

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Planificación del sistema eléctrico de la planta  
de beneficios Challhuapozo de la Compañía  
Minera Sierra Central**

Wilber Bastidas Aliaga  
Junior Aurelio Mauricio Bullón  
Kuking Ñahui Panllo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **AGRADECIMIENTO**

La mejor forma de predecir el futuro es crearlo; no hay fórmulas secretas para el éxito, es el resultado de tu preparación, trabajo duro y aprender de los errores, por quienes estuvieron con nosotros durante los años académicos, por los conocimientos brindados durante nuestra formación universitaria y un agradecimiento especial a nuestro asesor Ing. Carlos Quispe Ancasi por su apoyo y sus conocimientos brindados en hacer realidad la presente tesis.

## DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y amigos quienes me enseñaron que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez y por decirme a diario que sí podía lograrlo.

**Wilber**

A mis padres por el apoyo incondicional, a mis hermanos por el soporte emocional, a todas las personas que confiaron en mí para concluir con esta investigación.

**Junior**

A mis padres, hermano y amigos que siempre estuvieron de forma incondicional para brindarme su apoyo y motivación en esta travesía.

**Kuking**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Agradecimiento</b> .....	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>iii</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xi</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>18</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	<b>18</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	18
1.1.1. Problema general .....	22
1.1.2. Problemas específicos .....	22
1.2. Objetivos .....	22
1.2.1. Objetivo general .....	22
1.2.2. Objetivos específicos.....	22
1.3. Justificación.....	23
1.3.1. Económica.....	23
1.3.2. Tecnológica .....	23
1.3.3. Teórica.....	24
1.4. Importancia.....	24
1.5. Limitaciones .....	25
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>26</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>26</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	26
2.1.1. Artículos científicos.....	26
2.1.2. Tesis de investigación .....	31
2.2. Bases teóricas.....	35
2.2.1. Instalaciones eléctricas .....	35
2.2.1.1. Caracterización de cargas .....	35
2.2.1.2. Resistencia de aislamiento.....	36
2.2.1.3. Sección de conductores eléctricos .....	36

2.2.1.4. Calibres de conductores .....	38
2.2.1.5. Capacidad de conducción .....	39
2.2.2. Motores eléctricos .....	39
2.2.2.1. Clasificación por tipo de corriente .....	39
2.2.2.2. Motores asíncronos .....	40
2.2.2.3. Motor tipo jaula de ardilla.....	40
2.2.2.4. Protección contra pérdidas de fase .....	40
2.2.2.5. Guardamotor.....	41
2.2.2.6. Protección contra baja tensión .....	41
2.2.3. Centro de carga.....	42
2.2.3.1. Tableros de circuitos derivados.....	42
2.2.3.2. Tableros generales .....	42
2.2.4. Análisis de redes .....	43
2.2.4.1. Corriente .....	43
2.2.4.2. Voltaje .....	43
2.2.4.3. Potencia.....	44
2.2.4.4. Factor de potencia .....	45
2.2.4.5. Armónicos .....	46
2.2.5. Protección de sistemas eléctricos .....	47
2.2.5.1. Apartarrayos .....	47
2.2.5.2. Sistema de tierra.....	48
2.2.5.3. Fusibles .....	48
2.2.5.4. Relés.....	49
2.2.6. Coordinación de protección.....	49
2.3. Definición de términos básicos .....	49
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>53</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>53</b>
3.1. Diagnóstico de la situación actual.....	53
3.1.1. Tipo de investigación.....	53
3.1.2. Operacionalización de variables .....	55
3.1.3. Metodología de planificación para la elaboración del plan de inversión en distribución eléctrica (PIDE) .....	56
3.1.4. Descripción de las instalaciones eléctricas .....	56
3.1.4.1. Especificaciones técnicas del suministro .....	56

3.1.4.2. Especificaciones técnicas del equipo de medición.....	59
3.1.4.3. Caracterización de cargas .....	60
3.1.4.4. Especificación de conductores .....	62
3.1.4.5. Detalle de distribución de equipamientos.....	63
3.1.4.6. Protección de motores.....	64
3.1.4.7. Descripción de tableros .....	65
3.1.5. Diagnóstico de los equipos eléctricos .....	66
3.1.5.1. Diagramas unifilares .....	66
3.1.5.2. Listado de conductores.....	67
3.1.5.3. Etiqueta de identificación de los dispositivos o equipos.....	68
3.1.5.4. Estado de aislamiento de los dispositivos o equipos .....	68
3.1.6. Diagnóstico de la instalación eléctrica .....	73
3.1.6.1 Análisis de la tensión.....	76
3.1.6.2 Análisis de la corriente.....	77
3.1.6.3 Análisis de la frecuencia .....	78
3.1.6.4 Análisis de la potencia y energía consumida .....	78
3.1.6.5 Análisis de la distorsión armónica individual .....	80
3.1.7. Diagnóstico de demanda actual .....	83
3.1.7.1. Descripción de la instalación .....	83
3.1.7.2. Cálculo de la máxima demanda pre pandemia .....	84
3.1.7.3. Cálculo de la máxima demanda en pandemia .....	85
3.1.8. Diagnóstico de flujo de carga (carga actual) .....	85
3.1.8.1 Caso 1: línea 1 en funcionamiento .....	85
3.1.8.2 Caso 2: líneas 1 y 2 en funcionamiento .....	87
3.2. Planificación del sistema eléctrico con expansión .....	88
3.2.1. Estudio de la carga futura.....	88
3.2.2. Codificación de los dispositivos eléctricos .....	88
3.2.2.1. Estructura de la codificación.....	88
3.2.2.2. Cabina de control 1.....	90
3.2.2.3. Cabina de control 2.....	91
3.2.2.4. Cabina de control 3.....	91
3.2.2.5. Cabina de control 4 proyectada.....	92
3.2.3. Estudio de demanda.....	93
3.2.3.1. Cálculo de máxima demanda de la cabina 1.....	93

3.2.3.2. Cálculo de la máxima demanda de la cabina 2.....	93
3.2.3.3. Cálculo de la máxima demanda de la cabina 3.....	94
3.2.3.4. Cálculo de la máxima demanda proyectada de cabina 4....	94
3.2.3.5. Cálculo de la máxima demanda de oficinas .....	95
3.2.3.6. Cálculo de la máxima demanda de alumbrado público.....	95
3.3. Evaluación de alternativas de solución .....	95
3.3.1. Modelo matemático .....	95
3.3.1.1. Ley de corrientes de Kirchhoff.....	95
3.3.1.2. Ley de voltajes de Kirchhoff .....	96
3.3.2. Diseño de alternativas.....	96
3.3.2.1. Alternativa 1: segmentación de carga e implementación de la troncal .....	96
3.3.2.2. Alternativa 2: integración de carga, reforzamiento troncal	100
3.3.3. Simulación de alternativas.....	103
3.3.3.1. Alternativa 1: segmentación de carga e implementación de la troncal .....	103
3.3.3.2. Alternativa 2: integración de carga, reforzamiento de troncal .....	105
3.3.4. Selección de la mejor solución .....	106
3.3.5. Evaluación técnica.....	107
3.3.5.1. Puesta a punto de instalaciones.....	107
3.3.5.2. Evaluación de la operación y el mantenimiento de la instalación.....	109
3.3.5.3. Estudio de una posible ampliación en la planta .....	110
3.3.6. Evaluación económica de la mejor solución .....	111
3.3.6.1. Valor actual neto (VAN).....	111
3.3.6.2. Tasa interna de retorno (TIR) .....	111
3.3.7. Especificaciones técnicas de la mejor solución .....	113
3.3.8. Resultados.....	117
3.3.9. Discusión de resultados .....	119
<b>Conclusiones .....</b>	<b>125</b>
<b>Trabajos futuros .....</b>	<b>127</b>
<b>Lista de referencias .....</b>	<b>128</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>133</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo mensual de energía eléctrica .....	19
Tabla 2. Resumen de artículos científicos revisados .....	26
Tabla 3. Resumen de tesis revisadas .....	31
Tabla 4. Operacionalización de variables .....	55
Tabla 5. Características del poste de concreto .....	57
Tabla 6. Característica de seccionadores .....	57
Tabla 7. Característica de transformador .....	58
Tabla 8. Características de tablero eléctrico general .....	58
Tabla 9. Especificaciones técnicas del equipo de medición .....	59
Tabla 10. Cargas de motores .....	61
Tabla 11. Cargas de electrobombas .....	61
Tabla 12. Cargas de iluminación .....	61
Tabla 13. Cuadro de cargas adicionales .....	62
Tabla 14. Especificaciones de conductores, troncal 1 .....	62
Tabla 15. Especificaciones de conductores, troncal 2 .....	62
Tabla 16. Especificaciones de conductores de alumbrado público.....	63
Tabla 17. Detalle de distribución de equipamientos, cabina 1 .....	63
Tabla 18. Detalle de distribución de equipamientos, cabina 2 .....	64
Tabla 19. Detalle de distribución de equipamientos, cabina 3 .....	64
Tabla 20. Protección de motores.....	65
Tabla 21. Tablero principal de distribución.....	65
Tabla 22. Tablero secundario.....	66
Tabla 23. Arranque directo .....	66
Tabla 24. Listado de conductores .....	68
Tabla 25. Corrientes permisibles para cada troncal.....	68
Tabla 26. Sobrevoltaje o subvoltaje .....	69
Tabla 27. Análisis de condición mecánica.....	70
Tabla 28. Valores permisibles de máquinas nuevas o reacondicionadas .....	71
Tabla 29. Valores permisibles para que las máquinas operen indefinidamente	71
Tabla 30. Condición de aislamiento de motores .....	72
Tabla 31. Propiedades del instrumento.....	73

Tabla 32. Propiedades del registro.....	74
Tabla 33. Ajustes de medición .....	74
Tabla 34. Ajuste de eventos .....	74
Tabla 35. Ajuste RVC .....	75
Tabla 36. Ajustes de señalización .....	75
Tabla 37. Máxima demanda prepandemia .....	84
Tabla 38. Máxima demanda en pandemia .....	85
Tabla 39. Línea 1 en funcionamiento .....	86
Tabla 40. Línea 1 y 2 en funcionamiento .....	87
Tabla 41. Equipos proyectados para carga futura .....	88
Tabla 42. Numeración de áreas para la planta Challhuapozo .....	89
Tabla 43. Cabina de control 1 .....	90
Tabla 44. Cabina de control 2 .....	91
Tabla 45. Cabina de control 3 .....	91
Tabla 46. Cabina de control 4 proyectada .....	92
Tabla 47. Cálculo de máxima demanda de la cabina 1 .....	93
Tabla 48. Cálculo de máxima demanda de la cabina 2 .....	93
Tabla 49. Cálculo de máxima demanda de la cabina 3 .....	94
Tabla 50. Cálculo de máxima demanda proyectada de la cabina 4 .....	94
Tabla 51. Cálculo de la máxima demanda de oficinas.....	95
Tabla 52. Cálculo de la máxima demanda de alumbrado público.....	95
Tabla 53. Corriente total cabina 1 .....	97
Tabla 54. Corriente total cabina 2 .....	97
Tabla 55. Cálculo de caída de tensión en cabinas 1 y 2.....	97
Tabla 56. Corriente existente en la cabina 3.....	98
Tabla 57. Corriente futura en la cabina 4 .....	98
Tabla 58. Cálculo de caída de tensión para la cabina 3 y futura cabina 4.....	99
Tabla 59. Especificación de tipo de conductor hacia el motor, alternativa 1 ..	100
Tabla 60. Corriente total de diseño .....	101
Tabla 61. Cálculo de caída de tensión de conductor para la troncal principal	101
Tabla 62. Cálculo de caída de tensión de conductor para la cabina 3 .....	102
Tabla 63. Cálculo de caída de tensión de conductor para la futura cabina 4 .	102
Tabla 64. Segmentación de carga e implementación de la troncal.....	104
Tabla 65. Ampliación de carga y reforzamiento de troncal .....	105

Tabla 60. Especificación de conductor hacia el motor (mejor solución) .....	108
Tabla 61. Designación de redes secundarias .....	108
Tabla 62. Designación de ITM.....	109
Tabla 63. Especificaciones mínimas para tableros a implementar .....	109
Tabla 70. Recuperación de gastos.....	112
Tabla 71. Capacidad de conducción eléctrica del cable NYY.....	114
Tabla 72. Lista de nuevos ITM .....	115
Tabla 73. Características de ITM propuesto .....	115
Tabla 74. Especificaciones generales para tableros a implementar .....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de beneficio Challhuapozo.....	21
Figura 2. Desarrollo general del estudio.....	54
Figura 3. Transformador 200 kVA .....	58
Figura 4. Tablero eléctrico general.....	59
Figura 5. Trafomix CEA 10/5A.....	60
Figura 6. Multímetro marca Fluke.....	70
Figura 7. Megóhmetro marca Megabress .....	72
Figura 8. Instalación de analizador de redes .....	75
Figura 9. Configuración de analizador de redes .....	76
Figura 10. Análisis de la tensión.....	77
Figura 11. Análisis de la corriente .....	78
Figura 12. Análisis de la frecuencia.....	78
Figura 13. Potencia y energía activa .....	79
Figura 14. Potencia y energía reactiva.....	80
Figura 15. Potencia y energía aparente .....	80
Figura 16. Análisis de la quinta armónica de la línea R .....	82
Figura 17. Análisis de la quinta armónica de la línea S .....	82
Figura 18. Análisis de la quinta armónica de la línea T.....	82
Figura 19. Línea 1 en funcionamiento .....	86
Figura 20. Líneas 1 y 2 en funcionamiento .....	87
Figura 21. Codificación de equipos .....	90
Figura 22. Ubicación de motores de cabina 1 .....	90
Figura 23. Ubicación de motores de cabina 2.....	91
Figura 24. Ubicación de motores de cabina 3.....	91
Figura 25. Ubicación de cabina 4 en proceso .....	92
Figura 26. Faja transportadora de la cabina 4 en proceso.....	92
Figura 27. Simulación de alternativa 1 .....	104
Figura 28. Simulación de alternativa 2 .....	106
Figura 29. Análisis del flujo de caja .....	113

## RESUMEN

La presente investigación fue realizada con el objetivo de planificar el sistema eléctrico de la planta de beneficios Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central, esta planta actualmente se encuentra en operación con un sistema de distribución eléctrica sin ninguna planificación, ya que toda la instalación se realizó basándose en la necesidad de funcionamiento de los equipos instalados, por lo que no cumple con ninguna medida de seguridad y tampoco con los estándares eléctricos mínimos, estas condiciones se reflejan en paralizaciones de producción generadas por la salida de equipos, cortocircuitos en las líneas de distribución y salida de interruptores termomagnéticos que afectan a la eficiencia de los equipos eléctricos.

Durante el diagnóstico se evidenció que la planta cuenta con una subestación trifásica de 200 kVA desde el cual se suministra energía eléctrica a un tablero general, de este tablero se habilitaron varias redes de distribución sin ninguna planificación, en esta etapa se inspecciona la calidad de la energía suministrada por el concesionario Electrocentro, para efectuar esta tarea se instaló un analizador de redes de marca Metrel, modelo MI 2892, que permitió obtener los datos de calidad de tensión, comportamiento de la corriente, potencia, armónicas y calidad de la frecuencia, también se realizó un análisis al estado del cableado, encontrando deficiencias en el aislamiento del conductor autoportante de aluminio de 25 mm<sup>2</sup>, también se encontraron electrobombas sin interruptor electromagnético, motores sin relés de protección y durante el desarrollo del estudio se descubrió la preparación de una nueva zona de lavado que eventualmente significará una ampliación de carga a causa del incremento de equipos.

Para dar solución a todas las observaciones encontradas durante el diagnóstico en esta investigación, se propone como parte de una correcta planificación del sistema eléctrico una nueva red de distribución utilizando conductor NYY de 70 mm<sup>2</sup> de cobre para los tramos de mayor demanda y conductor NYY de 10 mm<sup>2</sup> para los tramos con menor carga, la selección de

estos conductores fueron calculados matemáticamente sobre la base de la propuesta de solución y distribución de carga recomendada, se simularon y validaron estos cálculos mediante el software ETAP, también se calcularon los ITM (interruptores termomagnéticos), contactores, relés de protección y conductores de alimentación para cada electrobomba, la solución también propone una estructura de codificación en función del módulo PM de SAP y de esta manera tener identificado a cada equipo eléctrico, con esta propuesta de solución se garantiza menores caídas de tensión, menor tiempo de interrupción de las operaciones y una mejor planificación del mantenimiento de equipos.

**Palabras claves:** planificación, planta de beneficios, sistema eléctrico

## ABSTRACT

This research was carried out with the objective of planning the electrical system of the Challhuapozo beneficiation plant of the Sierra Central mining company, this plant is currently in operation with an electrical distribution system without any planning, since the entire installation was carried out based on the need for operation of the installed equipment, so it does not comply with any safety measures and neither with the minimum electrical standards, these conditions are reflected in: production stoppages generated by the output of equipment, short circuits in the distribution lines and output of thermomagnetic switches that affect the efficiency of electrical equipment.

During the diagnosis it was evidenced that the plant has a 160KVA three-phase substation from which electrical energy is supplied to a general panel, from this panel several distribution networks were enabled without any planning, at this stage we inspect the quality of the energy supplied by the Electrocentro concessionaire, to carry out this task we installed a Metrel, model MI 2892 network analyzer that allowed us to obtain data on: voltage quality, current behavior, power, harmonics and frequency quality, we also performed an analysis to the state of the wiring, finding deficiencies in the insulation of the 25 mm<sup>2</sup> aluminum self-supporting conductor, electric pumps were also found without electromagnetic switch, motors without protection relays and during the development of the study, the preparation of a new washing area was discovered that would eventually mean a load expansion due to increased or teams.

To solve all the observations found during the diagnosis in this investigation we propose as part of a correct planning of the electrical system a new distribution network using a 70 mm<sup>2</sup> copper NYY conductor for the sections with the highest demand and a 10 mm<sup>2</sup> NYY conductor for the sections. with less load, the selection of these conductors were calculated mathematically based on our proposed solution and recommended load distribution, these calculations were simulated and validated by the ETAP software, we also calculated the ITM (thermomagnetic switches), contactors, relays of protection and power supply

conductors for each electric pump, our solution also proposes a coding structure based on the SAP PM module and in this way to have each electrical equipment identified, with this solution proposal lower voltage drops, less time of disruption of operations and better planning on of equipment maintenance.

**Keywords:** benefits plant, electrical system, planning

## INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad extractiva que constituye al desarrollo de las industrias y es una importante fuente de crecimiento económico para países en vías de desarrollo como el Perú, toda unidad minera cuenta con una planta que permite el control de las operaciones de extracción y distribución de los recursos minerales obtenidos, los cuales se encuentran funcionando mediante la utilización de máquinas eléctricas para garantizar su operación continua.

La presente investigación denominada “*Planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficios Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central*” busca mejorar la calidad y eficiencia del sistema de distribución eléctrica de la planta, esta investigación se estructura en tres capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el capítulo I se presenta el planteamiento del problema donde se describe las condiciones actuales de la planta, basados en estos datos se formulan los problemas, objetivos, justificaciones y limitaciones a los que se enfrenta durante el desarrollo de esta investigación.

En el capítulo II se describen diferentes antecedentes de estudio relacionados con el tema de investigación, tomando en cuenta referencias bibliográficas a nivel internacional y nacional, también se desarrollan las bases teóricas relacionadas con la calidad, eficiencia, normatividad, sistemas de distribución, motores, suministros y codificación.

En el capítulo III se presenta la metodología empleada, también los resultados del diagnóstico de la situación actual del sistema eléctrico, realizando el análisis de componentes del sistema eléctrico, demanda eléctrica y flujo de carga, basados en los resultados del diagnóstico se plantea una nueva distribución de las cargas eléctricas, se propone la implementación de protecciones eléctricas, el cambio de conductores y reajuste de todos los componentes eléctricos sobre la base de la demanda por cada zona de lavado,

con los nuevos cálculos se proponen distintas alternativas de solución y se selecciona la que permita cumplir con una adecuada planificación del sistema eléctrico de la planta.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

En la actualidad las industrias mineras cuentan con una gran diversidad de cargas que son generadas habitualmente por molinos, hornos, fajas transportadoras y motores, todos estos equipos funcionan mediante un sistema de distribución de energía los cuales necesitan ser considerados y detallados al momento de realizar la planificación, en las industrias que no tienen un sistema eléctrico bien planificado se observa un alto consumo de energía, caídas de tensión, paradas inesperadas que generalmente afectan al funcionamiento correcto de sus operaciones productivas, por ello toda industria minera formal produce teniendo en cuenta su eficiencia energética y para eso es importante la planificación del sistema eléctrico que garantice el rendimiento óptimo, la continuidad del servicio, reducción de pérdidas, calidad de energía y operación de los procesos productivos de forma eficiente.

La compañía minera Sierra Central es una empresa dedicada a la explotación y comercialización de minerales no metálicos como sílice, yeso, arcilla, bentonita y carbonato de calcio que son abastecidos a nivel nacional en las principales industrias de fundición, fábrica de vidrios y silicatos, esta compañía actualmente cuenta con un yacimiento de arena de sílice en el distrito de Chacapalpa de la provincia de Yauli en el departamento de Junín, donde se

cuenta con la planta de beneficios Challhuapozo para realizar las operaciones de extracción, lavado y envío de material.

En el inicio de las operaciones de extracción de la sílice la empresa no contaba con suministro eléctrico, por lo que sus operaciones de lavado y traslado de la arena de sílice se efectuaban utilizando únicamente motobombas, pero esto generaba demasiado consumo de combustible diésel que impactaba de forma directa a la economía de la empresa, generando un escenario difícil de sostener, en base a este contexto se generó un contrato con Electrocentro para que pueda proveer a esta planta con energía en media tensión de 13.2 kV mediante un contrato de tipo MT3, con la habilitación de la instalación procedieron a efectuar el cambio de todas las motobombas a electrobombas, incorporaron máquinas eléctricas vibratorias y empezaron a efectuar trabajos de lavado en turnos nocturnos, todas estas instalaciones se efectuaron sin ninguna planificación, por lo que los puntos eléctricos fueron instalados por necesidad de la habilitación de los equipos y por ello hoy se puede detallar el consumo de energía del último año en la siguiente tabla.

