Yanango.



Figura B4: Sala de Control de la Subestación Eléctrica de Chimay

Fuente: Elaboración propia (Central hidroeléctrica de Chimay)

ANEXO C

REPORTAJE

El reportaje emitido por el diario La República hace de conocimiento a la población que en la obra de interconexión eléctrica es considerada como la segunda etapa en la subestación de la central hidroeléctrica de Chimay.

Incrementando la potencia activa, es por ello que se instaló un transformador adicional de 80 KVA, para suministrar de energía eléctrica a las comunidades de Marañoncha, Uchubamba, Ayna, San José de Villano, Paltay, Chacuybamba, llegando a un promedio de 40 KW en demanda máxima, la implementación del transformador es para abastecer de energía eléctrica de la segunda etapa que tiene la subestación eléctrica de Chimay.

En la primera etapa de la subestación eléctrica de Chimay, cuenta con un transformador principal de 350 KVA de potencia, que alimenta las cargas de las comunidades de Los Angeles, Yanayacu 1, Yanayacu 2, Las Orquideas De Pacaybamba, llegando a un promedio de 40 KW de demanda máxima.

REPORTAJE C1: Reportaje del Diario “La República”

INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA BENEFICIARÁ A MÁS DE MIL POBLADORES EN JAUJA

La interconexión permitira que Uchubamba y anexos reciban energía eléctrica desde la central hidroeléctrica de Chimay, la que sería administrada por Electrocentro S.A.

Con el encendido de las luces en la plaza de Armas de Uchubamba, **Edegel inauguró la obra de interconexión eléctrica** en los centros poblados menores Uchubamba y Marancocha como parte del aporte al **desarrollo de las comunidades de Junín.**

La **Línea de 22.9 KV**, que inició su implementación a principios del año 2012, es considerada **la mayor mayor obra de interconexión eléctrica** de esta localidad.

Su construcción contempló una nueva red de una longitud aproximada de 2.7 kilometros que conecta la energía de la central hidroeléctrica de Chimay con las comunidades de Uchubamba, San José de Villano y Marancocha.

Gracias a esta obra, mil dosientos ocho familias de las comunidades de Uchubamba y Marancocha ahora cuentan con un servicio de energía eléctrica ininterrumpido las 24 horas.

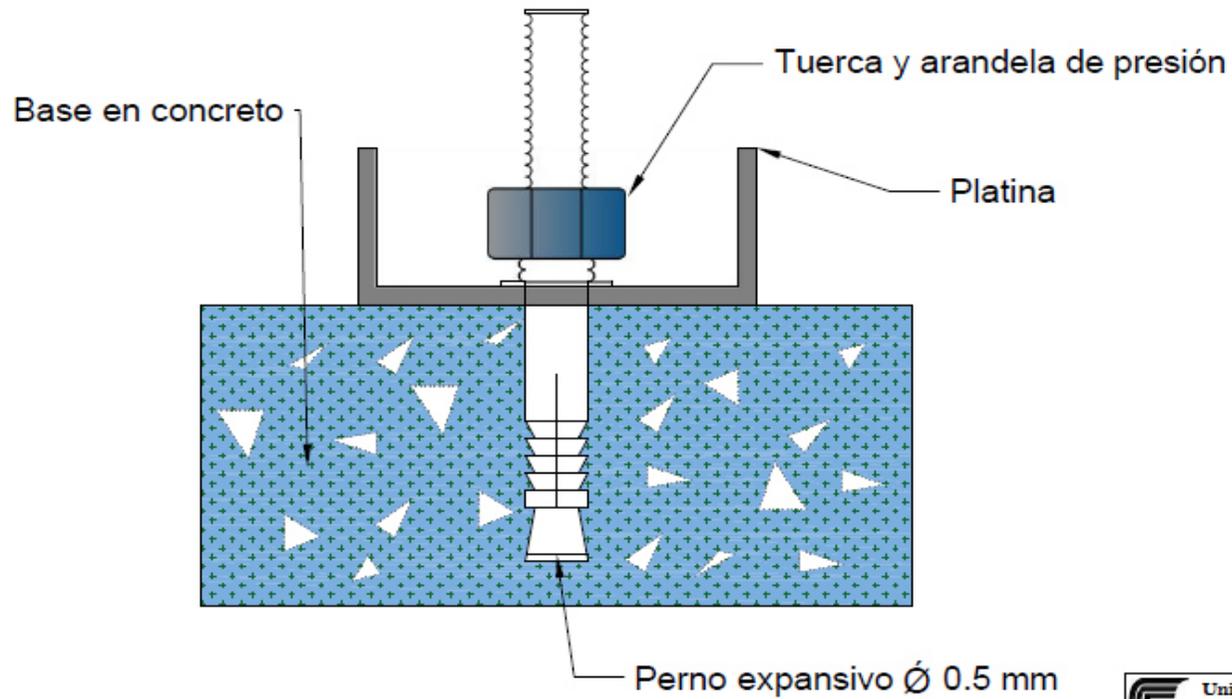
Redacción:
La República
9 Diciembre 2012