**Tabla 1. Consumo mensual de energía eléctrica**

Periodo	Energía activa total (kWh)	Energía activa hora punta (kWh)	Energía activa fuera punta (kWh)	Energía reactiva (kVARh)	Potencia hora punta (kW)	Potencia fuera punta (kW)
2021-06	5856.00	240.00	5616.00	7404.00	17.76	38.16
2021-05	5328.00	156.00	5172.00	7260.00	1.44	35.52
2021-04	5172.00	168.00	5004.00	7030.00	1.44	35.28
2021-03	5592.00	180.00	5412.00	7520.00	1.44	34.80
2021-02	5136.00	144.00	4992.00	6740.00	1.44	35.64
2021-01	4968.00	168.00	4800.00	6980.00	1.44	34.08
2020-12	4464.00	156.00	43.08	6810.00	1.44	33.84
2020-11	5340.00	156.00	5184.00	7410.00	1.56	44.40
2020-10	7284.00	180.00	7104.00	9440.00	1.44	46.32
2020-09	6504.00	180.00	6324.00	8470.00	1.68	42.48
2020-08	6552.00	180.00	6372.00	8520.00	1.44	46.68
2020-07	5784.00	156.00	5628.00	7290.00	1.32	37.20
2020-06	5124.00	288.00	4836.00	6990.00	5.16	36.48
2020-05	3936.00	396.00	3540.00	6130.00	5.64	34.92
2020-04	3588.00	336.00	3252.00	5740.00	5.40	32.16
2020-03	6288.00	456.00	5832.00	7580.00	7.68	34.32
2020-02	5748.00	504.00	5244.00	6820.00	7.68	34.20
2020-01	6348.00	528.00	5820.00	7400.00	8.16	37.80

Nota: tomada del Histórico Electrocentro Jauja 2021

Todas las instalaciones eléctricas de la planta se realizaron basados en el juicio experto del electricista a cargo y por esta razón no se cuenta con ningún estudio de cargas y tampoco con algún expediente técnico, el criterio de instalación de los equipos se basó únicamente en el reemplazo de las motobombas por electrobombas en los mismos puntos de ubicación, durante el proceso de instalación de estos equipos se utilizaron los conductores eléctricos disponibles en el taller eléctrico sin ningún cálculo previo, es así que la planta en la actualidad se encuentra funcionando haciendo uso de las electrobombas y de máquinas vibratorias que fueron adicionadas durante el periodo de funcionamiento, pero que son usadas cuando existe un pedido muy particular en la que se requiere que la sílice producida sea de alta pureza, los registros de la empresa también evidencian que en algunos periodos se realiza un doble lavado del mineral debido al incremento de las impurezas con las que son extraídas del yacimiento, pero al realizar esta actividad aparecen problemas que afectan directamente a los equipos y a las redes de distribución de la planta, ocasionando cortocircuitos, salida de equipos y salida de termomagnéticos, actualmente, como se está en periodo de pandemia por el Covid-19, la producción fue reducida y solo se limitó al funcionamiento de una línea de distribución lo que ocasiona que la caída de tensión afecte el funcionamiento de los motores más alejados, sacándolas de servicio; se evidenció también el sobrecalentamiento del cableado eléctrico cuando se habilita la máquina vibratoria, también se dificulta el mantenimiento porque no se cuenta con codificación y especificación técnica de los equipos instalados; por otro lado, se verificó también que la planta no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo de sus equipos y solo realizan el mantenimiento correctivo cuando algún motor sale de servicio, habitualmente los motores de fuerza tienden a falla y en algunos casos se tuvieron que rebobinar, barnizar, cambiar rodamiento y sellos mecánicos.

Es importante mencionar que durante la pandemia del Covid-19 la planta de beneficios tuvo que reducir su capacidad a un 60 %, ya que la cantidad demandada de la sílice disminuyó, aun con la reducción de la demanda se evidenciaron eventos de interrupciones del servicio eléctrico dentro de la planta, estos eventos eran habituales a plena carga por lo que se presumía que las caídas eran por un sobredimensionamiento de equipos, pero durante la

pandemia se mantuvieron las interrupciones, por lo que se requiere un análisis de todo el sistema eléctrico para evaluar la calidad de la tensión, y validar que las caídas no son el resultado de eventos externos.

Se evidenció que la compañía minera Sierra Central está realizando trabajos de ampliación de una nueva zona de lavado adicional que generaría una ampliación de la potencia requerida, un nuevo tendido de cableado eléctrico para esta nueva derivación, por esta razón, la empresa se ve en la necesidad de buscar una alternativa que le permita reestructurar y optimizar todo el circuito eléctrico de la planta, teniendo en cuenta el mejoramiento de las zonas de lavado y buscando una correcta distribución de los equipos con la finalidad de garantizar el tiempo de vida útil de los equipos.



**Figura 1. Planta de beneficio Challhuapozo**

Habiendo analizado el escenario de la planta Challhuapozo se determina que su problema está basado en la falta de planificación de todo su sistema eléctrico, por lo que en esta investigación se realizó el diagnóstico de la situación actual de la planta, el estudio de la demanda sobre la base de todos los equipos

instalados y proyectados, se listó la ubicación de cada carga para así evaluar y estimar con precisión la potencia requerida, también se realizó el diseño del sistema de distribución eléctrica considerando la metodología del plan de inversión en distribución eléctrica (PIDE), teniendo en cuenta una adecuada configuración de la red de distribución, considerando la nueva zona de lavado y la inversión para su construcción, implementación de diversos sistemas de protección eléctrica, inversión de gastos operativos e inversión de gastos en equipamiento con la finalidad de lograr un menor costo y una distribución más eficiente que garantice la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

#### **1.1.1. Problema general**

¿Cómo realizar la planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficio Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cómo influye el diagnóstico en la planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficio Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central?
- b. ¿Cuál es el estudio de demanda para la planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficio Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central?
- c. ¿Cuál es el estudio de flujo de carga para la planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficio Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central?

### **1.2. Objetivos**

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

Realizar la planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficios Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central.

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar la influencia del diagnóstico en la planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficio Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central.

- b. Realizar el estudio de demanda para la planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficio Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central.
- c. Realizar el estudio de flujo de carga para la planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficio Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Económica**

La presente investigación es de gran importancia, ya que su finalidad es garantizar el funcionamiento constante y eficiente de la planta de beneficios Challhuapozo, evitando paralizaciones no programadas en la producción a causa de la salida de equipos, cortocircuito en la red de distribución eléctrica, iluminación deficiente, entre otros; todos estos criterios que mejoran el factor económico de la planta se especifican a continuación:

- a. Reducción de la cantidad y el tiempo de las paralizaciones de la planta a causa de un mal funcionamiento de un equipo o algún cortocircuito, lo que afecta directamente al nivel de producción y este genera grandes pérdidas económicas.
- b. La implementación del sistema de codificación permitió garantizar la seguridad de los trabajadores y de los equipos eléctricos, reduciendo daños materiales y personales, lo que económicamente representa ganancias positivas para la empresa.
- c. El diseño de las redes de distribución eléctrica y la realización de los cálculos de demanda permitieron distinguir las cargas críticas y no críticas en la planta con lo que se puede reducir el consumo de energía de los equipos que no participan dentro del proceso productivo y por consiguiente generar ingresos adicionales para la compañía.

#### **1.3.2. Tecnológica**

La presente investigación tiene como respaldo la aplicación de conocimientos tecnológicos para determinar el mejor planeamiento del

sistema eléctrico de la planta de beneficios, durante el desarrollo de esta investigación se cumplió con las siguientes necesidades:

- a. Cálculo de la demanda de energía requerida considerando la ampliación de la zona de lavado.
- b. Diseño del sistema de distribución eléctrica óptima.
- c. Selección de conductores eléctricos adecuados de acuerdo con la demanda de energía eléctrica.
- d. Realizar la codificación de los equipos para minimizar riesgos eléctricos en los trabajadores.
- e. Seleccionar la mejor alternativa de solución con base en los resultados de la simulación con el software ETAP.

### **1.3.3. Teórica**

La presente investigación se realiza con el propósito de aportar conocimientos, los cuales servirán de base para otras investigaciones relacionadas con la planificación de un sistema eléctrico, también será de gran utilidad para que la compañía minera Sierra Central pueda implementar la propuesta detallada en esta investigación, ya que toda la documentación se desarrolló con el objetivo de resaltar los beneficios económicos y técnicos para mejorar y garantizar la productividad de la planta de beneficios Challhuapozo.

### **1.4. Importancia**

Es muy importante realizar la planificación del sistema eléctrico en todos los sectores del país y en especial en la industria, ya que estas son las más grandes consumidoras de energía, una correcta planificación permite tener un panorama claro acerca de la demanda de energía que se requiere para el funcionamiento de todas las operaciones, también permite determinar cuáles son las cargas críticas y no críticas con lo que se puede priorizar y segmentar circuitos, lo que conlleva a tener una red de distribución eléctrica bien equilibrada y segmentada, lo que permite mejorar la productividad y el tiempo de respuesta al incidente, una buena planificación también implica garantizar la seguridad no solo de los equipos sino de las personas que laboran en las áreas productivas, por lo que la selección de los sistemas de protección más adecuados dentro del

sistema garantiza reducir posibles pérdidas materiales y humanas que al final serán reflejados en ganancias económicas.

### **1.5. Limitaciones**

- a. Carencia de planos, diagrama unifilar, información detallada de distancias, tipo de cable y calibres de toda la planta.
- b. Información no registrada de los modelos de todos los componentes de protección y equipos instalados de toda la planta.
- c. Falta de accesibilidad a la planta para realizar la toma de mediciones eléctricas.
- d. Falta de disponibilidad de los profesionales que laboran en la planta debido a la reducción de personal a causa del Covid-19.
- e. Falta de conocimiento e información para desarrollar los diferentes temas de la investigación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

Para fortalecer a la presente investigación se realizó la revisión de artículos e investigaciones con similar enfoque que fueron realizadas con anterioridad, a continuación, se detallan estos trabajos:

##### 2.1.1. Artículos científicos

**Tabla 2. Resumen de artículos científicos revisados**

Autores / año	Título	Modelo
Mejía, S.; Hincapié, I.; Gallego, R.	Planeación óptima de sistemas de distribución considerando múltiples objetivos: costo de inversión, confiabilidad y pérdidas técnicas (1).	Plantean su estudio en base a cuatro modelos matemáticos que tiene como objetivo los costos fijos y variables, costos fijos, costos variables y la confiabilidad de la red eléctrica, teniendo en cuenta como criterios de restricción temas técnicos y operativos.
Mercado, V.; Peña, J.	Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica (2).	Modelos de gestión de mantenimiento propuestos en los últimos años y a partir del análisis de las actividades relacionadas con el mantenimiento preventivo y predictivo.
Berenguer, U.; Hernández, R.; Conde, G.; Gilart, D.	Gestión de la calidad de la energía eléctrica (3).	Propone mejorar los indicadores de calidad de energía con la implementación de tecnologías de gestión total de la eficiencia energética, teniendo en cuenta cambios en el sistema de monitoreo y control.
Escudero, M.; Rojas, J.; Quizhpi, F.	Diagnóstico y evaluación de confiabilidad del alimentador # 122 para la empresa eléctrica Azogues C. A.	Metodología de índice de confiabilidad basados en el método de simulación Montecarlo.

	usando el método de simulación de Montecarlo (4).	
Borges, V.; Concepción, C.	Compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución primaria de energía, aplicando algoritmos genéticos (5).	Proponen realizar la compensación de la potencia reactiva aplicando modelos genéticos con la finalidad de maximizar el valor neto actual, para lo cual se utilizó el programa Matlab.
Pérez, A.; León, M.; Borges, V.	Modelación de los efectos de la compensación de potencia reactiva en sistemas de suministro eléctrico (6).	Proponen realizar el modelamiento matemático de los efectos económicos generados por la potencia reactiva, aplicando algoritmos de flujo de potencia trifásica.
Sánchez, O.	Compensación de potencia reactiva en la empresa comandante Ernesto Che Guevara (7).	Modelo de compensación a través de los motores sincrónicos sobreexcitados para la reducción de las pérdidas en el sistema de media tensión sin realizar inversión.
Trujillo, A.; Álvarez, A.; Herrera, L.; García, S.	Gestión tecno-económica de bancos de compensación reactiva (8).	Modelo implementado sobre un banco de compensación reactiva, buscando estimar la estrategia óptima de reemplazo de unidades capacitivas.
Gil, M.; Manzano, A.; Gómez, L.; Sánchez, A.	Técnicas de investigación en calidad eléctrica: ventajas e inconvenientes (9).	Realizan un estudio de transformada S y Wavelet mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial para luego ser usado como una herramienta de análisis de la calidad de energía eléctrica.
Torres, R.	Estrategias efectivas para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica de un sistema de distribución eléctrico (10).	Presenta el estudio de las estrategias utilizadas por una empresa de distribución eléctrica para mejorar la calidad de energía eléctrica que viene entregando a sus usuarios finales, todo ello con la finalidad de obtener mejores indicadores en su calidad de servicio entregado.

En el artículo “*Planeación óptima de sistemas de distribución considerando múltiples objetivos: costo de inversión, confiabilidad y pérdidas técnicas*” (1), se quiere hacer una metodología para dar solución el problema del planeamiento multiobjetivo de sistemas de distribución de energía eléctrica, empleando NSGA, algoritmo elitista de ordenamiento no dominado, el cual considera cuatro modelos matemáticos, todo ello es verificado mediante un sistema de distribución especializado que se ve reflejado en un punto de equilibrio entre todos los objetivos considerados, el modelo matemático empleado conjuntamente a la generación de la población de forma aleatoria siempre se obtienen resultados de buena calidad y este artículo ayudará a encontrar una solución al problema de cómo planificar el sistema de distribución mediante un planeamiento estático en el que se emplean dos o más objetivos, así como el planteamiento de soluciones a las condiciones operativas, evitando tener consideraciones abrumadoras en cuanto a la topología empleada (1).

En el artículo “*Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica*” (2), se presenta un modelo de gestión de mantenimiento eléctrico, que concuerde con las necesidades de los procesos industriales y a su vez conecte las diferentes actividades, procesos y áreas de organización interesadas en mejorar y optimizar la eficiencia de la energía eléctrica ajustándose a las normas ISO; todo esto gracias a que hace referencia a la gestión de mantenimiento preventivo y predictivo, se concluye que al escoger un modelo de gestión de mantenimiento enfocado a la gestión de calidad, las actividades de revisión e inspección de parámetros eléctricos mejoran a un 60 % y ayuda a obtener indicadores, evaluarlos y hacer gestión de mantenimiento ajustado y orientado a la eficiencia y optimización de energía eléctrica. Este artículo guio para anticipar perturbaciones, fallas e interrupciones, disminuyendo pérdidas eléctricas y aumentando la eficiencia energética (2).

En el artículo “*Gestión de la calidad de la energía eléctrica*” (3), el objetivo fue presentar las mejoras realizadas a su sistema de monitoreo y control mediante la aplicación de una tecnología de gestión total de la eficiencia energética con la finalidad de mantener la sostenibilidad económica, para ello se realizó el estudio de diversos indicadores, de los cuales se logró mejorar el factor de potencia a 0.96 y el indicador de la tensión se normalizó, por lo que se logró la disminución del importe de facturación eléctrica anual de hasta un 4 % lo que contribuyó a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, manteniendo el nivel de actividad, este artículo guio para interpretar la efectividad del sistema eléctrico a través del monitoreo y control de los indicadores de calidad de la energía (3).

El artículo “*Diagnóstico y evaluación de confiabilidad del alimentador # 122 para la empresa eléctrica Azogues C. A., usando el método de simulación de Montecarlo*” (4), está dirigido a evaluar la continuidad de energía llamada muy comúnmente como confiabilidad del servicio, esta es medida a través de índices de desempeño, tiene dos orientaciones diferentes: la predicción de confiabilidad y el registro de eventos pasados. Fue analizado con un cálculo estadístico de los índices de su comportamiento para conocer zonas críticas y de más impacto de indisponibilidad de los componentes, el análisis se hizo con el método de simulación Montecarlo basados en seccionadores, transformadores y líneas, se

concluye que la estructura general de simulación: diagrama de flujo de la simulación de Montecarlo y el algoritmo realizado en la simulación de Montecarlo. Este artículo ayudó a evaluar la confiabilidad del sistema eléctrico de la planta de beneficio Challhuapozo, solo que como requisito fundamental es que se hagan con datos actualizados (4).

En el “*Compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución primaria de energía, aplicando algoritmos genéticos*” (5), se busca una solución que permita efectuar la compensación de potencia reactiva en los sistemas eléctricos de distribución primaria, considerando los efectos de desbalance, por ello se desarrolló un método de compensación basado en algoritmos genéticos, lo que da como resultado la selección y ubicación de distintos bancos de condensadores, ya sean simétricos o asimétricos dentro del sistema de distribución y, de esta manera, tener una buena eficiencia energética, este artículo permitió contar con conocimientos sólidos para realizar la selección de equipamiento, así como su ubicación dentro del sistema, para así mitigar el desbalance de energía eléctrica (5).

En el artículo “*Modelación de los efectos de la compensación de potencia reactiva en sistemas de suministro eléctrico*” (6), se detallan diversos modelos matemáticos que tienen como consideración los efectos económicos generados por una mala compensación de la potencia reactiva, la finalidad de este artículo es encontrar procedimientos que permitan optimizar la red eléctrica con la selección adecuada de dispositivos de compensación, para la verificación del estudio se efectúan estudios del flujo de carga antes y después de la compensación de energía reactiva, para ello usan algoritmos de estados de potencia trifásicos, en cuanto a la investigación este artículo permitió conocer cómo seleccionar los dispositivos de compensación correctos para el sistema, también brindó conocimientos para realizar el análisis del flujo de carga para realizar la simulación de la compensación de energía reactiva (6).

El artículo “*Compensación de potencia reactiva en la empresa comandante Ernesto Che Guevara*” (7), tiene por objetivo establecer las oportunidades que lograrían durante el proceso de compensación de la potencia

reactiva con el empleo de motores sincrónicos sobreexcitados, su principal meta es cumplir con las oportunidades de compensación de potencia reactiva y ahorro de energía con uso exclusivo de los motores sincrónicos existentes en la red, también reducir los costos de la compensación de la potencia reactiva por el empleo de motores sincrónicos y no llegar a comprar un banco de capacitores, gracias a este artículo se analizó el cálculo económico por compensación de motores síncronos (7).

El artículo "*Gestión tecno-económica de bancos de compensación reactiva*" (8), muestra un modelo desarrollado para gestionar algunos bancos de compensación reactiva, en este documento se desarrolla un ya conocido modelo probabilístico que determina la confiabilidad y el porcentaje de falla del banco en el tiempo, este modelo, por otro lado, complementa la gestión financiera del activo y como resultado se muestra el momento en el cual las inversiones de mantenimiento al banco sean óptimas mediante la aplicación del modelo desarrollado para la gestión técnico-económica de bancos de compensación en el marco de la gestión de activos, este artículo guio en mejorar los ingresos y prolongar la vida operacional de los bancos de capacitores, esto con el fin de optimizar financieramente la toma de decisiones teniendo en cuenta el costo, riesgo y desempeño (8).

En el artículo "*Técnicas de investigación en calidad eléctrica: ventajas e inconvenientes*" (9), se describen los principales eventos que afectan mayormente a la calidad de energía, aquí plantean las últimas técnicas para realizar el análisis de la energía eléctrica en las instalaciones y realizan una comparativa de las ventajas que aportan estos nuevos métodos y que son apoyadas con la inteligencia artificial para lograr métodos muy precisos, se está hablando de los métodos de la transformada S y la transformada de Wavelet, este artículo guio a determinar con gran precisión cuando una onda eléctrica de tensión o corriente presenta alguna distorsión que pueda afectar al funcionamiento de los equipos eléctricos (9).

En el artículo "*Estrategias efectivas para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica de un sistema de distribución eléctrica*" (10), se efectúa un

análisis al sistema de distribución de 69 kV que se encuentra conectado al Sistema Nacional Interconectado en 7 subestaciones, en esta investigación se expresa lo primordial que es verificar la calidad del servicio de energía eléctrica, porque mediante este sistema se da un suministro energético de forma regular y sin ningún perjuicio a los aparatos eléctricos del usuario, este artículo presenta las estrategias que utilizaron para mejorar de forma continuada el nivel de la calidad de energía entregada, por lo tanto, este artículo ayudó a analizar las características del sistema, así como su problemática y su respectiva solución, abarca también al costo monetario (10).

### 2.1.2. Tesis de investigación

**Tabla 3. Resumen de tesis revisadas**

<b>Autores</b>	<b>País</b>	<b>Tema</b>	<b>Modelo</b>
Escobal, D.	Perú	Implementación de una auditoría eléctrica para reducir el consumo de energía eléctrica en el hospital II de EsSalud Cajamarca (11).	Auditoría, inventario e índice de consumo energético y plan de gestión de la energía.
Otazu, V.	Chile	Análisis del trabajo y el mantenimiento en el área eléctrica en una planta concentradora de una mina de cobre para implementar un programa de seguridad eléctrica integral (12).	Plantea la implementación de un programa de seguridad eléctrica teniendo en cuenta el mantenimiento preventivo de los equipos de acuerdo con la criticidad del trabajo, la evaluación de los peligros y riesgos asociados. Plantea describir todas las características de cada uno de los parámetros de la calidad energética bajo el desarrollo de un análisis de la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos y de las normas internacionales IEEE519-1992 y la IEC61000.
Corzo, H.	Perú	Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica del sistema de utilización de la clínica Rebagliati, Huancayo, 2020 (13).	Plantea describir todas las características de cada uno de los parámetros de la calidad energética bajo el desarrollo de un análisis de la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos y de las normas internacionales IEEE519-1992 y la IEC61000.
Huaylla, H.	Perú	Análisis del sistema eléctrico de la planta de procesos del proyecto minero Tambomayo Tapay, para la codificación eléctrica (TAG) de equipos de BT y MT, 2019 (14).	Plantea la implementación de un código de identificación para los equipos y elementos de instalación en las diferentes áreas con la finalidad de mantener un histórico de la gestión de mantenimiento, así como un control de los errores cometidos, para así asegurar la seguridad del sistema, los equipos instalados y el personal que labora.
Miranda, U.	Perú	Determinación de la influencia de un banco de condensadores para reducir el consumo de potencia reactiva en el sistema	Diseño de banco de condensadores para reducir por lo menos un 30 % el consumo

		eléctrico Epasa, San Martín de Pangoa, 2018 (15).	de potencia reactiva en su sistema eléctrico, Epasa
Huayta, C.	Perú	Análisis del flujo de potencia del sistema eléctrico horno 4 por incremento de motores mediante el software ETAP para garantizar la continuidad del sistema eléctrico, planta Condorcocha (16).	Diagnóstico del equipamiento, las simulaciones de flujo de potencia y fallas de cortocircuito mediante el programa computacional ETAP.
Medina, J.	Perú	Perfeccionamiento del modelamiento eléctrico con flujo de potencia, cortocircuito y arco flash, utilizando el software ETAP para una faja transportadora de minerales, 2019 (17).	Ejecutar los escenarios de simulación del equipamiento de la faja transportadora de mineral, para garantizar la buena operatividad y continuidad de todo el sistema de suministro eléctrico y obtener sus distancias de seguridad.
Ortiz, D.	Perú	Coordinación de protección de las minicentrales hidroeléctricas Huarisca, Ingenio y el Machu para su reconocimiento por el COES (18).	Evalúa las corrientes de cortocircuito, se realiza la coordinación de los equipos de protección como parte de los requisitos exigidos por el COES.
Uscamayta, R.	Perú	Estudio de coordinación de protección en la subestación de Totorani acorde a los nuevos cambios de la topología en alta y media tensión para el año 2021 (19).	Diagnóstico de la operatividad del sistema de potencia actual en la subestación y optimizar las funciones de ajustes de relés de sobrecorriente.
Quintana, C.	Perú	Optimización de la protección interrupciones en el tramo del eje Matahuasi Quebrada Honda (20).	Realiza un análisis de las protecciones eléctricas: relé, recloser y fusibles que están instalados en el sistema de distribución 13.2 kV de los alimentadores A4502 y A4504 en la subestación Concepción.

En la tesis *“Implementación de una auditoría eléctrica para reducir el consumo de energía eléctrica en el hospital II de EsSalud, Cajamarca”* (11), se da a conocer que en el hospital se están implementando áreas con equipos biomédicos y electromecánicos para la atención de los asegurados, también dan a conocer que cuentan con áreas con deficiencia de iluminación muy debajo a las establecidas en las normas eléctricas. Para lo cual realizan una auditoría eléctrica para lograr reducir el consumo de energía eléctrica, y levantar observaciones manteniendo los estándares de calidad en iluminación, según la norma eléctrica en hospitales (11).

En la tesis *“Análisis del trabajo y el mantenimiento en el área eléctrica en una planta concentradora de una mina de cobre para implementar un programa de seguridad eléctrica integral”* (12), indican la implementación de un programa

de seguridad eléctrica integral en una empresa minera, para ello dan uso a dos normas la NFPA70E “*Seguridad eléctrica en lugares de trabajo*” y la NFPA70B “*Recomendaciones para el mantenimiento de equipos eléctricos*”, para este propósito efectúan un cuadro estadístico de los accidentes mortales ocurridos en el sector minero, también accidentes mortales a causa de la energía eléctrica, se llega a establecer que los accidentes eléctricos ocurridos en la empresa son el resultado de la ausencia de un programa de seguridad eléctrica planteado por línea de mando y también la falta de mantenimiento de algunos equipos eléctricos, y al incorporar estas normas complementará el sistema de gestión de seguridad de la empresa minera para disminuir la probabilidad de ocurrencia de accidentes con relación al sistema eléctrico (12).

En la tesis “*Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica del sistema de utilización de la clínica Rebagliati*” (13), realizaron una investigación con el objetivo de describir las características de los parámetros de la calidad de energía eléctrica en el sistema de utilización de la clínica, analizados bajo la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE). Dando los resultados de la investigación muestran que el nivel de tensión, frecuencia, distorsión armónica total se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma (13).

En la tesis “*Análisis del sistema eléctrico de la planta de procesos del proyecto minero Tambomayo Tapay, para la codificación eléctrica (TAG) de equipos de BT y MT*” (14), dan a conocer que una planta de procesos cuenta con un sistema eléctrico deficiente, para ello deben dar un código (TAG) a todos los equipos eléctricos para que los identifique, este TAG permite relacionarlos en un plano eléctrico, el cual permitirá crear un plano de ubicación de equipos y efectuar las órdenes de trabajo (OT). Además, esta implementación permitirá una gestión de mantenimiento y el cual permitirá administrar y mantener la producción y seguridad de los sistemas y no tener problemas con la producción de la planta (14).

En la tesis “*Determinación de la influencia de un banco de condensadores para reducir el consumo de potencia reactiva en el sistema eléctrico Epasa - San*

*Martín de Pangoa*” (15), en este trabajo dan a conocer la importancia de un banco de condensadores con respecto a la reducción del consumo de potencia reactiva en el sistema eléctrico Y, dando un resultado positivo respecto a la reducción de consumo de potencia reactiva, se obtuvo en horas punta un consumo de 257.90 kVAR y fuera de punta 230.53 kVAR, como valores máximos, logrando reducir a 167.90 kVAR en hora punta y fuera de punta a 120.52 kVAR (15).

En la tesis *“Análisis del flujo de potencia del sistema eléctrico horno 4 por incremento de motores mediante el software ETAP para garantizar la continuidad de sistema eléctrico – planta Condorcocha”* (16), la finalidad fue demostrar mediante el análisis del flujo de potencia, la influencia que tiene el incremento de carga debido a la ampliación del horno 4, dando como resultado los perfiles de tensión en barra, la sobrecarga de los transformadores y el análisis de cortocircuito obtenidos por medio de procesos de simulación en el software ETAP utilizando la norma IEC 60909, esta tesis servirá de guía para realizar las simulaciones respectivas en el software ETAP y también permitirá comprender la norma denominada *“Cálculo de corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos AC”* (16).

En la tesis *“Perfeccionamiento del modelamiento eléctrico con flujo de potencia, cortocircuito y arco flash, utilizando el software ETAP para una faja transportadora de minerales, año 2019”* (17), este trabajo tiene como objetivo conocer el nuevo estudio de flujo de potencia, corto circuito del equipamiento eléctrico de una faja Overland dentro del sistema de potencia actual o cuál permitirá tomar decisiones futuras para ampliar las operaciones, como el correcto dimensionamiento de equipos con respecto a la corriente de corto circuito, esta tesis permitirá realizar la simulación de flujos de potencia, simulación de corto circuito de los equipos eléctricos junto con todos los componentes del sistema (17).

En la tesis *“Coordinación de protección de las minicentrales hidroeléctricas Huarisca – Ingenio y el Machu Picchu para su reconocimiento por el COES”* (18), la finalidad fue evaluar las corrientes de cortocircuito, verificar

los niveles de tensiones, flujos de carga de acuerdo con las máximas y mínimas demandas, también realizar la coordinación de los equipos de protección, esta tesis permitirá entender los diferentes niveles de corrientes para así seleccionar los sistemas de protección adecuados y de igual forma seleccionar los interruptores adecuados para el sistema eléctrico (18).

En la tesis “*Estudio de coordinación de protección en la subestación de Totorani acorde a los nuevos cambios de la topología en alta y media tensión para el año 2021*” (19), la finalidad fue diagnosticar la operatividad del sistema de potencia actual en la subestación y optimizar las funciones de ajustes de relés de sobrecorriente, por lo cual se comprueba el comportamiento del sistema eléctrico en la subestación Totorani considerando los parámetros apoyados con software Digsilent 15.1.7, esta tesis permitirá entender cómo realizar un estudio de coordinación de protecciones acorde a las instalaciones eléctricas (19).

En la tesis “*Optimización de la protección de interrupciones en el tramo del eje Matahuasi Quebrada Honda*” (20), la finalidad fue efectuar un análisis de las protecciones eléctricas entre los elementos de protección relé, recloser y fusibles que están instalados en el sistema de distribución 13.2 kV de los alimentadores A4502 y A4504 de la subestación Concepción, esta tesis permitirá entender y seleccionar los equipos de protección y operación con la finalidad de minimizar las interrupciones y mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico (20).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Instalaciones eléctricas**

Comprende al conjunto de tuberías, conductores eléctricos, pozos a tierra, puntos de luz, puntos de tomacorriente, tableros generales y de distribución, todo ello con la finalidad de que una industria o domicilio cuente con energía eléctrica.

#### **2.2.1.1. Caracterización de cargas**

En todo proyecto es importante considerar todo tipo de cargas eléctricas que permitan conocer el comportamiento y las características de los equipos, las cargas que deben ser

consideradas se pueden agrupar en motores, iluminación, equipos móviles, cargas fijas, entre otros; todo este proceso de caracterización de las cargas se realiza teniendo en cuenta coeficientes de voltaje, corriente e impedancia con la finalidad de determinar el mejor sistema eléctrico para cada tipo de industria o vivienda y de esta manera tener una curva estándar para cada equipamiento que se desee implementar (21).

### **2.2.1.2. Resistencia de aislamiento**

Se entiende como resistencia de aislamiento a la dificultad durante el paso de corriente al momento de aplicar tensión a un conductor o equipo, realizar constantemente la medición de aislamiento tiene como finalidad mantener la alta resistencia de los alambres, cuando se obtienen valores bajos de medición se infiere que el aislamiento es deficiente y puede ser causado por suciedad, humedad o la variación de temperatura.

Las mediciones de resistencia se efectúan con un Megger que permite medir el aislamiento en Mega-Ohm mediante el desarrollo de una prueba no destructiva, esta prueba se hace en el tablero, donde se evalúa la conexión respecto a tierra con la finalidad de descubrir fallas eléctricas de corto circuito a tierra, las pruebas para determinar el nivel de aislamiento del circuito así como de los equipos debe hacerse cuando se pone en servicio la instalación, cuando se efectúen modificaciones en el sistema, después de un trabajo de reparación o cuando se haga una ampliación (22).

### **2.2.1.3. Sección de conductores eléctricos**

En toda instalación eléctrica un factor importante para tener en cuenta es la de calcular correctamente la sección del conductor, este cálculo se basa en determinar el diámetro en función de la corriente máxima que se requiere transmitir sin afectar el aislamiento, sin superar la máxima caída de tensión y sin superar

la sección mínima permitida por las normas, por ello es importante que estos cálculos sean desarrollados de forma correcta:

#### **a. Intensidad de corriente admisible**

También conocida como la máxima corriente, los valores de este parámetro son extraídos en función del tipo de conductor y su sección, estos valores en instalaciones de baja tensión son evaluados en función a la norma UNE 20.460-5-523, esta norma es de fácil comprensión y lectura, por ello se cuenta con diversas tablas que contienen información como intensidades admisibles, tipos de construcción de cables y diversos métodos de instalación (23).

#### **b. Caída de tensión**

Puede calcularse mediante la siguiente expresión:

Sistema trifásico de corriente alterna:

$$e = \sqrt{3} * I * L(R * \cos\varphi + X * \sen\varphi)$$

Sistema monofásico de corriente alterna:

$$e = 2 * I * L(R * \cos\varphi + X * \sen\varphi)$$

Sistema de corriente continua:

$$e = 2 * I * L * R$$

#### **Donde**

e = caída de tensión en Voltios (V)

I = intensidad de corriente a transmitir en A

L = longitud de la línea en kilómetros (km)

R = resistencia eléctrica a la temperatura en ohm / km

X = reactancia por unidad de longitud (ohm / km)

K = 1,73 para líneas trifásicas y 2 para líneas monofásicas

$\cos \varphi$  = factor de potencia (en ausencia de datos usar 0.8)

$\sin \varphi$  = Seno de  $\varphi$  (en ausencia de datos usar 0.6) (24)

### c. Intensidad de cortocircuito admisible

Se verifica con la siguiente fórmula:

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * U_n}$$

#### Donde

$S_{cc}$  = es la potencia de cortocircuito de la red

$U_n$  = es la potencia nominal de la red

$I_{cc}$  = intensidad de corriente de cortocircuito, en A

Por lo tanto, el conductor seleccionado deberá soportar una corriente del valor calculado, por lo que debe cumplirse lo siguiente:

$$I_{ccadm} \geq I_{cc}$$

#### Donde

$I_{cc.adm}$ : la máxima corriente de cortocircuito que puede soportar el cable elegido (25).

#### 2.2.1.4. Calibres de conductores

El calibre de un conductor es representado por el diámetro del conductor, estos datos se expresan en  $\text{mm}^2$  bajo la normalización del sistema americano de calibres (AWG) y con base en estos datos se obtienen características como diámetro, área, resistencia, etc., bajo este sistema, cuanto más grande el tamaño del conductor el calibre será mucho más pequeño, también se recuerda que basándose en esta información es habitual consultar las tablas de calibre de conductores basados en la norma NEC en

la cual se puede encontrar más de 30 diferentes tamaños de conductores.

#### **2.2.1.5. Capacidad de conducción**

Esta capacidad está definida por la intensidad de corriente bajo la selección del conductor y el tipo de aislamiento, el Nippon Electric Company (NEC) lo define como ampacidad del conductor teniendo en cuenta tamaño de conductor, temperatura del aire (temperatura ambiente y temperatura nominal del conductor).

### **2.2.2. Motores eléctricos**

Son equipos que proporcionan potencia para realizar un trabajo, estos equipos cumplen diversas funciones, cuando transforman la energía mecánica en eléctrica cumplen la función de generadores y cuando realizan la transformación de la energía eléctrica en mecánica cumplen la función de motores, y es la razón por lo que en la actualidad hay diferentes tipos de motores según su aplicación, por ejemplo: ventiladores, bombas, máquinas de alta complejidad, máquinas dinámicas, máquinas de gran capacidad, etc.

#### **2.2.2.1. Clasificación por tipo de corriente**

##### **a. Motores de corriente continua**

- De excitación independiente
- De excitación serie
- De excitación o derivación
- De excitación compuesta

##### **b. Motores de corriente alterna**

- Motores síncronos
- Motores asíncronos

##### **c. Monofásicos**

- De bobinado auxiliar

- De espira en corto circuito
- Universal

#### **d. Trifásicos**

- De rotor bobinado
- De rotor en corto circuito

#### **2.2.2.2. Motores asíncronos**

También llamados motores de inducción, son motores eléctricos de corriente alterna que se encuentran conformados por un rotor que puede ser del tipo de jaula de ardilla o del tipo bobinado y un estator, su fundamento se basa en el principio de la acción de un campo magnético giratorio sobre un arrollamiento en cortocircuito, las bobinas de este tipo de motor están desfasadas entre sí a  $120^\circ$ , siempre que sea una instalación trifásica, también se puede decir que la acción generada por el campo giratorio y las corrientes de los conductores del rotor terminan originando una fuerza electrodinámica que hace girar el rotor del motor (26).

#### **2.2.2.3. Motor tipo jaula de ardilla**

Se dice que es del tipo de jaula de ardilla, ya que el rotor cuenta con un cilindro montado en el eje, la composición interna tiene barras conductoras de cobre o aluminio con surcos que se encuentran conectados en ambos extremos con la finalidad de poner en cortocircuito a los anillos de la jaula, este tipo de motor se construye con láminas de hierro como base para el rotor y los devanados del estator incitan el campo magnético al momento de rotar alrededor del rotor, todo esto produce una fuerza que actúa sobre el rotor dando como resultado una torsión que permite dar vuelta al eje del motor.

#### **2.2.2.4. Protección contra pérdidas de fase**

Cuando sucede la pérdida de fase en un motor este se calienta y genera un aumento del consumo de corriente, es en este

escenario donde entra el dispositivo de protección, reconociendo este comportamiento y acelerando el proceso de desconexión del equipo, este tipo de fallas puede ser detectado por un dispositivo de doble barra actuadora que permite maximizar la sensibilidad del disparo, también se activa este dispositivo si la corriente sobrepasa los valores admitidos, por lo que se acciona el contacto auxiliar que desconecta el sistema eléctrico, también estos equipos deben realizar un seguimiento de las distintas variaciones de temperatura del motor mediante la medición de corriente que el equipo toma de la red.

#### **2.2.2.5. Guardamotor**

Se le puede definir como un interruptor automático que tiene funcionalidades de disparo similares a la de un relé térmico, este dispositivo agrupa todas las necesidades para realizar un arranque directo, este dispositivo incluye funcionalidades como la del disparo por falta de fase, disparo magnético ajustado y compensación de temperatura con la finalidad de proteger al térmico, en conclusión, se podría decir que el guardamotor reemplaza en forma conjunta al contactor, térmico y fusibles.

#### **2.2.2.6. Protección contra baja tensión**

Es importante proteger a los motores ante la falta de tensión mediante un dispositivo que permita realizar el corte automático de la alimentación eléctrica, este dispositivo puede ser parte del sistema de protección de sobrecarga (arranque de motor), también se puede configurar de una forma en la que se pueda proteger a varios motores siempre en cuando se dé una de las siguientes circunstancias:

- Motores instalados en un mismo local con una suma de potencia máxima absorbida igual a 10 kW.
- Motores instalados en un mismo local donde todos los equipos retornen automáticamente a su estado inicial de arranque ante falla de tensión.

### **2.2.3. Centro de carga**

Es un espacio en la que se encuentran agrupados los dispositivos de protección y medición, habitualmente son gabinetes desde donde se controla toda la distribución de energía eléctrica.

#### **2.2.3.1. Tableros de circuitos derivados**

Este gabinete está especialmente diseñado para contener a todos los dispositivos que permitan realizar la distribución de energía eléctrica a otros circuitos, para definir un correcto tablero de derivación se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Tipo de servicio (monofásico, bifásico o trifásico)
- Conocer la capacidad del tipo de interruptor a colocar en función de la carga.
- Si se usara neutro sólido o neutro aislado.
- Si el tipo de alimentación está en función a la cometida (superior o inferior).
- El tipo de gabinete considerando la zona y el ambiente donde se realizará la instalación.

#### **2.2.3.2. Tableros generales**

Este gabinete habitualmente se instala en las subestaciones o ambientes destinados para el funcionamiento del centro de carga, este tipo de tableros tiene la particularidad que su alimentación se realiza de forma directamente desde el transformador, generalmente estos tableros son autosoportados para su operación, para realizar el diseño correcto se debe considerar lo siguiente:

- Holguras entre las barras del tablero y sus tapaderas.
- Selección adecuada de la sección transversal de las barras que permitan conducir la corriente demandada.
- Soportes y aisladores robustos dimensionados en función a la carga requerida.

#### 2.2.4. Análisis de redes

Realizar el análisis de redes es importante, ya que su finalidad es garantizar que las empresas suministradoras de energía eléctrica estén brindando un servicio de calidad, para que de esta manera los usuarios del sistema eléctrico tengan la seguridad de que sus equipos no sufrirán daños y funcionarán de forma correcta, por esta razón es importante entender que una interrupción del servicio puede causar pérdidas económicas tanto productivas como el daño de equipos eléctricos.

##### 2.2.4.1. Corriente

Este es un factor importante al que hay que realizar constantemente un seguimiento para evitar fallas en los equipos, existen diferentes tipos de corriente como:

- **Corriente alterna monofásica:** esta corriente es generada mediante generadores de corriente donde se genera lo siguiente; aumento de corriente hasta un pico, luego una caída hasta cero, este descenso continúa hasta un pico negativo y vuelve a subir a cero y así sucesivamente varias veces por segundo.
- **Corriente alterna bifásica:** generada por dos bobinas, montadas a 90° una de la otra, razón por lo que se producirán dos ondas de corriente (una en su máximo cuando la otra esté en cero).
- **Corriente alterna trifásica:** generada cuando se agrupan tres bobinas montadas en ángulos de 120° por lo que se producirá corriente en forma de onda triple.

##### 2.2.4.2. Voltaje

Conocido como la diferencia de potencial entre dos puntos, la Norma Técnica del Servicio de Distribución proporciona un índice de calidad de regulación de tensión en el punto de entrega al usuario, para determinar la calidad se debe calcular lo siguiente:

$$\text{Índice de Regulación de Tensión (\%)} = \Delta V_k (\%)$$

$$\%IRT = | V_k - V_n | \cdot 100 V_n$$

**Donde:**

$V_k$  = media de los valores eficaces (RMS) de tensión

$V_n$  = valor de la tensión nominal

### **2.2.4.3. Potencia**

Esta se entiende como la variación del trabajo por unidad de tiempo, su unidad de medida es el Joule por segundo (Watts), también puede medirse en caballos de fuerza (HP), su ecuación es:

$$P = dw/dt$$

**Donde**

$P$  = potencia

$dw$  = diferencial de trabajo

$dt$  = diferencial de tiempo

#### **a. Potencia activa**

Es la cantidad total de potencia útil (potencia utilizada) que se requiere para realizar cualquier trabajo mediante el uso de un equipo eléctrico, se está hablando de la potencia (kW) disipada por los equipos (calor o trabajo) que es dada en función a la potencia en kVA menos la potencia en kVAR, se puede obtener el valor aplicando la siguiente fórmula:

$$P(kW) = S(kVA) - Q(kVAR) \quad (27)$$

#### **b. Potencia reactiva**

En los circuitos eléctricos la energía no cambia de forma, en su lugar se almacena en un elemento capacitivo o inductivo, esto realiza la entrada de la energía almacenada cuando la fuente se desenergiza, en un circuito de C. A. la energía pasa del capacitor a

la fuente en el primer cuarto de ciclo y regresa en el siguiente cuarto de ciclo, a este tipo de energía se le conoce como reactiva, se simboliza con la letra “Q” y representa a la energía producida por la potencia capacitiva multiplicada por el tiempo.

### **c. Potencia aparente**

Se considera a la cantidad total de la potencia consumida por un equipo eléctrico, se representa con la letra “S”, también significa que para obtener este valor se debe considerar que el sistema eléctrico no solo debe soportar la energía requerida por los equipos resistivos, sino también se le debe de sumar la energía almacenada por las bobinas y condensadores, bajo esta premisa se puede decir que la potencia S(kVA) es igual a la suma de la potencia útil P(kW) y de la potencia de campos Q(kVAR), este valor se halla con la siguiente fórmula:

$$kVA = \sqrt{(kW)^2 + (kVAR)^2} \quad (28)$$

#### **2.2.4.4. Factor de potencia**

A este parámetro se le define como el coeficiente que existe entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA), los equipos eléctricos como los motores necesitan a la corriente reactiva para realizar su operación, esta corriente produce un desfase entre la onda de tensión y la onda de corriente, este tipo de desfases se pueden anular mediante el uso de condensadores, para así buscar la eficiencia del sistema eléctrico, a esto se le conoce como compensación.

$$f.p. = P/S$$

Este valor representa a la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo, en toda instalación siempre se busca tener al factor de potencia más cercano a 1 lo que indicaría que

toda la energía se transformó en trabajo, un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía (29).

#### **2.2.4.5. Armónicos**

Se define como una tensión senoidal donde su frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la tensión, los armónicos generan cargas no lineales dentro del sistema eléctrico donde la amplitud y frecuencia depende de la deformación de la onda de corriente, si se tiene una corriente que fluye a 180 Hz se dice que se encuentra presente el tercer armónico, en otras palabras, se habla de que la frecuencia fundamental de 60 Hz fue multiplicado por 3, entonces se dice que mientras mayores sean las corrientes armónicas más distorsionadas serán los voltajes en los nodos del circuito y los problemas que pueden presentarse serán más dañinos (30).