*Fuente: Reportaje del Diario “LA REPUBLICA”,
Publicada el 9 de diciembre del año 2012*

ANEXO D

PLANOS

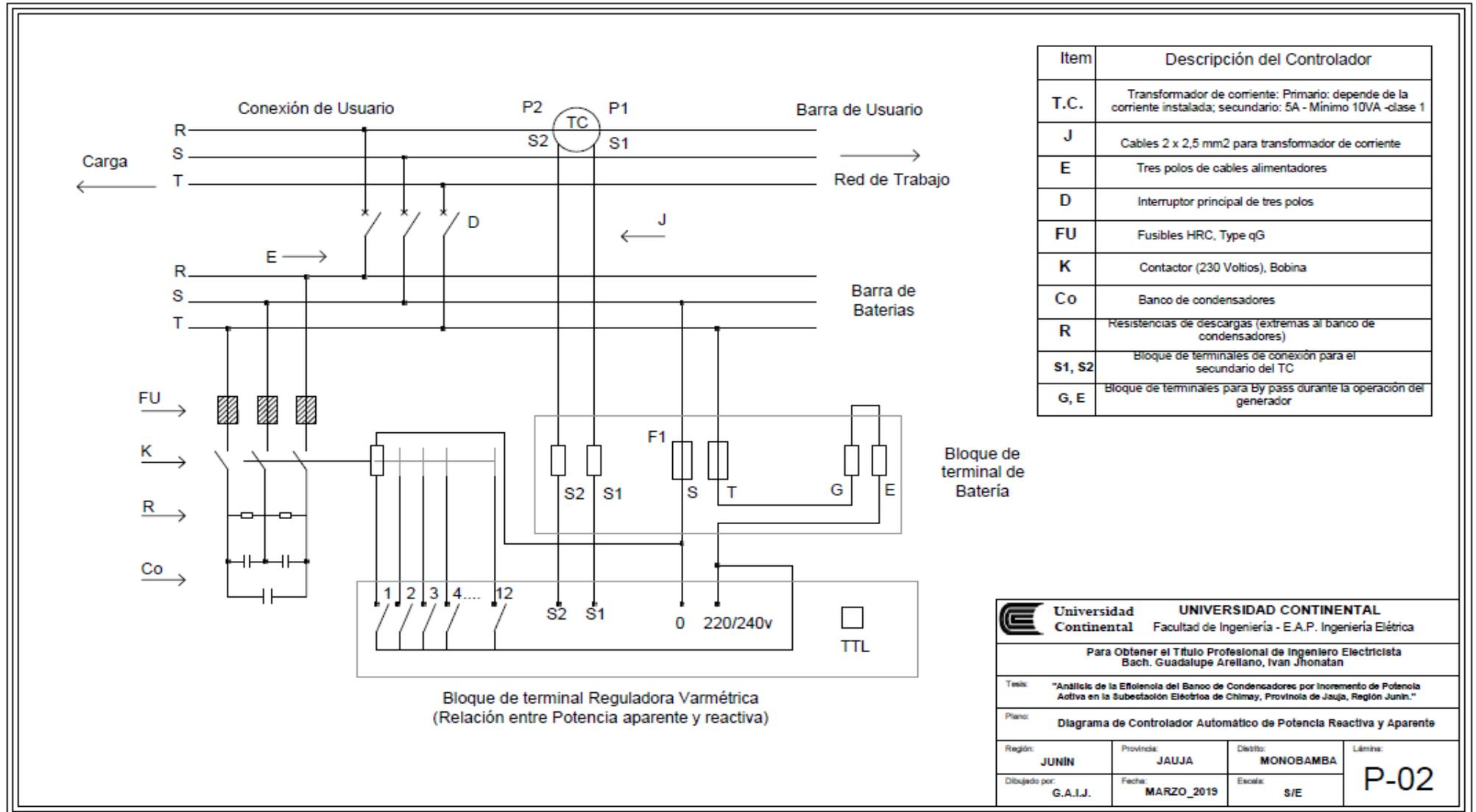
PLANO D1: Detalle de anclaje de soporte de banco de condensador al piso