##### **a. Distorsión armónica THDV**

Es una medida que distorsiona la forma de onda del voltaje o de la corriente, la onda que proviene del sistema eléctrico es limpia y cuando esta atraviesa distintas cargas tanto el voltaje y la corriente provocan que la distorsión se refleje desde la carga hacia el sistema, la NTSD en un sistema de baja tensión considerada como máximo un 8 % para la distorsión armónica total y si supera más del 5 % en un periodo de medición se considera de mala calidad, para realizar el cálculo se usa la siguiente fórmula:

$$DATT (\%) = (\sum Vi^2 / V1^2) \cdot 100$$

##### **Donde:**

DATT = distorsión armónica total de tensión

$V_i$  = componente de tensión de la armónica de orden  $i$

$V_1$  = componente de tensión de la frecuencia fundamental (60 Hz) (31)

### **b. Distorsión armónica THDI**

La distorsión armónica de corriente indica que cuando la distorsión armónica en la tensión es producida por una fuente de corriente esta depende del nivel de tensión y del orden de la armónica, según la NTDS para tensiones mayores de 1 kV y potencia mayor de 10 kW la tolerancia es de 20 % y para calcular ese valor se utiliza la siguiente fórmula:

$$DATI = (\sum I_i^2 / I_1^2) \cdot 100$$

#### **Donde**

DATI = distorsión armónica total de corriente

$I_i$  = intensidad de corriente de la armónica de orden  $i$

$I_1$  = intensidad de corriente de la frecuencia fundamental (60 Hz)

### **2.2.5. Protección de sistemas eléctricos**

Todo sistema eléctrico durante su operación puede estar expuesto a diferentes condiciones anormales, originadas por aspectos relacionados al propio sistema, o por elementos externos al mismo, por ello la función principal de la protección es provocar la desconexión automática del sistema que ha sido afectado por una falla o un régimen anormal de operación, la protección de los equipos es una de las partes fundamentales en todo el sistema eléctrico para prevenir fallas, una segunda función de la protección es dar información sobre el tipo de falla y localización de la misma o de un régimen anormal que ha ocurrido con el objetivo de facilitar al personal de servicio técnico su rápida ubicación y contención.

#### **2.2.5.1. Apartarrayos**

Es un dispositivo que permite proteger el sistema eléctrico ante sobretensión, estos dispositivos se encuentran conectados de forma permanente a la línea y a tierra, cuando se genera la sobretensión estas se encargan de descargar toda la corriente a tierra e inmediatamente después de que la tensión se haya

reducido el apartarrayos debe de detener el flujo a tierra para retomar el funcionamiento habitual del sistema eléctrico, estos dispositivos son básicamente elementos resistores en serie con gaps o explosores, estos dispositivos tienen una resistencia no lineal, por lo que para voltajes que transitan en una frecuencia normal la resistencia es alta, pero al momento de realizar la descarga de la corriente su resistencia es baja, en la actualidad se cuenta con diferentes tipos de apartarrayos agrupados por su operación, como por ejemplo: el apartarrayos de tipo autovalvular o el apartarrayos de resistencia variable (32).

#### **2.2.5.2. Sistema de tierra**

Es un sistema que permite proteger a los usuarios de la red eléctrica, su composición básicamente se basa en un único electrodo que se encuentra enterrado en el suelo y de este uno o varios conductores que se encargan de unirlo a la red eléctrica y también a las partes metálicas de la estructura del edificio o vivienda, la finalidad de contar con un sistema a tierra básicamente se centra en la protección del sistema eléctrico ante las descargas atmosféricas, permite realizar la descarga de corriente producida por cortocircuito, en la actualidad existen varias configuraciones de estos sistemas, como por ejemplo: sistema de tierra física, sistema de tierra aislada y el sistema de tierra para protección (33).

#### **2.2.5.3. Fusibles**

Es un dispositivo que permite proteger al sistema eléctrico y todos los equipos que se encuentren conectados a este sistema contra sobrecorrientes ocurridas debajo de esta protección, este dispositivo se activa cuando el flujo de corriente eléctrica sobrepasa su valor de corriente de fusión en un determinado tiempo, es importante mencionar que a este tipo de dispositivo se le conoce como fusible eléctrico, ya que existe el fusible térmico cuya operación se basa en el exceso de temperatura, este tipo de

fusibles interrumpen el circuito cuando la temperatura ambiental excede los límites de temperatura soportada por el dispositivo (34).

#### **2.2.5.4. Relés**

Estos dispositivos responden de forma automática ante condiciones anormales que se presentan en el sistema eléctrico, como por ejemplo, la alteración de voltaje, corriente, factor de potencia y frecuencia, su funcionamiento es fácil de comprender, ya que estos dispositivos se mantienen inactivos mientras no ocurra ninguna falla, pero al generarse una falla, el relé determina y selecciona el comportamiento que debe adoptar para enviar una señal de apertura al contactor o interruptor para aislar el circuito donde se generó esta falla, todo lo mencionado es parte del comportamiento de un relé de primera línea de protección, pero también se puede tener un relé de respaldo el cual se activa solo cuando el relé primario no se activa durante una falla, pero hay que tener en cuenta que este relé es más lento en acción que primario (35).

#### **2.2.6. Coordinación de protección**

Se basa en definir los tiempos de operación de los equipos de protección teniendo en cuenta la seguridad, sensibilización, rapidez, selectividad y confiabilidad del dispositivo, de esta manera, permitir la actuación debidamente priorizada de los relés de protección; la finalidad de tener una buena coordinación de protección es mantener un sistema eléctrico ininterrumpido y eficiente.

### **2.3. Definición de términos básicos**

**Tensión:** es el elemento impulsor de la corriente y se mide en volts (V) (36).

**Corriente:** es flujo que circula por un conductor y se mide en amperes (A) (37).

**Cortocircuito:** es la pérdida de resistencia de un circuito, en otras palabras, es una elevación brusca de la intensidad de corriente (37).

**Corriente alterna:** es la energía eléctrica utilizada por los motores industriales (37).

**Corriente trifásica:** es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia (37).

**Corriente monofásica:** es un sistema de distribución de corriente en el que la electricidad "viaja" por un solo conductor hasta el punto de alimentación (37).

**Conductor eléctrico:** es el material que ofrece poca resistencia al movimiento de una carga eléctrica que pase por él (37).

**Fricción:** se produce al frotar 2 materiales y uno de los objetos gana electrones y el otro los pierde (36).

**Ley de Coulomb:** expresa que dos cargas puntuales se atraen o se repelen con una fuerza directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa (36).

**Campo eléctrico:** cualquier carga eléctrica que se ejerce en el espacio que la rodea, fuerzas de atracción o repulsión sobre otras cargas (36).

**Ley de Gauss:** es el flujo eléctrico a través de una superficie cerrada igual a la carga neta situada en el interior, dividida por la constante dieléctrica del medio (36).

**Magnetismo:** se produce en un conductor cuando este se mueve a través de un campo magnético o un campo magnético se mueve a través del conductor, de tal manera que el conductor corte las líneas de campo magnético (36).

**Ley de Oersted-Ampere:** se establece que un conductor que lleva una corriente eléctrica produce un campo magnético alrededor de él, de esta forma se

relaciona una cualidad eléctrica (corriente) con una magnética (campo magnético) (36).

**Regla de la mano derecha:** permite determinar el sentido del campo magnético, según esta regla al colocar el dedo pulgar en la dirección de la corriente eléctrica, el sentido en que se enrollan los demás dedos indicará el sentido del campo magnético (36).

**Reluctancia magnética:** es la oposición al flujo magnético que presenta un material, se denomina reluctancia, mientras menor sea la reluctancia que presente el material, mayor será el flujo magnético que se genere (36).

**Fuerza electromotriz:** es la fuerza que obliga a los electrones a moverse (dentro del generador), y que tiene por efecto producir una tensión eléctrica (36).

**Potencial eléctrico:** se define por potencial eléctrico al trabajo necesario para trasladar la unidad de carga eléctrica positiva desde el infinito hasta un punto (36).

**Diferencia de potencial:** se define por diferencia de potencial entre dos puntos al trabajo necesario para que la unidad de carga se traslade de un punto a otro (36).

**Potencia:** se define al proceso donde todos los valores instantáneos de tensión e intensidad se multiplican entre sí para hallar los valores instantáneos de potencia (36).

**Circuito:** es una red con al menos un camino cerrado (36).

**Corriente de rama:** es la corriente neta en una rama (36).

**Voltaje de rama:** es la caída de voltaje entre los nodos de una rama (36).

**Corriente de malla:** es la corriente ficticia que se ha definido para una malla. La suma algebraica de las corrientes de malla que pasan por la rama da como resultado la corriente de rama (36).

**Conexión serie:** conexión de elementos en la cual la corriente es la misma en todos los elementos. Esto se tiene al conectar el fin de un nodo de una rama con el nodo de inicio de la siguiente rama de la secuencia (36).

**Conexión en paralelo:** conexión de elementos entre dos nodos comunes (nodo superior con nodo superior y nodo inferior con nodo inferior) en la cual el voltaje es el mismo en todos los elementos (36).

**Secuencia de nodos cerrada:** es una secuencia de nodos finita que comienza y termina en el mismo nodo. Aquí no se requiere que haya una rama entre los nodos (36).

**Circuito conectado:** es aquel en el cual cada nodo puede ser alcanzado desde otro nodo por un camino a través de los elementos del circuito (36).

## **CAPÍTULO III**

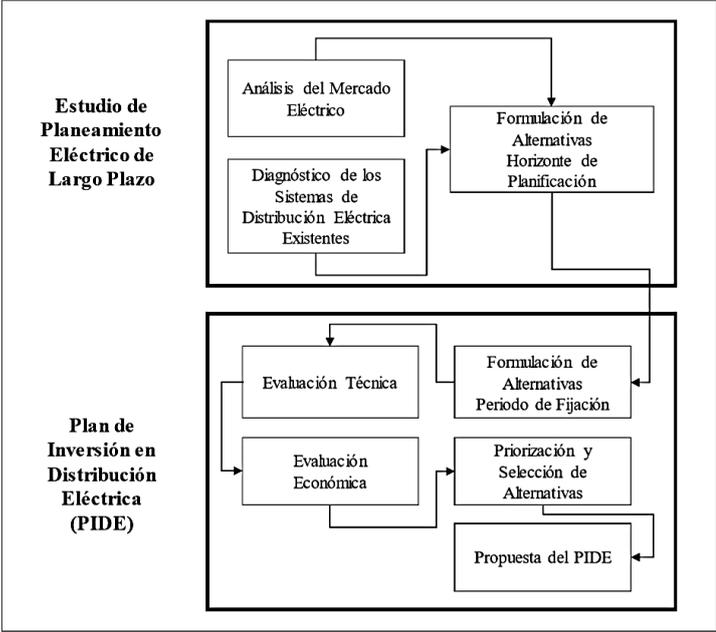
### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Diagnóstico de la situación actual**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

La presente investigación en Ingeniería Eléctrica es del tipo de investigación tecnológica, ya que se desarrolla con la finalidad de producir una solución mediante la experimentación tecnológica (simulaciones y cálculos), esta investigación tiene un nivel descriptivo – no experimental, razón por la cual el primer paso es tener un claro entendimiento de la problemática para tener un conocimiento claro de las causas para así provocar cambios que den solución a la problemática en estudio, al ser esta una investigación de diseño no experimental y teniendo la necesidad de evaluar la utilidad de la solución bajo algunas técnicas, métodos o instrumentos se aplicaron criterios basados en la determinación de calidad y eficiencia energética bajo la simulación de flujos de carga.

Esta investigación se sustenta en metodologías específicas de la Ingeniería Eléctrica donde se adoptó la metodología del plan de inversión en distribución eléctrica (PIDE).



**Figura 2. Desarrollo general del estudio. Tomada de la plataforma digital única del Estado peruano**

### 3.1.2. Operacionalización de variables

Tabla 4. Operacionalización de variables

Operacionalización de variables				
<b>Título</b>	Planificación del sistema eléctrico de la planta de beneficios Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central			
<b>Problema</b>	¿Cómo planificar el sistema eléctrico de la planta de beneficios Challhuapozo de la compañía minera Sierra Central?			
<b>Variables</b>	<b>Independiente</b> Planificación del sistema eléctrico		<b>Dependiente</b> Calidad y eficiencia de los servicios eléctricos	
<b>Definición conceptual</b>	La planificación del sistema eléctrico busca definir una estrategia de costos mínimos para atender la carga pronosticada, en base al cumplimiento de las condiciones técnicas, económicas y políticas.		La calidad de la energía (Power Quality): se hace referencia tanto a la calidad de las señales de tensión y corriente, como a la continuidad o confiabilidad del servicio de energía eléctrica. La eficiencia energética busca proteger el medio ambiente mediante la reducción de la intensidad energética y habituando al usuario a consumir lo necesario.	
<b>Definición operacional</b>	Variable que expresa las características del planeamiento del sistema eléctrico.		Variables que expresan los límites de los parámetros técnicos de los servicios eléctricos.	
<b>Variable Independiente</b>	<b>Planificación del sistema eléctrico</b>			
<b>Dimensiones o subvariables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Instrumento</b>
Sistema de protección	Cantidad	Unidades	Numérico	Documental
Sistema de iluminación	Potencia	W	Numérico	Documental
Redes de baja tensión	Kilómetros	km	Numérico	Metro
Motores eléctricos	Potencia	kVA	Numérico	Documental
<b>Variable dependiente</b>	<b>Calidad y eficiencia de los servicios eléctricos</b>			
<b>Dimensiones o subvariables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Instrumento</b>
Pérdida de energía	Energía	kWh	Numérico	Documental
Calidad de voltaje	Tensión	V	Numérico	Analizador de red / multímetro

### **3.1.3. Metodología de planificación para la elaboración del plan de inversión en distribución eléctrica (PIDE)**

La presente norma tiene como objetivo establecer los criterios y metodología de planificación a ser utilizado en la elaboración del Plan de Inversión y Distribución Eléctrica (PIDE), esta metodología está basada en el cumplimiento de las disposiciones legales como:

- Decreto legislativo N.° 1208 que promueve el desarrollo de planes de inversión en las empresas distribuidoras.
- Decreto supremo N.° 023-2016-EM, que aprueba el reglamento del DL 1208.
- Decreto ley N.° 25844, Ley de concesiones eléctricas (LCE).
- Decreto supremo N.° 009-93-EM, que aprueba el reglamento de la LCE.
- Ley N.° 28749, Ley general de electrificación rural (LGER)

Normas técnicas aplicables a los sistemas de distribución eléctrica.

La aplicación de esta metodología tiene el objetivo de implantar los criterios y metodología de planificación a ser utilizados en la investigación, permitirá realizar un estudio de planeamiento eléctrico de largo plazo, además, permitirá contemplar los costos estándar de mantenimiento y operación y la demanda que corresponda, esta metodología tiene también como finalidad considerar el reforzamiento, ampliación, remodelación, ahorro energético, mejora de la calidad de servicio, seguridad eléctrica, seguridad de suministro, innovación tecnológica y cualquier otra medida que mejore la eficiencia de las redes de distribución.

### **3.1.4. Descripción de las instalaciones eléctricas**

#### **3.1.4.1. Especificaciones técnicas del suministro**

La planta de beneficios Challhuapozo es una instalación a campo abierto, razón por la cual utiliza postes para el soporte de las líneas de transmisión implementadas, también cuenta con un

punto de entrega de energía ubicada dentro de las instalaciones de la planta, la cual cuenta con los siguientes equipos y materiales:

#### **a. Poste de concreto armado**

Para el soporte del tablero general y del transformador instalado por Electrocentro dentro de la planta se utiliza un poste de concreto, la característica de este poste es como sigue:

**Tabla 5. Características del poste de concreto**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Longitud	13 metros
Tipo	Centrifugado
Esfuerzo en punta	500 kg
Diámetro de la punta	165 mm
Diámetro de la base	360 mm
Peso	2000 kg
Longitud de empotramiento	1.3 metros

#### **b. Seccionadores de fusible de expulsión (*cut out*)**

En la planta se cuenta con este dispositivo para proteger las instalaciones contra la sobreintensidad de cortocircuito que pueden ser originados por averías dentro de la red "generadas aguas abajo" del seccionador, las características de este dispositivo son:

**Tabla 6. Característica de seccionadores**

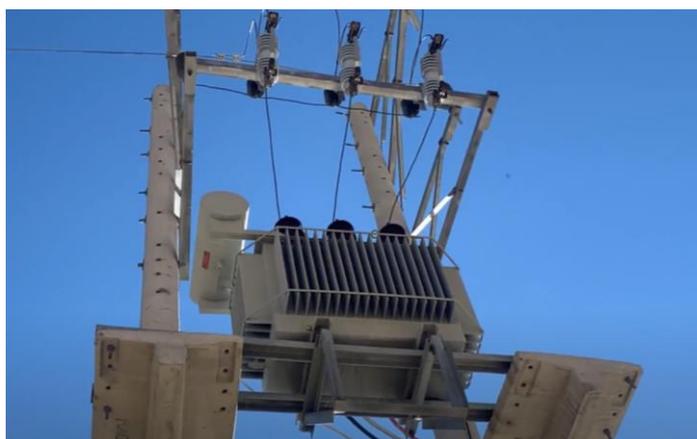
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Tipo	K
Expulsión	7 A
Tensión de operación	13.2 kV
Corriente de fusible	7 A

#### **c. Transformador de distribución**

En la planta se cuenta con un transformador de distribución marca CEA (Compañía Electro Andina), tiene un peso de 850 kg, clase de aislamiento "A", las características principales del transformador son las siguientes:

**Tabla 7. Característica de transformador**

Característica	Valor
Tipo	Trifásico
Potencia	200 kVA
Tipo de conexión	DYn5
Frecuencia nominal	60 Hz
Tensión nominal primaria	13.2+-2x2,5 % kV
Tensión nominal secundaria	0.40- 0.23 / 0.38 kV
Número de bornes en el primario	3
Número de bornes en el secundario	3
Número de taps en el primario	5
Tipo de montaje	Exterior
Tipo de enfriamiento	ONAN
Altitud de operación	3600 m s. n. m.
Pérdidas totales	1840 W
Tensión de cortocircuito	4.0 %



**Figura 3. Transformador 200 kVA**

#### **d. Tablero eléctrico general**

En la planta se cuenta con un tablero principal que está equipado con distintos dispositivos de protección a los alimentadores, permitiendo bloquear la tensión sobre el consumo general y fraccionada por cada troncal conectada, a continuación, se detallan las características del tablero general:

**Tabla 8. Características de tablero eléctrico general**

Característica	Valor
Tipo de conductor	NYY de 3 x 50 mm <sup>2</sup>
Tipo de tablero	Barbotante
Interruptor principal	200 A
Tipo de salida de interruptor	Barras de cobre
Interruptor secundario 1	100 A
Interruptor secundario 2	80 A
Interruptor secundario 3	50 A
Interruptor secundario 4	30 A



**Figura 4. Tablero eléctrico general**

### 3.1.4.2. Especificaciones técnicas del equipo de medición

La planta de beneficios cuenta con un transformador de medición de tensión y corriente (Trafomix), la conexión hacia la línea está realizada a través del *bushing* primario, este transformador cuenta con las siguientes características:

**Tabla 9. Especificaciones técnicas del equipo de medición**

<b>Especificación técnica</b>	<b>Valor</b>
Tipo	TIPCOE - 117 Exterior
Clase de aislamiento	Ao.
Altitud de operación	3600 m s. n. m.
Frecuencia	60 Hz
Conexión	Lio
Precisión	0.2
Refrigeración	ONAN
Potencia	3 x 50 kVA
Relación de transformación	1320/220 V
Potencia	3 x 30 VA
Relación de transformación	8.5/5 A
Medidor de energía eléctrica multifunción	clase 0.5
Tensión entrega	3 x 220 / 3800
intensidad de corriente	5 (10) A
Tipo conexionado	4 hilos



*Figura 5. Trafomix CEA 10/5A*

### **3.1.4.3. Caracterización de cargas**

La planta de beneficio Challhuapozo cuenta con diversas cargas las cuales se clasifican por tipos, como se detalla a continuación:

#### **a. Motores de inducción**

Existen motores de inducción trifásicos de alta potencia, accionados por tableros de arranque directo y estrella triángulo, en la planta son usados para distribución de agua, para generar vibración en las máquinas cribas, para expulsión de lodo en el hidrociclón, el cuadro de cargas de motores se detalla a continuación:

**Tabla 10. Cargas de motores**

Equipos	Cant.	Potencia	Voltaje	FP
Motor 3φ vibradora criba lineal	2	1.5 HP	380 VAC	0,8
Motor 3φ vibradora de hidrociclón	2	0.75 HP	380 VAC	0,8
Motor 3φ de mando 9	1	3 HP	380 VAC	0,8
Motor 3φ de fuerza	2	15 HP	380 VAC	0,8
Motor 3φ de hidrociclón	1	15 HP	380 VAC	0,8

**b. Electrobombas**

En la planta se utilizan las electrobombas para el abastecimiento de agua en todas sus líneas de lavado, son accionadas por arranques directos e interruptores termomagnéticos, están ubicadas en pequeñas lagunas artificiales, la planta cuenta con las siguientes electrobombas:

**Tabla 11. Cargas de electrobombas**

Equipos	Cant.	Potencia	Voltaje	FP
Electrobomba 3φ de mando	9	3 HP	380 VAC	0,8
Electrobomba 3φ máquina criba lineal	1	5.5 HP	380 VAC	0,8
Electrobomba 3φ máquina criba circular	1	5.5 HP	380 VAC	0,8
Electrobomba 1φ para desinfección	1	0.5 HP	220 VAC	0,85

**c. Iluminación**

La iluminación de la planta se maneja bajo el esquema de alumbrado público, están fijados de manera irregular con alambres y cuñas al poste, se accionan por un interruptor simple, se energiza de la línea R y el neutro, se cuenta con las siguientes lámparas:

**Tabla 12. Cargas de iluminación**

Equipos	Cant.	Potencia	Voltaje	FP
Lámparas de vapor de sodio de alta presión	5	80 W	220 VAC	0,6
Lámparas de vapor de mercurio	3	80 W	220 VAC	0,6
Lámparas de halogenuros metálicos	2	32 W	220 VAC	0,9

**d. Cuadro de cargas adicionales**

La planta cuenta con ambientes para el funcionamiento de oficinas, comedor, almacén, caseta de seguridad, se adicionó por tema de pandemia una cámara de desinfección, etc. Para la alimentación monofásica de estos ambientes se usó la línea S y neutro, generando el siguiente grupo de cargas:

**Tabla 13. Cuadro de cargas adicionales**

Equipos	Cant.	Potencia	Voltaje	FP
Computadoras	2	300 W	220 VAC	0,9
Portátiles	1	450 W	220 VAC	0,8
Equipos de comunicación	3	15 W	220 VAC	0,8
Fluorescentes	3	32 W	220 VAC	0,8
Cámara de desinfección (electrobomba)	1	180 W	220 VAC	0,8

### 3.1.4.4. Especificación de conductores

Actualmente, se cuenta con dos troncales para la distribución de la energía eléctrica dentro de la planta, además de dos conductores que se usan para el alumbrado público, como en la actualidad se vive en un momento de pandemia, la producción se ha reducido, por lo que solo se encuentra en funcionamiento una de las troncales, pero en esta investigación se analizan ambas.

#### a. Troncal 1

En esta troncal se utilizó el cable autoportante de aluminio, ya que era el único conductor con el que se contaba y sobre este conductor se realizaron todas las instalaciones de los equipos, las características se detallan a continuación:

**Tabla 14. Especificaciones de conductores, troncal 1**

Características	Detalle
Tipo de cable	Autoportante de aluminio
Calibre	25 mm <sup>2</sup>
Distancia instalada	160 m
Cantidad de líneas	4
Especificación	3 x 25 mm <sup>2</sup> + 1 x 25 mm <sup>2</sup>

#### b. Troncal 2

Esta línea se implementó posteriormente en función de la compra de máquinas vibratorias, hidrociclón, el conductor utilizado es de cobre y sus características se detallan a continuación:

**Tabla 15. Especificaciones de conductores, troncal 2**

Características	Detalle
Tipo de cable	Conductor de cobre
Calibre	25 mm <sup>2</sup>
Distancia instalada	70 m
Cantidad de líneas	3
Especificación	NY 3 x 1 x 25 mm <sup>2</sup>

### c. Línea de alumbrado público

Esta línea es el retorno de neutro para cada alumbrado público ubicado en todos los postes de la planta, se encuentra conectado a la línea R y el neutro llega de un interruptor simple ubicado en las oficinas, sus características se detallan a continuación:

**Tabla 16. Especificaciones de conductores de alumbrado público**

Características	Detalle
Tipo de cable	Autoportante de aluminio
Calibre	16 mm <sup>2</sup>
Distancia instalada	160 m
Cantidad de líneas	2
Especificación	1 x 16 mm <sup>2</sup> + 1 x 16 mm <sup>2</sup>

### 3.1.4.5. Detalle de distribución de equipamientos

#### a. Cuadro de distribución cabina 1

La conexión llega hacia la cabina de control 1 mediante un empalme de derivación de la troncal 1, esta cabina no cuenta con interruptor principal y por esta razón llega de forma directa hacia los tableros de arranque de los equipos, se le llamó cabina de control 1 porque está más cerca al transformador y así lo denominó el técnico que laboraba ahí.

**Tabla 17. Detalle de distribución de equipamientos, cabina 1**

Equipos	Tablero principal a cabina		Cabina a equipo	
	Distancia	Conductor	Distancia	Conductor
Electrobomba de mando (1, 2, 3, 4, 5 y 6) de 380 VAC	30 m	Autoportante de aluminio (3 x 25 mm <sup>2</sup> + 1 x 25 mm <sup>2</sup> )	10 m	Autoportante de aluminio (3 x 16 mm <sup>2</sup> + 1 x 16 mm <sup>2</sup> )
Electrobomba de máquina criba lineal	30 m	Autoportante de aluminio (3 x 25 mm <sup>2</sup> + 1 x 25 mm <sup>2</sup> )	5 m	Autoportante de aluminio (3 x 16 mm <sup>2</sup> + 1 x 16 mm <sup>2</sup> )
Electrobomba de máquina criba circular	30 m	Autoportante de aluminio (3 x 25 mm <sup>2</sup> + 1 x 25 mm <sup>2</sup> )	5 m	Autoportante de aluminio (3 x 16 mm <sup>2</sup> + 1 x 16 mm <sup>2</sup> )
Electrobomba de mando (7 y 8) de 380 VAC	30 m	Autoportante de aluminio (3 x 25 mm <sup>2</sup> + 1 x 25 mm <sup>2</sup> )	15 m	NLT de 3 x 10 AWG

## b. Cuadro de distribución, cabina 2

La conexión llega hacia la cabina de control 2 mediante un empalme de derivación de la troncal 2, esta cabina cuenta con un interruptor principal (ITM) de 50 A y desde esta se realizan las derivaciones hacia cada tablero de arranque de los equipos:

**Tabla 18. Detalle de distribución de equipamientos, cabina 2**

Equipos	Tablero principal a cabina		Cabina a equipo	
	Distancia	Conductor	Distancia	Conductor
Motor de vibración criba lineal 1 y 2	70 m	NYN 3 x 1 x 25 mm <sup>2</sup>	10 m	Autoportante de aluminio (3 x 16 mm <sup>2</sup> + 1 x 16 mm <sup>2</sup> )
Motor de vibración de hidrociclón 1 y 2	70 m	NYN 3 x 1 x 25 mm <sup>2</sup>	15 m	Autoportante de aluminio (3 x 16 mm <sup>2</sup> + 1 x 16 mm <sup>2</sup> )
Motor de fuerza de hidrociclón 1	70 m	NYN 3 x 1 x 25 mm <sup>2</sup>	15 m	Autoportante de aluminio (3 x 16 mm <sup>2</sup> + 1 x 16 mm <sup>2</sup> )

## c. Cuadro de distribución, cabina 3

La conexión llega hacia la cabina de control 3 mediante un empalme de derivación de la troncal 1, esta cabina no cuenta con interruptor principal y por esta razón llega de forma directa hacia la entrada de los tableros de arranque de los equipos.

**Tabla 19. Detalle de distribución de equipamientos, cabina 3**

Equipos	Tablero principal a cabina		Cabina a equipo	
	Distancia	Conductor	Distancia	Conductor
Motor de fuerza 1 y 2	170 m	Autoportante de aluminio (3 x 25 mm <sup>2</sup> + 1 x 25 mm <sup>2</sup> )	2 m	Autoportante de aluminio (3 x 16 mm <sup>2</sup> + 1 x 16 mm <sup>2</sup> )
Electrobomba de mando 7	170 m	Autoportante de aluminio (3 x 25 mm <sup>2</sup> + 1 x 25 mm <sup>2</sup> )	2 m	Autoportante de aluminio (3 x 16 mm <sup>2</sup> + 1 x 16 mm <sup>2</sup> )

### 3.1.4.6. Protección de motores

En la planta se utilizaron relés de protección para los motores contra sobrecargas que impidan su operación, este dispositivo se puede integrar con contactores o interruptores, la

finalidad es aumentar el tiempo de vida útil de los motores, impidiendo funcionamientos en condiciones anormales, en la planta se encontró un 80 % de relés mal dimensionados y son los siguientes:

**Tabla 20. Protección de motores**

Tipo de protección	Cantidad	Equipo protegido
Relé térmico de protección regulable 16 A 25 A	12	Electrobomba 3φ de mando (1, 2, 3, 4, 5 y 6), motor 3φ vibradora criba circular (1, 2 y 3), motor 3φ de mando 9, motor 3φ de fuerza 1 y 2.
Relé térmico de protección regulable 17 A 25 A	7	Motor 3φ vibradora criba lineal 3 y 4, motor 3φ vibradora de hidrociclón 3 y 4, motor 3φ vibradora criba circular (1, 2 y 3).

### 3.1.4.7. Descripción de tableros

La planta de beneficio Challhuapozo cuenta con un tablero principal ubicado en un gabinete debajo del transformador, diecisiete tableros de arranque directo y dos arranques estrella triángulo, el cual se describe de forma detallada en los siguientes cuadros:

#### a. Tablero principal de distribución

**Tabla 21. Tablero principal de distribución**

Componentes	Detalle
Gabinete	Las medidas 200 x 1000 x 1200, hechas de acero al carbón
Barra colectora de cobre	La sección rectangular de 1/4", su resistividad en $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m es 0,0180
Interruptor principal	Marca Cutler & Hammer jd325 F 200 A, Westinghouse curva tipo C
Interruptor secundario 1	Marca Merlin Gerin NG125N In 80 A, curva tipo C
Interruptor secundario 2	Marca Chint NM1-0125S-080 3 x 80 A, curva tipo H
Interruptor secundario 3	Marca ABB A1A 125 TMF 3 x 30 A, tipo curva C

#### b. Tablero secundario

##### Arranque estrella triángulo

Los motores de 15 HP tienen este tipo de arranque y sus componentes son los siguientes:

**Tabla 22. Tablero secundario**

Componentes	Detalle
Interruptor principal trifásico	GV3 L 32 A
Interruptor secundario monofásico	TeSys DF10
Contactador principal	TeSys 3 x LC1D 40 A
Contactador estrella	TeSys 3 x LC1D 40 A
Contactador triángulo	TeSys 3 x LC1D 40 A
Relé térmico	TeSys LRD 332 reg. (17 a 25 A)
Pulsadores	Harmony XB4 Schneider 20 mm
Cable de fuerza	calibre 10 AWG
Cable de mando	calibre 14 AWG

### Arranque directo

La mayoría de los motores de 3 HP instalados en la planta se encienden con un tablero de arranque directo y sus componentes son los siguientes:

**Tabla 23. Arranque directo**

Componentes	Detalle
Interruptor principal	Trifásico de 25 A marca Chint
Contactador principal	LCD 15 marca Schneider
Relé térmico	LRD10 (16 - 25 A), marca Schneider
Pulsadores	Harmony xb4 Schneider 20 mm
Cable de fuerza y mando	Calibre 12 AWG

### 3.1.5. Diagnóstico de los equipos eléctricos

Realizar el diagnóstico de los equipos eléctricos en la planta de beneficio es de vital importancia, ya que permitirá verificar el cumplimiento de disposiciones técnicas obligatorias, conocer las condiciones de aislamiento, detectar el estado crítico actual a través de evaluaciones eléctricas (medición de tensión, corriente, etc.) y mecánicas (análisis vibracional), el diagnóstico de equipos incluye también un análisis al conductor eléctrico utilizado para su alimentación y los diagramas unifilares de conexiones.

#### 3.1.5.1. Diagramas unifilares

Al realizar el diagnóstico de la planta, se observó que no se cuenta con ningún diagrama unifilar de la instalación secundaria, la falta de estos diagramas unifilares no permitió conocer la

distribución de los equipos, tableros de distribución, los dispositivos de protección, así como tampoco saber las dimensiones de la conexión existente de los circuitos y sus derivaciones. Debido a ello, se optó por ejecutar el seguimiento de forma presencial en el soporte de cada poste, en cada tablero y en cada motor, obteniendo un bosquejo general de la instalación, la falta de estos diagramas impide la gestión, modificación o construcción de un nuevo punto de lavado del material.

### **3.1.5.2. Listado de conductores**

La planta cuenta con redes implementadas con una gran variabilidad de conductores que fueron utilizados por su disponibilidad en el momento de la instalación, los conductores no fueron instalados basándose en la demanda, por lo que el calibre no obedece a ningún cálculo y de la misma forma el tipo de conductor utilizado no obedece a ninguna norma, estos conductores al haber sido instalados por necesidad no cuentan con una codificación y mucho menos están bien definidas las líneas “R, S y T” del conductor, la cantidad usada no es la óptima, ya que los empalmes se encuentran en puntos más alejados del punto de ubicación de los tableros de distribución, la forma de tendido de los conductores es aérea, el conductor utilizado fue el autoportante y se utilizó tanto para la iluminación como para alimentación de los tableros de distribución y en algunos motores se utilizó el mismo tipo de conductor desde el tablero de distribución hasta el motor, también es importante mencionar que los empalmes realizados no son los adecuados, ya que se realizaron sin el uso de terminales, con aislamiento basado en cinta aislante y expuesto a la humedad, a continuación se detallan los conductores utilizados en la instalación:

**Tabla 24. Listado de conductores**

Ítem	Cable	Calibre	Tendido	Cant.	Capacidad
1	Autoportante de aluminio CAAI	25 mm <sup>2</sup>	Aéreo	160 m	114 A
2	Conductor de cobre NYY 3 x 1	25 mm <sup>2</sup>	Aéreo	70 m	131 A
3	Autoportante de aluminio CAAI	16 mm <sup>2</sup>	Aéreo	210 m	85 A

**Tabla 25. Corrientes permisibles para cada troncal**

Nombres	Sección del conductor	Capacidad de corriente	
		70°	90°
Troncal 1	25 mm <sup>2</sup>	133 A	150 A
Troncal 2	25 mm <sup>2</sup>	140 A	160 A
Derivaciones	16 mm <sup>2</sup>	100 A	115A
Oficinas	4 mm <sup>2</sup>	35 A	46 A
Alumbrado	6 mm <sup>2</sup>	50 A	60 A

Como se puede observar, se utilizó para toda la instalación básicamente el cable autoportante de aluminio, tanto para las troncales y para la distribución hacia los equipos.

### 3.1.5.3. Etiqueta de identificación de los dispositivos o equipos

Al realizar el diagnóstico de la planta se observa que no cuenta con un sistema de etiquetado para ninguno de los equipos, conductores y tableros, la falta de estas etiquetas genera un gran inconveniente al momento de intervenir un equipo, ya que para un correcto bloqueo deben identificarse los circuitos, así como los equipos para evitar accidentes de trabajo, como se sabe, una de las causas de los accidentes en el sector industrial esta generada por el no bloqueo de las equipos antes de empezar a trabajar y también por la energización de circuitos no bloqueados, estos incidentes son habituales en sistemas eléctricos no bien planificados y que no cuentan con un sistema de identificación adecuado.

### 3.1.5.4. Estado de aislamiento de los dispositivos o equipos

En la planta se cuenta con diversos equipos que básicamente son motores a los cuales es importante analizar el estado de aislamiento de cada uno de ellos, como se sabe el aislamiento de los equipos está diseñado para soportar durante

todo el tiempo de su vida útil, la degradación del aislamiento en estos equipos es un indicador de que se está acortando su vida útil, el cual puede ser ocasionado por condiciones anormales en el sistema o simplemente porque el tiempo de vida está llegando a su final, si la degradación no está relacionada, con el tiempo se deben evaluar las siguientes causas para determinar la operatividad del equipo:

**a. Evaluar el sobrevoltaje o subvoltaje que genera el agrietamiento o delaminación del motor**

**Tabla 26. Sobrevoltaje o subvoltaje**

Ítem	Equipamiento o dispositivo	Tensión		
		R-S (V)	R-T (V)	S-T (V)
1	Electrobomba de mando 1	369,0	370,0	369,0
2	Electrobomba de mando 2	365,0	363,0	364,0
3	Electrobomba de mando 3	360,0	362,0	360,0
4	Electrobomba de mando 4	363,0	364,0	361,0
5	Electrobomba criba lineal	357,0	357,0	359,0
6	Electrobomba criba circular	356,0	357,0	357,0
7	Electrobomba de mando 5	369,0	372,0	372,0
8	Electrobomba de mando 6	368,0	367,0	368,0
9	Motor criba lineal 1	368,0	367,0	369,0
10	Motor criba lineal 2	373,0	374,0	375,0
11	Motor de criba de hidrociclón 1	374,0	3371,0	373,0
12	Motor de criba de hidrociclón 2	375,0	374,0	373,0
13	Motor de fuerza de hidrociclón	372,0	370,0	371,0
14	Electrobomba de mando 7	359,0	358,0	359,0
15	Motor de fuerza 1	354,0	355,0	356,0
16	Motor de fuerza 2	354,0	353,0	353,0

Como se observa en la tabla 26 de mediciones realizadas a los distintos equipos, se empieza analizando el margen de sobretensión y caída de tensión sobre el 5 % del valor nominal, si el voltaje nominal es de 380 V el máximo voltaje permitido sería de 399 V y el mínimo permisible sería de 353 V, bajo estos parámetros se puede determinar que ninguno de los equipos presenta sobretensión, en cuanto a la caída de tensión se deduce que más de un equipo funciona por debajo del mínimo permisible con 27 V de caída de tensión, esta pone en riesgo a los equipos y

susceptibles a futuros agrietamientos en el rotor o delaminación en el núcleo del estator.



**Figura 6. Multímetro marca Fluke**

**b. Evaluar la condición mecánica, para ello revisar si cuenta con golpes, abolladuras, análisis de paradas y vibración del motor**

**Tabla 27. Análisis de condición mecánica**

Ítem	Equipamiento o dispositivo	Vibración rodamiento	
		Lado alabe	Lado libre
1	Electrobomba de mando 1	2,20	2,90
2	Electrobomba de mando 2	1,00	1,60
3	Electrobomba de mando 3	2,60	2,10
4	Electrobomba de mando 4	1,60	1,90
5	Electrobomba criba lineal	1,30	1,28
6	Electrobomba criba circular	1,30	0,9
7	Electrobomba de mando 5	0,90	2,90
8	Electrobomba de mando 6	3,00	3,10
9	Motor criba lineal 1	1,90	2,50
10	Motor criba lineal 2	0,90	1,90
11	Motor de criba de hidrociclón 1	1,50	2,50
12	Motor de criba de hidrociclón 2	2,50	2,20
13	Motor de fuerza de hidrociclón	2,20	2,30
14	Electrobomba de mando 7	0,9	1,30
15	Motor de fuerza 1	1,90	1,30
16	Motor de fuerza 2	1,20	3,10

Para este análisis de vibración se ha de basarse en la tabla de la norma ISO 10816-3 que brinda los “umbrales permisibles de vibración”, estos valores son medidos en velocidad RMS en una frecuencia de 10-1000 Hz, utilizando un vibrómetro se realizó la medición de cada uno de los motores, según la ISO 10816-3 los motores se encuentran ubicados en los siguientes grupos:

- **Grupo 3:** bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado con una potencia superior a los 15 kW.
- **Grupo 4:** bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor integrado con una potencia superior a los 15 kW.

Según la tabla se debe determinar el tipo de base de los motores, para este caso serán del tipo rígido, en función a este dato los valores permisibles son los siguientes:

- Valores permisibles de máquinas nuevas o reacondicionadas.

**Tabla 28. Valores permisibles de máquinas nuevas o reacondicionadas**

Ítem	Tipo de máquina	Grupo 4		Grupo 3	
		RMS (máx.)	RMS (mín.)	RMS (máx.)	RMS (mín.)
1	Motor integrado de base rígida	1.40	0.03		
2	Motor integrado de base flexible	2.30	0.03		
3	Motor separado de base rígida			2.30	0.03
4	Motor separado de base flexible			3.50	0.03

- Valores permisibles donde las máquinas pueden operar indefinidamente.

**Tabla 29. Valores permisibles para que las máquinas operen indefinidamente**

Ítem	Tipo de máquina	Grupo 4		Grupo 3	
		RMS (máx.)	RMS (min)	RMS (máx.)	RMS (min)
1	Motor integrado de base rígida	2.80	0.03		
2	Motor integrado de base flexible	4.50	0.03		
3	Motor separado de base rígida			4.50	0.03
4	Motor separado de base flexible			7.10	0.03

De acuerdo con estas tablas y evaluando que los motores en su mayoría son del grupo 3 y teniendo como valor máximo de vibración permitido 4.50, se debe indicar que todos los motores se encuentran por debajo de este parámetro de control.

### c. Realizar el análisis de la condición de aislamiento del motor

Para realizar el análisis de aislamiento de los motores de la planta se utilizó como base la guía IEEE 43-2013 para ensayos de resistencia de aislamiento, donde se recomienda una resistencia de aislamiento mínima de  $(n+1) M\Omega$ , siendo “n” el número de kV de la tensión de servicio, se utilizó un megóhmetro para esta operación y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 30. Condición de aislamiento de motores**

Ítem	Equipamiento o dispositivo	Aislamiento (Mega Ohm)		
		(T1, T10) (Tierra)	(T2, T11) (Tierra)	(T3, T12) (Tierra)
1	Electrobomba de mando 1	500,0	500,0	500,0
2	Electrobomba de mando 2	400,0	400,0	400,0
3	Electrobomba de mando 3	400,0	300,0	450,0
4	Electrobomba de mando 4	500,0	500,0	500,0
5	Electrobomba criba lineal	500,0	500,0	500,0
6	Electrobomba criba circular	500,0	500,0	500,0
7	Electrobomba de mando 5	500,0	500,0	500,0
8	Electrobomba de mando 6	450,0	400,0	445,0
9	Motor criba lineal 1	250,0	300,0	270,0
10	Motor criba lineal 2	350,0	400,0	350,0
11	Motor de criba de hidrociclón 1	157,6	158,1	157,2
12	Motor de criba de hidrociclón 2	490,0	500,0	500,0
13	Motor de fuerza de hidrociclón	390,0	379,0	410,0
14	Electrobomba de mando 7	370,0	371,0	367,0
15	Motor de fuerza 1	309,0	293,0	291,0
16	Motor de fuerza 2	500,0	500,0	500,0

Con base en este análisis se puede determinar que se ha generado una pérdida de aislamiento en diversos motores, pero ninguno que se aleje de los valores mínimos de aislamiento permisible.



**Figura 7. Megóhmetro marca Megabass**

### 3.1.6. Diagnóstico de la instalación eléctrica

Para realizar el diagnóstico de cómo se encuentra actualmente el sistema eléctrico de la planta de beneficios Challhuapozo se tuvo que utilizar un analizador de redes, este equipo se instaló durante 7 días con rango de medición de cada 15 minutos, como lo establece la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), el equipo utilizado es un analizador de la marca Metrel tipo MI 2892 Power Master, este analizador permite detectar anomalías de los armónicos, fasores y forma de onda.