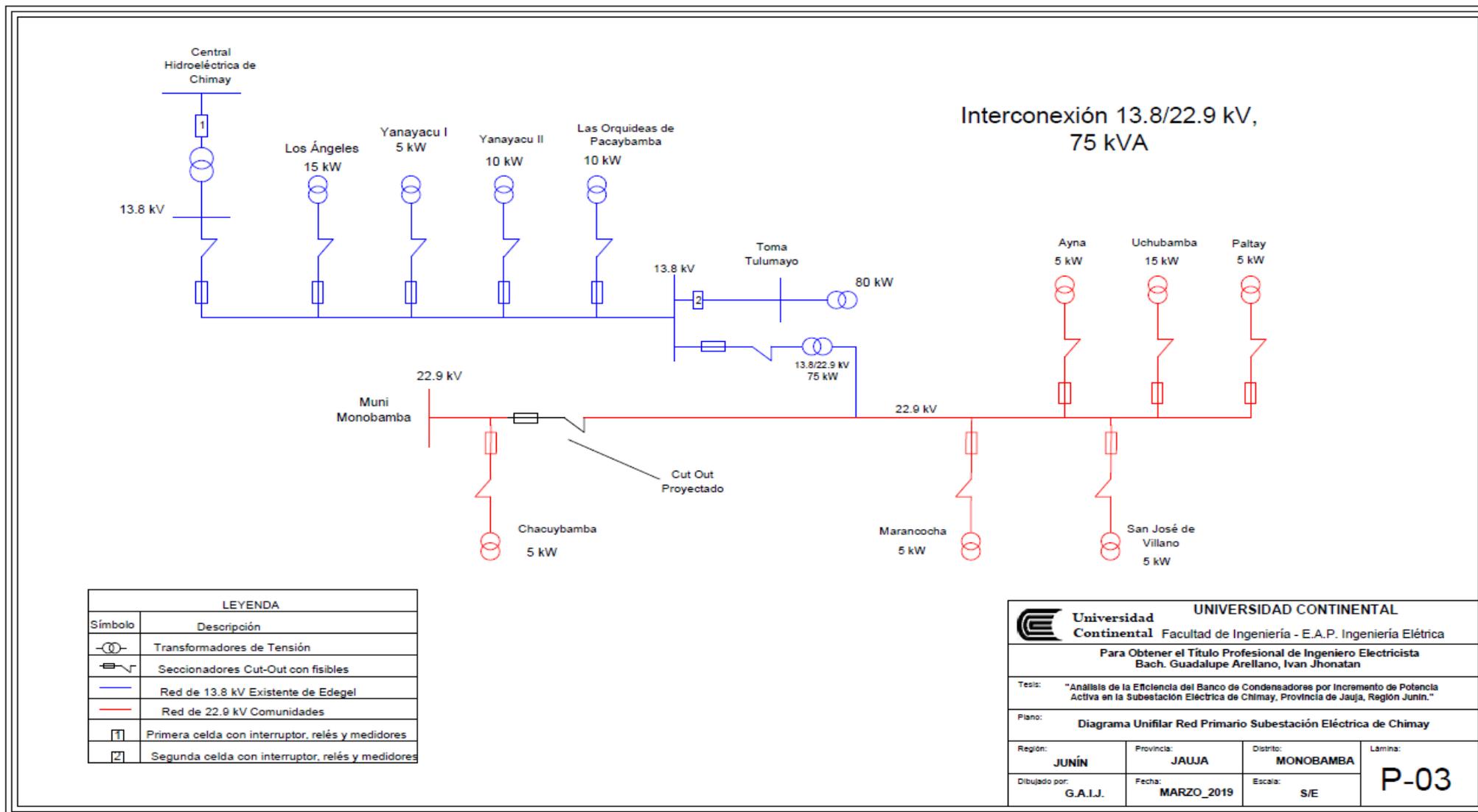
 Universidad Continental		UNIVERSIDAD CONTINENTAL Facultad de Ingeniería - E.A.P. Ingeniería Eléctrica	
Para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Electricista Bach. Guadalupe Arellano, Ivan Jhonatan			
Tesis: "Análisis de la Eficiencia del Banco de Condensadores por Incremento de Potencia Activa en la Subestación Eléctrica de Chimay, Provincia de Jauja, Región Junín."			
Plano: Detalle de Anclaje al Piso			
Región:	Provincia:	Distrito:	Lámina:
JUNIN	JAUJA	MONOBAMBA	P-01
Dibujado por:	Fecha:	Escala:	
G.A.I.J.	MARZO_2019	S/E	

Fuente: Elaboración propio

PLANO D2: Diagrama de controlador automático de potencia reactiva y aparente



PLANO D3: Diagrama unifilar red primario subestación eléctrica de Chimay



PLANO D4: Interconexión de líneas de transmisión 220kV Chimay – Yanango L2257