#### a. Propiedades del instrumento

**Tabla 31. Propiedades del instrumento**

Característica	Detalle
Modelo	MI 2892
Nombre del instrumento	Power Master
Versión del hardware	8
Versión del firmware	2.0.3441
N/S	20090485
Fecha de calibración	4/3/2020 12:54:07

#### b. Características de medición del equipo Metrel 2892

- Tensión: TRMS, pico, factor de cresta (4 canales)
- Corriente: TRMS, pico, factor de cresta (4 canales)
- Potencia (activa, reactiva, aparente)
- Mediciones de potencia según IEEE 1459 (activa, no activa, fundamental, armónicos, desequilibrio de cargas)
- VFD (variadores de frecuencia, 5 Hz – 110 Hz), 400 Hz
- Desequilibrio, medición de Flicker
- Análisis de armónicos e interarmónicos hasta el armónico 50, medición de THD
- Energía (activa, reactiva, generada, consumida)
- Captura y registro de eventos en el suministro eléctrico (desconexiones, interrupciones, subidas, caídas)
- Registro de sobretensiones transitorias
- Análisis de la calidad de la energía según la norma EN 50160, IEEE 519

### c. Propiedades del registro

Tabla 32. *Propiedades del registro*

Característica	Detalle
Perfil	Estándar
Hora de inicio	4/8/2021 13:45:00.000
Hora de parada	11/8/2021 13:15:00.000
Duración	6 d 23 h 30 m 0 s
Número de intervalos	670
Duración de los intervalos	15 m 0 s
Causa del inicio	Presión de tecla
Causa de parada	Parada manual
Nombre del archivo	R0093GEN.REC
Sincronización de reloj	RTC
Versión del archivo	211

### d. Ajustes de medición

Tabla 33. *Ajustes de medición*

Característica	Detalle
Tensión nominal	220.00 V L-N
Pinza I1/2/3	A1227 (300.00 A), rango de medida de la pinza (300.00 A), Rango de medida del instrumento (100 % rango de medida de la pinza), relación de transformador de corriente: 1.00 A : 1.00 A
Pinza IN	A1257 (300.00 A), rango de medida de la pinza (300.00 A), rango de medida del instrumento (100 % rango de medida de la pinza), relación de transformador de corriente: 1.00 A : 1.00 A
Frecuencia nominal	60.00 Hz
Sinc. frecuencia	U1
Conexión	4H

### e. Ajustes de los eventos

Tabla 34. *Ajuste de eventos*

Característica	Detalle
Tensión nominal	220.00 V L-N
L-N Umbral de caídas	95.00 % (209.00 V)
L-N Histéresis de caídas	2.00 %
L-N Umbral de sobretensiones	106.00 % (233.20 V)
L-N Histéresis de sobretensiones	2.00 %
L-N Umbral de interrupciones	5.00 % (11.00 V)
L-N Histéresis de interrupciones	2.00 %

## f. Ajustes RVC

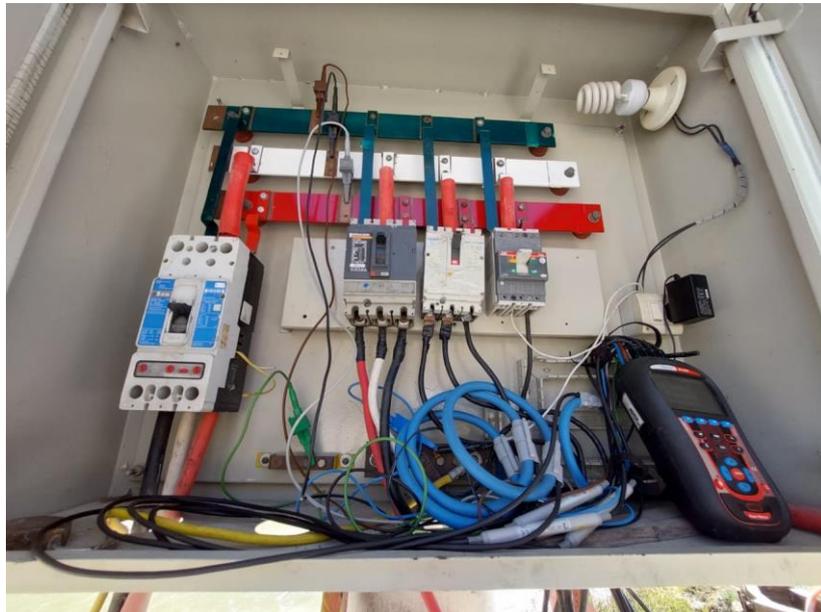
**Tabla 35. Ajuste RVC**

Característica	Detalle
Tensión nominal	220.00 V L-N
L-N Umbral RVC	3.00 % (6.60 V)
L-N Histéresis RVC	50.00 % (3.30 V)

## g. Ajustes de señalización

**Tabla 36. Ajustes de señalización**

Característica	Detalle
Tensión nominal	220.00 V L-N
Frecuencia de señalización 1	316.00 Hz
Frecuencia de señalización 2	1,060.00 Hz
Duración	10.00 s
Umbral	5.00 % (11.00 V)



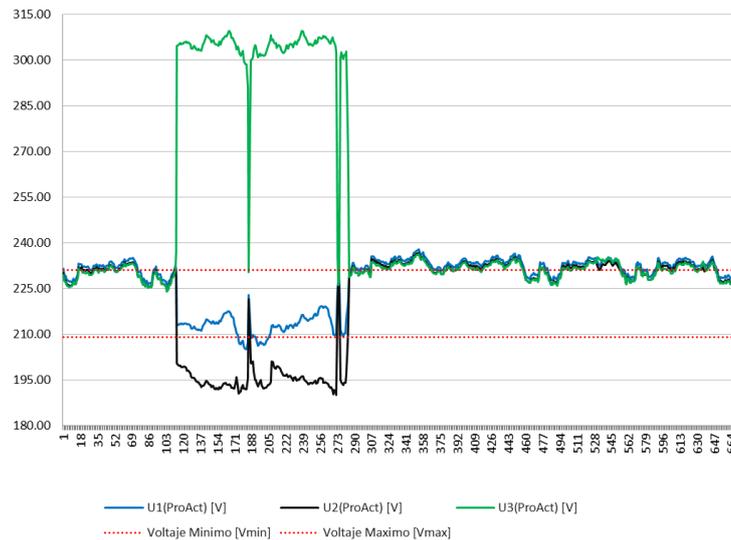
**Figura 8. Instalación de analizador de redes**



**Figura 9. Configuración de analizador de redes**

### **3.1.6.1 Análisis de la tensión**

Para realizar este análisis es importante entender que se analizan las variaciones de voltaje de corta duración que, básicamente, está comprendida por las caídas y subidas de la tensión y también las interrupciones de corta duración o instantáneas, se considera como interrupción cuando el voltaje es menor de un 10 % de la tensión nominal y por un periodo menor a 3 minutos según la “Norma técnica de calidad de servicios eléctricos”, las reducciones de voltaje como SAGS o DIPS están comprendidos entre el 10 % y 90 % de la tensión eficaz y los SWELLS son los incrementos de tensión que se encuentran entre 110 % y 180 %.

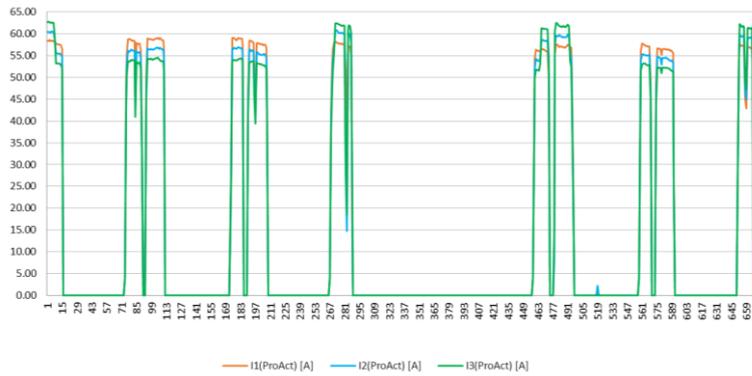


**Figura 10. Análisis de la tensión**

Se realizó el análisis de la tensión y se determinó que el voltaje se encuentra dentro de los valores permitidos, ya que como voltaje mínimo permisible llegaría a 198 V y como voltaje máximo permisible se tendría 242 V, dentro del comportamiento analizado los valores habituales indican que se está dentro de este rango, el único evento obtenido es el desbalance de la tensión en una noche en la cual tanto la planta solo operaba los ambientes de oficinas más la iluminación y no tenía grandes cargas, pero se evidenció un desbalance que finalmente se consultó a Electrocentro e indicaron que habían tenido un inconveniente en la línea.

### 3.1.6.2 Análisis de la corriente

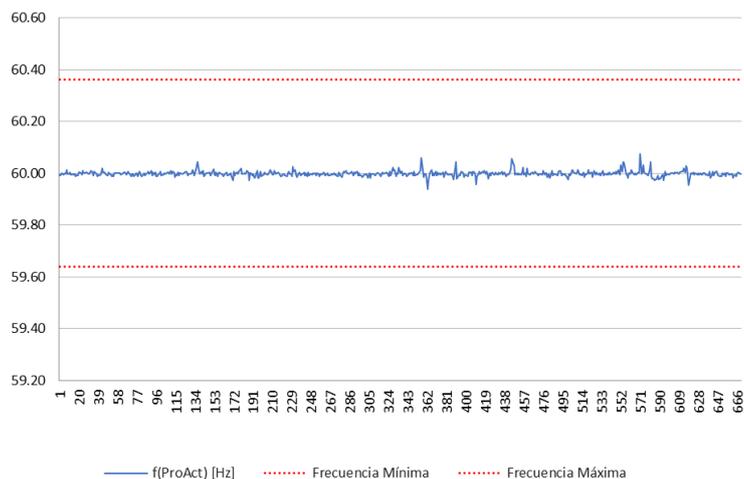
Se analizaron los datos de corriente obtenidos por cada fase del analizador para validarlo con los datos matemáticos obtenidos, llegando a la conclusión que los valores concuerdan con el amperaje requerido por la totalidad de equipos en funcionamiento, el amperaje en este tiempo de pandemia oscila en promedio los 59 A, de todo el análisis se puede determinar que, en cuanto al consumo de amperaje, existe una pequeña variación entre las tres fases y eso se debe a que el circuito de iluminación no se encuentra balanceado en función de las 3 líneas, pero que este consumo no afecta en gran medida al promedio de consumo.



**Figura 11. Análisis de la corriente**

### 3.1.6.3 Análisis de la frecuencia

Se realizó el análisis de la frecuencia entregada a la planta para evaluar si existe alguna distorsión en la forma de onda, llegando a determinar que no se encontraron evidencias de deformación en la onda senoidal de 60 Hz, según el análisis realizado la frecuencia se encuentra dentro de las tolerancias permitidas para su variación que es de un +/- 0.6 %.



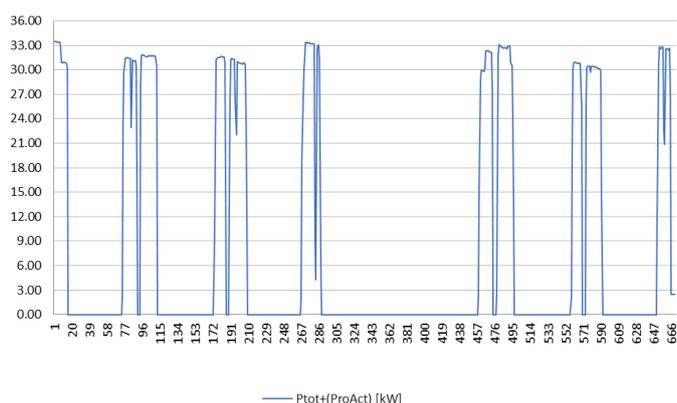
**Figura 12. Análisis de la frecuencia**

### 3.1.6.4 Análisis de la potencia y energía consumida

Se realizó el análisis de las diferentes potencias en todo el tiempo de operación y mediciones realizadas para determinar el  $\cos\phi$  de la instalación en la que se determinó que se cuenta en promedio con un valor de 0.825, lo recomendable es contar con un valor cercano a la unidad, ya que de esta manera se tendría un mejor aprovechamiento del consumo de energía.

### a. Potencia y energía activa

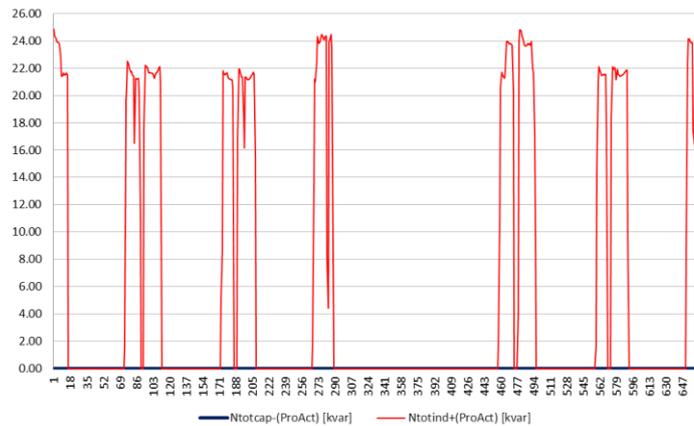
Se realizó el análisis de la potencia de energía activa para comprobar si la potencia consumida se encuentra dentro de las mediciones y facturaciones que se realizan a la empresa y se logra evidenciar que es habitual en los días de operación durante el tiempo de pandemia llegar a consumir 33 kW por día, según el análisis esta potencia se mantiene entre el horario de 8:00 a. m. hasta las 5:00 p. m. y presenta ciertas caídas durante el periodo de almuerzo entre la 1:00 a 2:00 p. m.



**Figura 13. Potencia y energía activa**

### b. Potencia y energía reactiva

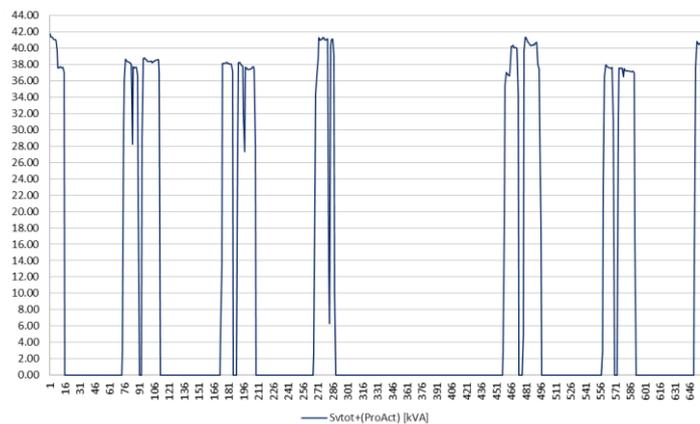
Se evidenció con el análisis que el comportamiento de la energía reactiva es muy similar al comportamiento de la energía activa, también cumple con los horarios en que la planta se encuentra operativas, las mediciones realizadas indican que se cuenta en promedio una energía reactiva de 24 kVAR, esta energía, como se sabe, es una potencia que no es consumida por la planta, ya que no produce un trabajo útil, pero son generadas por los diferentes motores existentes en la planta.



**Figura 14. Potencia y energía reactiva**

### c. Potencia y energía aparente

Se realizó el análisis de la energía aparente teniendo en cuenta la suma vectorial de la potencia reactiva y activa, como se sabe, cuanto menor sea la energía reactiva será mucho más eficiente la instalación, ya que se lograría tener una intensidad de corriente adecuada, según el análisis la potencia aparente se encuentra en promedio a 40 kVA.



**Figura 15. Potencia y energía aparente**

#### 3.1.6.5 Análisis de la distorsión armónica individual

Se realizó el análisis de los valores de tensión de armónicas de tercer orden, donde estos no sobrepasen el 5 %, el 6 % para armónicos de quinta, el 5 % en armónicos de séptima y 1.5 % en armónicas de novena, según la NTCSE.

Para esta investigación se analizaron un total de 657 mediciones en las tres fases en intervalos de 15 minutos que dan como resultado:

**a. Armónicos de tercer orden**

- Fase 1: HU\_3 máx. 2.89 %, HU\_3 mín. 0.087 %
- Fase 2: HU\_3 máx. 2.912 %, HU\_3 mín. 0.105 %
- Fase 3: HU\_3 máx. 2.426 %, HU\_3 mín. 0.023 %

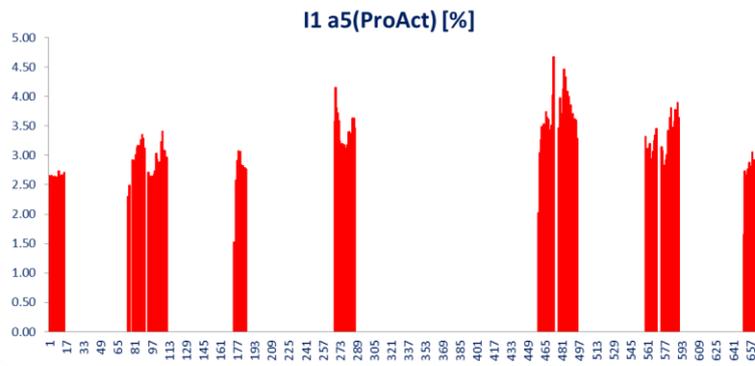
**Los valores se encuentran dentro de la tolerancia admitida del 5 %.**

**b. Armónicos de quinto orden**

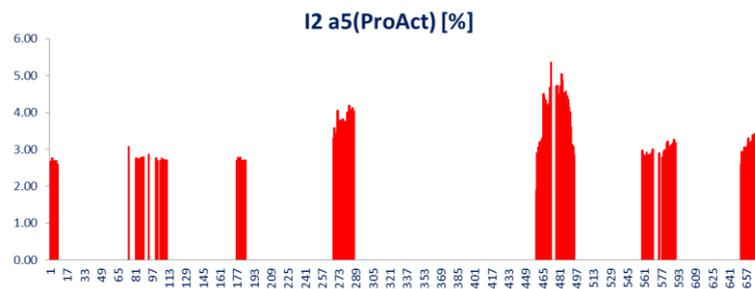
- Fase 1: HU\_5 máx. 5.648 %, HU\_5 mín. 1.26 %
- Fase 2: HU\_5 máx. 3.376 %, HU\_5 mín. 0.897 %
- Fase 3: HU\_5 máx. 3.395 %, HU\_5 mín. 0.606 %

**Los valores se encuentran dentro de la tolerancia admitida del 6 %.**

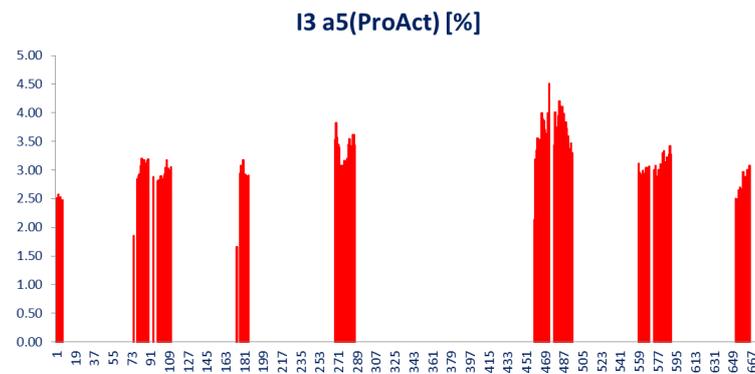
Las figuras 16, 17 y 18 reflejan el comportamiento de la quinta armónica en las tres líneas, observando un máximo de 5.648 % de presencia en la línea R, y un mínimo de 0.606 % en la línea T. La presencia de la quinta armónica tiene una secuencia negativa que indica la dirección opuesta de rotación del motor por el campo magnético generado, esto hace que giren en sentido contrario y provoquen sobrecalentamientos en los motores.



**Figura 16. Análisis de la quinta armónica de la línea R**



**Figura 17. Análisis de la quinta armónica de la línea S**



**Figura 18. Análisis de la quinta armónica de la línea T**

### c. Armónicos de séptimo orden

- Fase 1: HU\_7 máx. 3.284 %, HU\_7 mín. 0.397 %
- Fase 2: HU\_7 máx. 2.516 %, HU\_7 mín. 0.057 %
- Fase 3: HU\_7 máx. 2.277 %, HU\_7 mín. 0.411 %

Los valores se encuentran dentro de la tolerancia admitida del 5 %.

#### **d. Armónicos de noveno orden**

- Fase 1: HU\_9 máx. 0.848 %, HU\_9 mín. 0.04 %
- Fase 2: HU\_9 máx. 0.747 %, HU\_9 mín. 0.051 %
- Fase 3: HU\_9 máx. 0.855 %, HU\_9 mín. 0.045 %

**Los valores se encuentran dentro de la tolerancia admitida del 1.5 %.**

### **3.1.7. Diagnóstico de demanda actual**

#### **3.1.7.1. Descripción de la instalación**

Las instalaciones eléctricas fueron creciendo en función de la necesidad de la planta, en un inicio se tendió cable CAAI autoportante de aluminio de: 3 x 25 mm<sup>2</sup> + 1 x 25 mm<sup>2</sup> (troncal 1) en una distancia de 160 metros para la alimentación de 5 electrobombas de 3 HP, con el tiempo debido a la necesidad de producción se aumentaron 5 motores de 3 HP y 3 motores de 15 HP que, acopladas con fajas a bombas centrífugas, proporcionaban mayor cantidad de agua para el lavado de sílice, la carga inicial del sistema está de acuerdo a la información suministrada hasta la fecha por los encargados de la planta, esta información se detalla a continuación:

- Tensión nominal primaria: 13.2 kV
- Sistema adoptado: trifásico
- Frecuencia: 60 Hz
- Factor de potencia: 0.85 inductivo
- Potencia nominal del transformador 200 kVA
- Tensión nominal secundaria: 0.38 kV
- Sistema adoptado: trifásico más neutro
- Conductor de distribución secundaria: aluminio ACCI  
3 x 25 mm<sup>2</sup> + 1 x 25 mm<sup>2</sup>

La demanda es la potencia media que corresponde a un espacio de medida adoptado. La máxima demanda en una hora es la potencia media mayor que todas las potencias medias obtenidas en cada intervalo de tiempo medido en el transcurso de esa hora, la demanda máxima del día será la mayor de todas las demandas máximas conseguidas en cada una de las horas del día, la demanda máxima del mes es la mayor de las demandas máximas registradas en cada uno de los días del mes, etc.

### 3.1.7.2. Cálculo de la máxima demanda pre pandemia

La producción hasta febrero de 2020 se desarrolló a un 85 % de la capacidad de producción de la planta, hasta esta fecha se utilizaron las máquinas cernidoras, las bombas de lavado y siempre se ingresaba una o dos bombas adicionales para mantener el nivel de producción, también el ingreso de estas electrobombas adicionales se realizan en periodos de sequía, ya que los pozos únicamente son alimentados con agua del río Mantaro, esto no ocurre en periodos de lluvia, porque son parcialmente llenados por la lluvia como tal y la junta de aguas residuales acumuladas en la parte superior de los pozos, el listado de cargas y potencias en funcionamiento de este periodo se detalla a continuación:

**Tabla 37. Máxima demanda prepandemia**

<b>Equipos en planta</b>	<b>kW</b>
Alumbrado	0.6
Computadoras y equipos menores	0.25
Lavado 15 HP (2 unid.)	22.38
Electrobombas 3 HP (9 unid.)	20.14
Hidrociclón 20 HP	14.92
Máquinas cernidoras 16 HP (2 unid.)	23.872

El cálculo de la demanda se realizó considerando las cargas descritas y el resultado se puede observar en el anexo 1, la potencia consumida en el periodo de prepandemia es de 82.162 kW, y se corrobora con las facturas emitidas en el periodo de octubre, noviembre y diciembre del 2019 (anexo 12).

### 3.1.7.3. Cálculo de la máxima demanda en pandemia

La pandemia del Covid - 19 es un factor que afectó a todas las industrias reduciendo la producción a tal nivel que se vio afectado con la reducción de personal, paralización de la producción, desistimiento de contratos, todos estos factores hicieron que la planta reduzca significativamente su nivel de producción, llegando únicamente a utilizar el siguiente equipamiento:

**Tabla 38. Máxima demanda en pandemia**

Equipo instalado	Estado	kW
Alumbrado	Activo	0.6
Computadoras y equipos menores	Activo	0.25
Lavado 15 HP (2 unid.)	Activo	22.38
Electrobombas 3 HP (6 unid.)	Activo	13.41
Hidrociclón 20 HP	Parado	0
Máquinas cernidoras 16HP (2 unid.)	Parado	0

El cálculo de la demanda se realizó considerando las cargas descritas y el resultado se puede observar en el anexo 2, donde la potencia consumida en el periodo de pandemia es de 36 kW, y se corrobora con las tres últimas facturas emitidas por Electrocentro.

### 3.1.8. Diagnóstico de flujo de carga (carga actual)

#### 3.1.8.1 Caso 1: línea 1 en funcionamiento

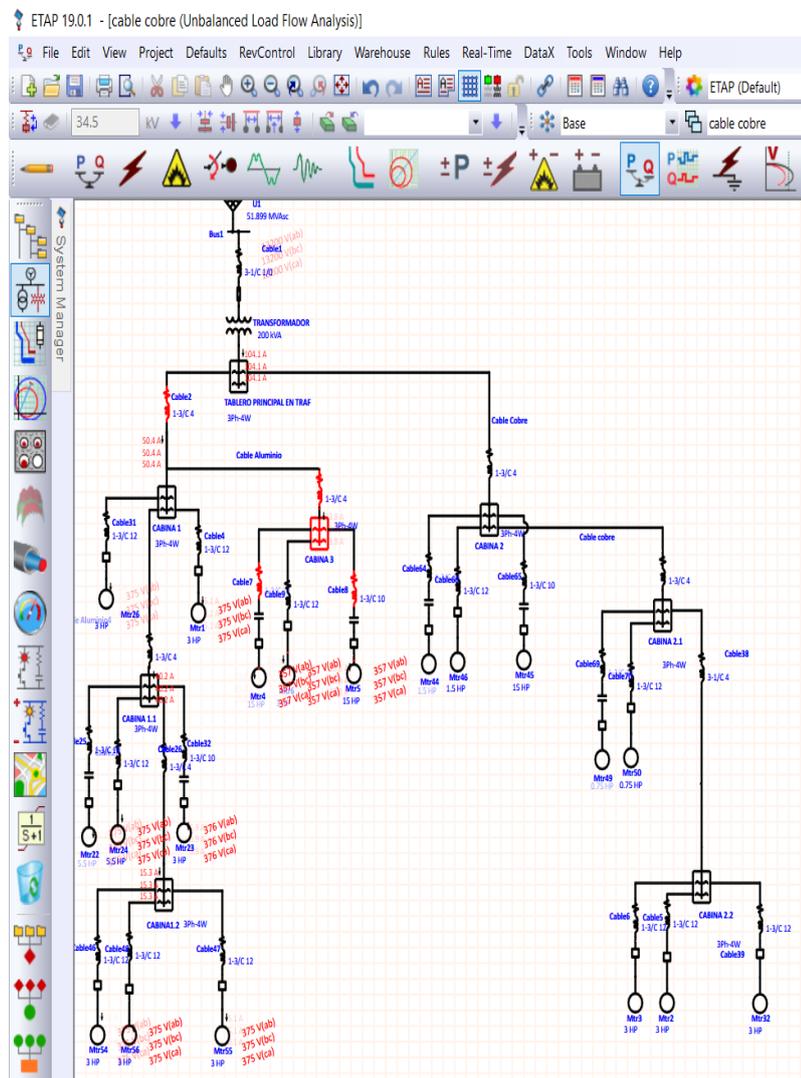
En la simulación del estado actual de la planta se insertó una alimentación en media tensión de las líneas de Electrocentro de 13.2 kV los cuales llegan a unos *cut outs* de 7A que alimentan al transformador trifásico de 200 kVA, la salida de baja tensión llega al tablero general con conductor 4Ø a una llave general de 200 A, luego se deriva a la cabina 1 una distancia de 30 metros con un conductor de aluminio de 25 mm<sup>2</sup> que es equivalente a 4 AWG se pone esta medida, ya que el simulador cuenta con sistema AWG (*American Wire Gauge*), continuando su recorrido con una distancia de 160 metros de conductor de igual calibre hasta el tablero de la cabina 3 donde se deriva para alimentar las

electrobombas de esta cabina, siendo esta instalación que estuvo en funcionamiento durante la pandemia.

**Tabla 39. Línea 1 en funcionamiento**

Motor	Voltaje (V)	Potencia (kW)	Corriente (A)
Motores de 3 HP	375	3.3	6.1
Motores de 15 HP	354	14.7	23.7
Motores de 5.5 HP	372	6.6	10.4

Con la puesta en marcha de la simulación de la línea 1, se obtuvo una tensión de 354 V en el motor de 15 HP de la cabina 3, mostrando una caída de tensión de 26 voltios el cual está fuera de rango, ya que para las instalaciones en líneas BT no debería superar el  $\pm 5\%$  (19 V), siendo 361 V el voltaje mínimo deseado.



**Figura 19. Línea 1 en funcionamiento**

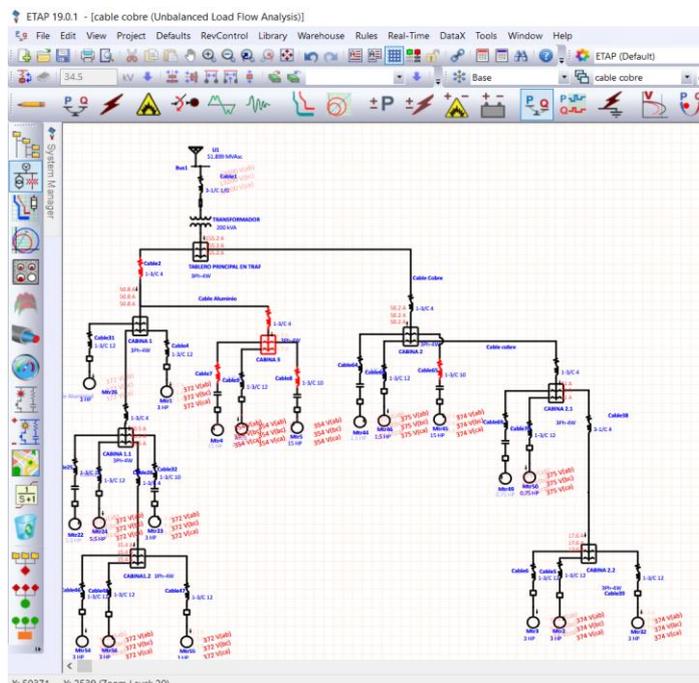
### 3.1.8.2 Caso 2: líneas 1 y 2 en funcionamiento

En el tablero general de 200 A, aparte de la línea 1 se implementó una segunda línea con cable de cobre NYY de 25 mm<sup>2</sup> que alimenta a la cabina 2 con una distancia de 70 metros, en la simulación se colocaron las cargas por cada equipo, siendo un total de 19.46 HP, se tiene presente que antes de la pandemia el caso de las dos líneas de funcionamiento era real.

**Tabla 40. Línea 1 y 2 en funcionamiento**

Motor	Voltaje (V)	Potencia (kW)	Corriente (A)
Motores de 3 HP	375	3.3	6.1
Motores de 15 HP – C4	352	14.7	23.7
Motores de 5.5 HP	365	6.6	10.4
Motores de 1.5 HP	365	3.3	5.2
Motores de 15 HP	365	3.3	5.2

Cuando se ponen en funcionamiento las dos líneas en la simulación, se observa una tensión de 354 V en el motor de 15 HP de la cabina 3 con una caída de tensión de 26 V, manteniéndose fuera de rango, por otro lado, se observa que el voltaje en la cabina 2 es de 374 V, dando por entender que el conductor de cobre es más eficiente respecto al conductor de aluminio.



**Figura 20. Líneas 1 y 2 en funcionamiento**

## 3.2. Planificación del sistema eléctrico con expansión

### 3.2.1. Estudio de la carga futura

Para realizar la planificación del sistema eléctrico, se debe tener en cuenta la ampliación de una nueva zona de lavado, es por lo que se deben especificar los equipos proyectados que van a ingresar como carga adicional en la planta, para ello se empiezan detallando sus características esenciales:

**Tabla 41. Equipos proyectados para carga futura**

Equipo proyectado	Potencia	Estado
Electrobomba 3Ø, 380 VAC, 60 Hz, 4" de succión y descarga, Qmáx.: 250 L/mín., Hmáx.: 39 m	4.1 kW	Nueva línea
Electrobomba 3Ø, 380 VAC, 60 Hz, 4" de succión y descarga, Qmáx.: 250 L/mín., Hmáx.: 39 m	4.1 kW	Nueva línea
Electrobomba 3Ø, 380 VAC, 60 Hz, 4" de succión y descarga, Qmáx.: 250 L/mín., Hmáx.: 39 m	4.1 kW	Nueva línea
Criba lineal 1 accionado por motores vibradores 3Ø, 380 VAC	2.2 kW	Nueva línea
Faja transportadora accionada por motor de inducción 3Ø, 380 VAC	2.2 kW	Nueva línea
Tanque agitador accionado por motor de transmisión directa de velocidad variable 3Ø, 380 VAC	7.4 kW	Nueva línea
Zaranda de alta frecuencia accionada por motor de 3Ø, 380 VAC, 60 Hz, 1800 RPM	2.2 kW	Nueva línea
Zaranda de alta frecuencia accionada por motor de 3Ø, 380 VAC, 60 Hz, 1800 RPM	2.2 kW	Nueva línea

### 3.2.2. Codificación de los dispositivos eléctricos

El proceso de asignar una codificación a los equipos se lleva con la finalidad de brindarles un nombre, detallar su ubicación y características, el resultado esperado es tener un mejor control y conocimiento de toda la información técnica, costo, estado de operación, etc.

#### 3.2.2.1. Estructura de la codificación

Definir la estructura de la codificación básicamente está orientada al proceso de la planificación del mantenimiento de equipos, para estandarizar una codificación se debe evaluar el software de control y gestión con el que cuenta la compañía minera Sierra Central, habiendo realizado el análisis correspondiente se determina que la codificación debe obedecer al formato de

codificación del módulo PM “*Plant Maintenance*” del sistema SAP “*Systems, Applications, Products in Data Processing*”, este sistema permite definir la estructura de codificación de forma jerárquica o también se puede definir bajo los criterios de funcionalidad, ubicación, relación de proceso, toda esta información es definida para saber con exactitud la ubicación de un equipo y poder definir si corresponde con la unidad de producción o el área de instalación.

Como va a seguir la estructura del módulo de mantenimiento del software SAP se debe seguir el orden de codificación que consta de 5 niveles, cada nivel de esta codificación ofrece información específica de la ubicación de un determinado equipo, a continuación, se detalla cada nivel de codificación:

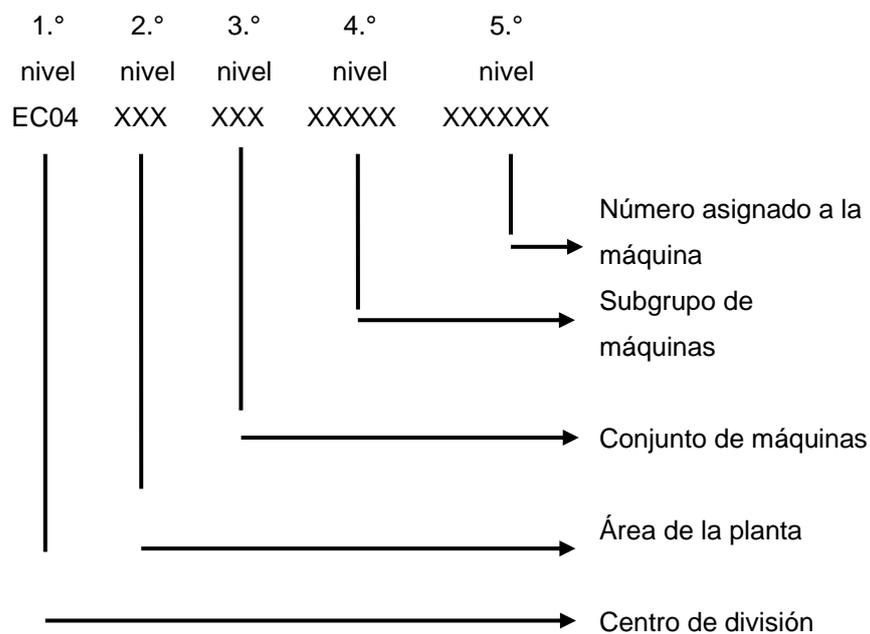
- El primer nivel está conformado por cuatro caracteres que describen el tipo de planta y de empresa, y el código de planta, a todo este conjunto se le conoce como el centro de división.
- El segundo nivel indica el código del área definida para la planta a la que pertenece el equipo.

**Tabla 42. Numeración de áreas para la planta Challhuapozo**

005	Área de administración
025	Área de servicios comunes
045	Área bombeo de la planta
016	Área de seguridad
072	Área de lavado

- El tercer nivel permite definir grupos, zonas o espacios que agrupan a diversas máquinas instaladas dentro de un área.
- El cuarto nivel permite identificar subgrupos dentro de los grupos definidos en el tercer nivel.
- El quinto nivel permite asignarle la identificación adecuada a cada equipo que pertenezca al cuarto nivel.

Bajo estos niveles se llega a definir la codificación de los equipos de la siguiente forma:



**Figura 21. Codificación de equipos**

### 3.2.2.2. Cabina de control 1

**Tabla 43. Cabina de control 1**

Equipo	Codificación	Potencia	Estado
Electrobomba de mando 1	EC04-072-C01-EBM-001	2.2 kW	Parado
Electrobomba de mando 2	EC04-072-C01-EBM-002	2.2 kW	Parado
Electrobomba de mando 3	EC04-072-C01-EBM-003	2.2 kW	Parado
Electrobomba de mando 4	EC04-072-C01-EBM-004	2.2 kW	Parado
Electrobomba criba lineal	EC04-072-C01-ECL-001	4.1 kW	Operando
Electrobomba criba circular	EC04-072-C01-ECC-001	4.1 kW	Parado
Electrobomba de mando 5	EC04-072-C01-EBM-005	2.2 kW	Operando
Electrobomba de mando 6	EC04-072-C01-EBM-006	2.2 kW	Operando



**Figura 22. Ubicación de motores de cabina 1**

### 3.2.2.3. Cabina de control 2

**Tabla 44. Cabina de control 2**

Equipo	Codificación	Potencia	Estado
Motor criba lineal 1	EC04-072-C02-MCL-001	1.1 kW	Parado
Motor criba lineal 2	EC04-072-C02-MCL-002	1.1 kW	Parado
Motor de criba de hidrociclón 1	EC04-072-C02-MCH-001	0.55 kW	Parado
Motor de criba de hidrociclón 2	EC04-072-C02-MCH-002	0.55 kW	Parado
Motor de fuerza de hidrociclón	EC04-072-C02-MFH-001	11.2 kW	Parado



**Figura 23. Ubicación de motores de cabina 2**

### 3.2.2.4. Cabina de control 3

**Tabla 45. Cabina de control 3**

Equipo	Codificación	Potencia	Estado
Electrobomba de mando 7	EC04-072-C03-EBM-001	2.2 kW	Operando
Motor de fuerza 1	EC04-072-C03-MF-001	11.2 kW	Operando
Motor de fuerza 2	EC04-072-C03-MF-002	11.2 kW	Operando



**Figura 24. Ubicación de motores de cabina 3**

### 3.2.2.5. Cabina de control 4 proyectada

**Tabla 46. Cabina de control 4 proyectada**

Equipo	Codificación	Potencia	Estado
Electrobomba de mando 3	EC04-072-C04-EBM-003	4.1 kW	Nueva línea
Electrobomba de mando 4	EC04-072-C04-EBM-004	4.1 kW	Nueva línea
Electrobomba de aspersores	EC04-072-C04-EBA-001	4.1 kW	Nueva línea
Criba lineal 1	EC04-072-C04-MCL-001	2.2 kW	Nueva línea
Faja transportadora	EC04-072-C04-MFT-001	2.2 kW	Nueva línea
Tanque agitador	EC04-072-C04-TAN-001	7.4 kW	Nueva línea
Zaranda de alta frecuencia 1	EC04-072-C04-ZAF-001	2.2 kW	Nueva línea
Zaranda de alta frecuencia 2	EC04-072-C04-ZAF-002	2.2 kW	Nueva línea



**Figura 25. Ubicación de cabina 4 en proceso**



**Figura 26. Faja transportadora de la cabina 4 en proceso**

### 3.2.3. Estudio de demanda

#### 3.2.3.1. Cálculo de máxima demanda de la cabina 1

**Tabla 47. Cálculo de máxima demanda de la cabina 1**

Equipos	Potencia kW	Factor de simultaneidad	Demanda kW
Electrobomba de mando 1	2.2	0.7	1.54
Electrobomba de mando 2	2.2	0.7	1.54
Electrobomba de mando 3	2.2	0.7	1.54
Electrobomba de mando 4	2.2	0.7	1.54
Electrobomba criba lineal	4.1	0.7	2.87
Electrobomba criba circular	4.1	0.7	2.87
Electrobomba de mando 5	2.2	0.7	1.54
Electrobomba de mando 6	2.2	0.7	1.54
	<u>21.4</u>		<u>14.98</u>

Se obtiene una potencia total de 21.4 kW que, multiplicado por el factor de simultaneidad de 0,7 determinados en el código nacional de utilización para más de seis circuitos independientes, resulta una potencia de 14.98 kW, esta potencia servirá para realizar los cálculos de corriente, de calibre de conductor y caída de tensión.

#### 3.2.3.2. Cálculo de la máxima demanda de la cabina 2

**Tabla 48. Cálculo de máxima demanda de la cabina 2**

Equipos	Potencia kW	F. S.	Demanda kW
Motor criba lineal 1	1.1	0.7	0.77
Motor criba lineal 2	1.1	0.7	0.77
Motor de criba de hidrociclón 1	0.55	0.7	0.385
Motor de criba de hidrociclón 2	0.55	0.7	0.385
Motor de fuerza de hidrociclón	11.2	0.7	7.84
	<u>14.5</u>		<u>10.15</u>

En la cabina 2 se encuentra una demanda de potencia de 14.5 kW, siendo la más baja respecto a las demás cabinas cuenta con el factor de simultaneidad de 0.7, la máxima demanda de esta cabina permitirá dimensionar las instalaciones y facilitar la elección de prioridades de inversión.

### 3.2.3.3. Cálculo de la máxima demanda de la cabina 3

Tabla 49. *Cálculo de máxima demanda de la cabina 3*

Equipos	Potencia kW	F. S.	Demanda kW
Electrobomba de mando 7	2.2	0.7	1.54
Motor de fuerza 1	11.2	0.7	7.84
Motor de fuerza 2	11.2	0.7	7.84
Total	24.6		17.22

Las cargas de la cabina 3 se componen de solo tres motores, donde dos de ellos son motores de inducción de 15 HP que abastecen el 60 % del agua utilizada para el lavado, la otra carga es una electrobomba de 3 HP, la demanda total en esta cabina es 24.6 kW.

### 3.2.3.4. Cálculo de la máxima demanda proyectada de la cabina 4

Tabla 50. *Cálculo de máxima demanda proyectada de la cabina 4*

Equipos	Potencia kW	F. S.	Demanda en kW
Electrobomba de mando 3	4.1	0.7	2.87
Electrobomba de mando 4	4.1	0.7	2.87
Electrobomba de aspersores	4.1	0.7	2.87
Criba lineal 1	2.2	0.7	1.54
Faja transportadora	2.2	0.7	1.54
Tanque agitador	7.4	0.7	5.18
Zaranda de alta frecuencia 1	2.2	0.7	1.54
Zaranda de alta frecuencia 2	2.2	0.7	1.54
	28.5		19.95

La carga proyectada de esta nueva zona de lavado tiene como carga principal el tanque agitador, se obtiene una potencia aparente de 28.5 kW, los equipos serán implementados a futuro y será necesario implementar una nueva línea de alimentación exclusiva, ya que tendrá un trabajo normal de 18 horas diarias.

### 3.2.3.5. Cálculo de la máxima demanda de oficinas

Tabla 51. *Cálculo de la máxima demanda de oficinas*

Equipo	Cant.	Potencia (W)	Subtotal (W)	F. S.	Demanda total (W)
Computadoras	2	300	600	0.9	540
Portátiles	2	450	900	0.8	720
Equipos de comunicación	5	15	75	0.8	60
Total			1575		1320

Al realizar el cálculo de máxima demanda en las oficinas se obtuvo una demanda de 1575 W de potencia, los equipos de comunicación hacen referencia a los celulares que no siempre estarán conectados.

### 3.2.3.6. Cálculo de la máxima demanda de alumbrado público

Tabla 52. *Cálculo de la máxima demanda de alumbrado público*

Equipo	Cant.	Pot. (W)	Subtotal (W)	F. S.	Demanda total (W)
Lámpara de sodio	9	80	720	0.6	432
Lámpara de mercurio	4	80	320	0.6	192
Lámparas de halógeno	6	32	192	0.6	115.2
Total			1232		739.2

Al realizar el cálculo de la demanda del alumbrado público se obtiene una potencia instalada de 1232 W. Se toma en cuenta las luminarias para la nueva línea de lavado, esta potencia servirá para calcular el calibre del conductor para su alimentación.

## 3.3. Evaluación de alternativas de solución

### 3.3.1. Modelo matemático

#### 3.3.1.1. Ley de corrientes de Kirchhoff

Dado que la carga que entra a un nodo debe salir, y que ni se crea ni se destruye carga en los nodos, la carga neta que entra en un nodo es igual a la que sale, de lo anterior se pueden deducir las siguientes leyes para la corriente:

- La suma algebraica de corrientes de rama que entran a un nodo es cero, en cualquier instante de tiempo.
- La suma algebraica de corrientes de rama que salen a un nodo es cero, en cualquier instante de tiempo.

### 3.3.1.2. Ley de voltajes de Kirchhoff

- a. La suma algebraica de caídas de voltaje alrededor de un camino cerrado es cero, en cualquier instante de tiempo.
- b. Para cualquier par de nodos j y k, la caída de voltaje de j a k  $V_{jk}$  es:  $V_{jk} = V_j - V_k$ , en cualquier instante de tiempo. Donde  $V_j$  es el voltaje de nodo del nodo j respecto a la referencia, y  $V_k$  es el voltaje de nodo del nodo k respecto a la referencia.
- c. Para un circuito conectado una secuencia de nodos A-B-D-...-G-P, la caída de voltaje en cualquier instante de tiempo es:  $V_{AP} = V_{AB} + V_{BD} + \dots + V_{GP}$ .
- d. Para un circuito conectado la suma algebraica de voltajes nodo-a-nodo para una secuencia de nodos cerrada es cero en cualquier instante de tiempo.

### 3.3.2. Diseño de alternativas

#### 3.3.2.1. Alternativa 1: segmentación de carga e implementación de la troncal

Se utilizará el cable existente NYY 3 x 25 mm<sup>2</sup> para alimentar a las cabinas de control 1 y 2 desde el tablero principal, se aumentará una línea nueva también NYY 3 x 25 mm<sup>2</sup> para alimentar a las cabinas de control 3 (existente) y la nueva cabina de control 4. Y se utilizará el cable existente 3 x 25 mm<sup>2</sup> + N 25mm<sup>2</sup> de aluminio para las cargas de alumbrado público, oficinas y cargas adicionales.

#### a. Cálculo de la corriente total de las cabinas 1 y 2

La fórmula utilizada para calcular la intensidad de corriente en redes trifásicas es:

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

Nota: para el cálculo de la corriente del conductor se debe tener un 25 % más de la resistencia a la corriente a plena carga.

– Corriente existente en la cabina 1

**Tabla 53. Corriente total cabina 1**

Datos	Bomba de mando	Bomba de criba
Potencia	2.2 kW	4.1 kW
Voltaje	380 V	380 V
Fp	0.8	0.8
Corriente	4.25 A	7.79 A
Cantidad	6	2
Subtotal	25.5 A	15.58 A
Total, x I diseño	25.5 + 15.58 = 41.08 x 1.25	
		51.35 A

– Corriente existente en la cabina 2

**Tabla 54. Corriente total cabina 2**

Datos	Criba lineal	Criba hidrociclón	Motor hidrociclón
Potencia	1.1 kW	0.55 kW	11.19 kW
Voltaje	380 V	380 V	380 V
Fp	0.8	0.8	0.8
Corriente	2.13 A	1.06 A	21.25 A
Cantidad	2	2	1
Subtotal	4.26 A	2.12 A	21.25 A
Total, x I diseño	4.26 + 2.12 + 21.25 = 27.63 x 1.25 =>		34.53 A

La corriente total que debe soportar el conductor es de 85.88 A, según tabla de datos eléctricos NYY (80°) 0,6/1 kV triple, la sección del conductor es de un cable NYY 16 que soporta hasta 100 A al aire libre a temperatura de 30 °C.

– Cálculo de la caída de tensión

La fórmula utilizada para calcular la caída de tensión trifásica es:

$$\Delta v = \frac{P * I * L * \text{Cos}\phi * \sqrt{3}}{S * V}$$

**Donde:**

**Tabla 55. Cálculo de caída de tensión en cabinas 1 y 2**

Datos de cálculo de caída	
P (resistividad del cobre)	0.0178
I total (amperios)	85.88
Longitud (metros)	70
S (sección del conductor mm <sup>2</sup> )	25
V Tensión (voltios)	380
Δ V %	1.94 %

Por lo visto en las tablas anteriores, el cable NYY existente aguantará la carga total de la cabina 1 y 2, y no sobrepasará la caída de tensión máxima de 5 %.

### b. Cálculo de la corriente total de las cabinas 3 y 4

La fórmula utilizada para calcular la intensidad de corriente en redes trifásicas es:

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

Nota: para el cálculo de la corriente del conductor se debe tener un 25 % más de la resistencia a la corriente a plena carga.

– Corriente existente en la cabina 3

**Tabla 56. Corriente existente en la cabina 3**

Datos	Electrobomba mando	Motor de fuerza
Potencia	2.2 kW	11.19 kW
Voltaje	380 V	380 V
Fp	0.8	0.8
Corriente	4.25 A	21.25 A
Cantidad	1	2
Subtotal	4.25 A	42.5 A
Total, x I diseño	4.25 + 42.5 = 46.75 x 1.25	
		58.43 A

La corriente total que debe soportar el conductor es de 58.43 A, según tabla de datos eléctricos NYY (80 °C) 0,6/1 kV triple, la sección del conductor es de un cable NYY 10 mm<sup>2</sup> que soporta hasta 74 A al aire libre a temperatura de 30 °C.

– Corriente futura existente en la cabina 4

**Tabla 57. Corriente futura en la cabina 4**

Datos	Bomba de mando	Criba lineal y faja	Motor zaranda alta frecuencia	Motor tanque agitador
Potencia	4.1 kW	2.2 kW	2.2 kW	7.4 kW
Voltaje	380 V	380 V	380 V	380
Fp	0.8	0.8	0.8	0.8
Corriente	7.79 A	4.25 A	4.25 A	14.16 A
Cantidad	3	2	2	1
subtotal	23.37 A	8.5 A	8.5 A	14.16 A
Total, x I diseño	23.37 + 17 + 14.16 = 27.63 x 1.25 =>			68.16 A

La corriente total que debe soportar el conductor es de 68.16 A, según tabla de datos eléctricos NYY (80°) 0,6/1 kV triple, la sección del conductor es de un cable NYY 10 que soporta hasta 74 A al aire libre a temperatura de 30 °C.

### c. Cálculo del conductor alimentador para las cabinas 3 y 4

Este cálculo se realiza tomando en consideración que se implementará una nueva troncal desde el tablero principal hasta la cabina 4 adicionando la carga de la cabina 3, para lo cual, sumando las dos corrientes obtenidas para cada cabina se obtiene un total de 126.59 A, según la tabla de datos eléctricos NYY (80°) 0,6/1 kV triple, la sección del conductor adecuado es de un cable NYY 25 que soporta hasta 131 A al aire libre a temperatura de 30 °C.

– Cálculo de la caída de tensión del alimentador

La fórmula utilizada para calcular la caída de tensión trifásicas es:

$$\Delta v = \frac{P * I * L * \text{Cos}\phi * \sqrt{3}}{S * V}$$

**Donde**

**Tabla 58. Cálculo de caída de tensión para la cabina 3 y futura cabina 4**

Datos de cálculo de caída	
P (resistividad del cobre)	0.0178
I total (amperios)	126.59
Longitud (metros)	90
S (sección del conductor mm <sup>2</sup> )	25
V Tensión (voltios)	380
Δ V %	2.95 %

Por lo tanto, con el calibre seleccionado del conductor, aguantará la carga total de las cabinas 3 y 4, y no sobrepasará la caída de tensión máxima de 5 %.

Por lo tanto, con esta solución se puede inferir lo siguiente:

- El cable existente NYY 3 x 25 mm<sup>2</sup> podrá aguantar la carga de las cabinas 1 y 2, siempre y cuando el interruptor del tablero general sea cambiado por uno de 150 A.
- El cable que se quiere aumentar para la cabina 3 y la nueva cabina 4 debe ser NYY de 3 x 25 mm<sup>2</sup> con la finalidad de que pueda aguantar la caída de tensión y cambiar el interruptor por uno de 150 A.
- Se adicionará otro tablero de distribución con salidas de barras para alimentar a los tableros existentes en dichas cabinas.
- El cable autoportante servirá para el alumbrado público, oficinas y pequeñas cargas en el control de tableros (por si se requiere tener 220 V monofásicos en las cabinas de control).
- Como se sabe, la corriente nominal que consume cada motor determinará el tipo de conductor que irá desde el tablero de arranque hacia el motor, por lo que se implementarán ductos de 1" tipo SAP, para mayor seguridad, teniendo por tabla los siguientes calibres de conductor:

***Tabla 59. Especificación de tipo de conductor hacia el motor, alternativa 1***

Para motores y electrobombas de 2.2kw 3Ø 380 V	4 x 12 AWG
Para motores de 1.1 kW, 0.55 kW 3Ø 380 V	4 x 12 AWG
Para motores de 2.2 kW 220 v 1Ø	3 x 12 AWG
Para motores de 4.4 kW 3Ø 380 V	4 x 10 AWG
Para motores de 7.4 kW 3Ø 380 V	Doble terna 4 x 12 AWG
Para motores de 11.19 kW 3Ø 380 V	Doble terna 4 x 10 AWG

### **3.3.2.2. Alternativa 2: integración de carga y reforzamiento troncal**

Se aumentará una troncal desde el tablero principal hasta la cabina de control 2 (esta troncal alimentará a la cabina 1), luego se pondrá el cable de 25 mm<sup>2</sup> reutilizado hacia la cabina 3 porque es el más alejado, para alimentar la cabina de control 4 se utilizará un cable NYY de 10 mm<sup>2</sup>, el cable autoportante de aluminio existente se utilizará para el alumbrado público, oficinas y pequeñas cargas para el mando en las cabinas de control.

### a. Cálculo de la corriente total del sistema

Como ya se conocen las corrientes de diseño por cabina, se sumarán para saber la corriente total que debe aguantar el nuevo conductor a instalar.

**Tabla 60. Corriente total de diseño**

I cabina 1	I cabina 2	I cabina 3	I cabina 4	I total
51.35	34.53	58.43	68.16	<b>212.47 A</b>

La corriente total que debe soportar el conductor es de 212.47 A, según tabla de datos eléctricos NYY (80°) 0,6/1 kV triple, la sección del conductor es de un cable NYY 3 – 1 x 70 mm<sup>2</sup> que soporta hasta 250 A al aire libre a temperatura de 30 °C.

#### – Cálculo de la caída de tensión hasta la cabina 2

La fórmula utilizada para calcular la caída de tensión trifásicas es:

$$\Delta v = \frac{P * I * L * \text{Cos}\phi * \sqrt{3}}{S * V}$$

**Donde:**

**Tabla 61. Cálculo de caída de tensión de conductor para la troncal principal**

Datos de cálculo de caída	
P (resistividad del cobre)	0.0178
I total (amperios)	212.47
Longitud (metros)	70
S (sección del conductor mm <sup>2</sup> )	70
V Tensión (voltios)	380
$\Delta V$ %	1.37 %

El nuevo cable para instalar debe ser de 3 x 1 x 70 mm<sup>2</sup>, y eso implica el cambio de interruptor principal a uno de 300 A.

#### – Cálculo de la caída de tensión desde la cabina 2 hasta la cabina 3.

La fórmula utilizada para calcular la caída de tensión trifásica es:

$$\Delta v = \frac{P * I * L * \text{Cos}\phi * \sqrt{3}}{S * V}$$

**Donde:**

**Tabla 62. Cálculo de caída de tensión de conductor para la cabina 3**

Datos de cálculo de caída	
P (resistividad del cobre)	0.0178
I total (amperios)	58.43
Longitud (metros)	90
S (sección del conductor mm <sup>2</sup> )	10
V Tensión (voltios)	380
$\Delta V$ %	3.41 %

Por lo tanto, con el calibre seleccionado del conductor, aguantará la carga total de la cabina 3, ya que no sobrepasará la caída de tensión máxima de 5 %.

– Cálculo de la caída de tensión desde la cabina 2 hasta la cabina 4

La fórmula utilizada para calcular la caída de tensión trifásicas es:

$$\Delta v = \frac{P * I * L * \text{Cos}\phi * \sqrt{3}}{S * V}$$

**Donde:**

**Tabla 63. Cálculo de caída de tensión de conductor para la futura cabina 4**

Datos de cálculo de caída	
P (resistividad del cobre)	0.0178
I total (amperios)	68.16
Longitud (metros)	20
S (sección del conductor mm <sup>2</sup> )	10
V Tensión (voltios)	380
$\Delta V$ %	0.88 %

Por lo tanto, con el calibre seleccionado del conductor, aguantará la carga total de la cabina 4, ya que no sobrepasará la caída de tensión máxima de 5 %.

Por lo tanto, con esta solución se infiere lo siguiente:

- El nuevo cable para instalar debe ser de 3 x 70 mm<sup>2</sup>, que alimentará a todas las cabinas y llegará hasta la cabina 2, eso implica el cambio de interruptor principal a uno de 3 x 300 A regulable.
- El cable usado para alimentar la cabina 3 por los 90 metros faltantes será de tipo NYY 3 x 25 mm<sup>2</sup>, porque se recuperará de la instalación actual, ya que este cable servirá para futuras cargas en la cabina 3.
- El cable que se usará para alimentar a la cabina 4 por los 20 metros faltantes será de tipo NYY 3 x 10 mm<sup>2</sup>.
- Cada cabina de control será alimentada por el cable NYY 3 x 25 mm<sup>2</sup> en derivación hacia otro interruptor para cada cabina, de manera que sean independientes si es que ocurriese una falla en cualquiera de ellas.

### **3.3.3. Simulación de alternativas**

Para las simulaciones se utilizó el módulo avanzando de flujo de cargas de ETAP “*Electrical Power System Analysis Software*”, este software permitirá crear y validar diferentes modelos de sistemas eléctricos de una forma sencilla, obteniendo resultados precisos y fiables.

#### **3.3.3.1. Alternativa 1: segmentación de carga e implementación de la troncal**

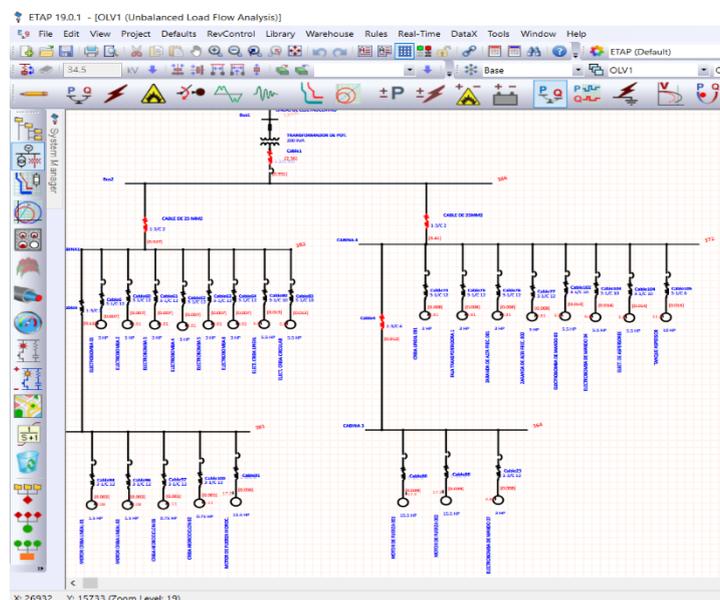
En la simulación de la alternativa 1 se insertó una alimentación en media tensión de las líneas de Electrocentro de 13.2 kV los cuales llegan a unos *cut outs* de 7 A que alimentan al transformador trifásico de 200 kVA, la salida en baja tensión llega al tablero general con conductor 4Ø a una llave general de 200 A, luego se deriva a la cabina 1 una distancia de 30 metros con un conductor de cobre NYY de 25 mm<sup>2</sup> que es equivalente a 4 AWG, se pone esta medida, ya que el simulador cuenta con sistema AWG (*American Wire Gauge*), con una distancia de 30 metros, que alimenta a los motores de la cabina 1, continuando su recorrido con

una distancia de 40 metros con conductor de igual calibre hasta el tablero de la cabina 2 de donde alimenta los equipos de esta cabina, también se deriva un conductor NYY de 25 mm<sup>2</sup> con una distancia de 70 metros desde el tablero general hacia el tablero de la nueva línea (cabina 4) el cual alimentará los futuros equipos de este módulo, desde esta cabina deriva un conductor de cobre NYY de 10 mm<sup>2</sup> (6 AWG) hacia el tablero de la cabina 3 con una distancia de 70 metros, que alimentará las electrobombas de esta cabina.

**Tabla 64. Segmentación de carga e implementación de la troncal**

Nombres	Cálculos matemáticos		Simulación	
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Corriente (A)
Tablero general	380	212.47	386	196.4
Cabina 1	380	51.35	382	47.4
Cabina 2	380	58.43	381	53.6
Cabina 3	380	34.53	364	33.3
Cabina 4	380	68.16	372	62.1

Se obtiene como resultado que los voltajes en todos los equipos de las diferentes cabinas están dentro del  $\pm 5\%$ , dando como voltajes en los dos motores de 15.5 HP, de la cabina 3 un voltaje de 364 V, la mejoría se refleja en que esta carga era el que tenía la caída de tensión más notable, ya que está ubicada en el tablero más alejado del sistema.



**Figura 27. Simulación de alternativa 1**

### 3.3.3.2. Alternativa 2: integración de carga y reforzamiento de troncal

En la simulación de la alternativa 2 se insertó una alimentación en media tensión de las líneas de Electrocentro de 13.2 kV, los cuales llegan a unos *cut outs* de 7 A que alimentan al transformador trifásico de 200 kVA, la salida en baja tensión llega al tablero general con conductor 4Ø a una llave general de 300 A, se tiende 30 metros de conductor de cobre NYY 70 mm<sup>2</sup> que alimentará al interruptor termomagnético de 80 A en la cabina 1, continuando su recorrido con una distancia de 40 m, con conductor de igual calibre ingresa al interruptor termomagnético de 40 A en la cabina 2 de donde se controla la alimentación de los equipos de esta cabina, desde este punto se deriva un conductor de 10 mm<sup>2</sup> (6 AWG) con 20 metros desde el tablero de cabina 2 hacia el interruptor termomagnético de 80 A en el tablero de la nueva línea (cabina 4) que alimentará los equipos previstos para este módulo, la alimentación a la cabina 3 será con un conductor recuperado de la instalación actual de 25 mm<sup>2</sup> (4 AWG) con una distancia de 70 metros desde la cabina 2 y llegará a un interruptor termomagnético de 63 A, que controlará las electrobombas de esta cabina 3.

**Tabla 65. Ampliación de carga y reforzamiento de troncal**

Ítem	Cálculos matemáticos		Simulación	
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Corriente (A)
Tablero general	380	212.47	382	196.4
Cabina 1	380	51.35	382	47.4
Cabina 2	380	58.43	377	53.6
Cabina 3	380	34.53	367	33.3
Cabina 4	380	68.16	372	62.1

Se obtiene como resultado que los voltajes en todos los equipos de las diferentes cabinas están dentro del  $\pm 5\%$ , dando como voltajes en los dos motores de 15.5 HP de la cabina 3 un voltaje de 367 V, la mejoría se refleja en que esta carga era el que tenía la caída de tensión más notable, ya que está ubicada en el tablero más alejado del sistema, esta alternativa también se hace viable, ya que permitirá que por los postes solo haya una terna en

funcionamiento, en la simulación se optó por poner el voltaje secundario de 400 V para obtener un voltaje de 380 V en las barras del tablero principal.

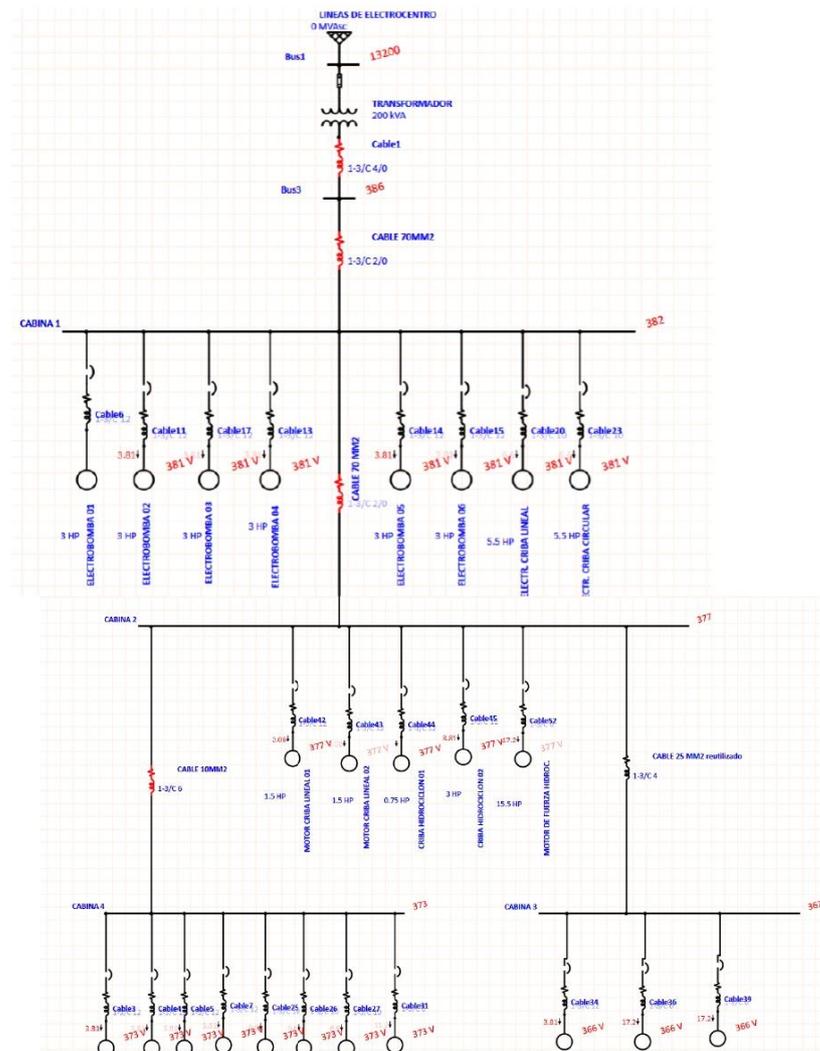


Figura 28. Simulación de alternativa 2

### 3.3.4. Selección de la mejor solución

La mejor solución para este proyecto es la integración de carga y el reforzamiento de la troncal existente, se selecciona esta alternativa porque se considera que de esta forma se reducirán los costos, se optimizará la compra de conductores en función de su carga, esta propuesta como se detalló en la etapa de diseño, propone tener diversos calibres de conductores segmentados en tramos en función de la corriente que transitará por ellos, esta opción permite reutilizar el conductor actual con el que se cuenta, también permitirá reutilizar el conductor

autoportante para el circuito de iluminación y oficinas, ya que son cargas pequeñas, los cálculos matemáticos y simulaciones realizadas indican que la alternativa 2 es la más adecuada, ya que muestra valores mínimos de caídas de tensión en la carga más alejada siendo la más baja el de 370 V.

### **3.3.5. Evaluación técnica**

La evaluación técnica refleja el estado técnico actual de las instalaciones, equipos y sistemas que lo componen, con esta evaluación se analiza la degradación que han sufrido las instalaciones, la posibilidad de futuros fallos, ya sea a corto o mediano plazo, con el análisis realizado en los diagnósticos de la planta es posible determinar qué equipos requieren ser cambiados, qué equipos se encuentran al final de su vida útil, qué reparaciones o modificaciones se deben realizar para evitar fallos y, de esta manera, tener un sistema eléctrico saludable con condiciones técnicas aceptables.

#### **3.3.5.1. Puesta a punto de instalaciones**

La evaluación realizada en el diagnóstico indica que los motores se encuentran operativos y están dentro del periodo de su vida, se puede validar esta información gracias a las mediciones realizadas en cada equipo, también se garantiza el buen estado de los equipos, ya que durante el periodo de pandemia dejaron de operar y se realizaron los mantenimientos preventivos y correctivos a cada uno de estos equipos según fuentes de los trabajadores.

En cuanto a las instalaciones se recomienda el cambio de conductores en el tramo de cada cabina hacia el equipo, ya que se ha determinado que los conductores no se encuentran en buen estado, algunos presentan recubrimiento con cinta aislante, en otros se ha encontrado el conductor empalmado sin un procedimiento adecuado, también se ha encontrado cables con tramos afectados por la humedad y el calor, por ello se propone la distribución del cableado por ductos de 1", estos ductos serán de

tipo SAP (de pared extrapesado SCH- 80 PVC) y la nueva lista de conductores será la siguiente:

**Tabla 66. Especificación de conductor hacia el motor (mejor solución)**

Para motores y electrobombas de 2.2 kW 3Ø 380 V	4 x 12 AWG
Para motores de 1.1 kW, 0.55 kW 3Ø 380 V	4 x 12 AWG
Para motores de 2.2 kW 220 v 1Ø	3 x 12 AWG
Para motores de 4.4 kW 3Ø 380 V	4 x 10 AWG
Para motores de 7.4 kW 3Ø 380 V	Doble terna 4 x 12 AWG
Para motores de 11.19 kW 3Ø 380 V	Doble terna 4 x 10 AWG

En cuanto a los conductores también se debe considerar que la línea actual soportada por el cable autoportante no se encuentra en las mejores condiciones, este cable fue utilizado como medida de emergencia ante la necesidad de poner en funcionamiento a los equipos de la planta, pero durante el tiempo de funcionamiento perdió su resistividad, los empalmes de cada derivación no son los adecuados y su aislamiento en toda la línea se encuentra en mal estado, ya que muchos de los empalmes presentan humedad y estas deberían ser tratadas con mangas termocontraíbles, se plantea como solución un cambio de conductores en las troncales según la corriente que transitará en el sistema, se llega a la conclusión de contar con la siguiente lista de conductores.

**Tabla 67. Designación de redes secundarias**

Ítem	Nombre derivación	Código asignado	Metros
1	L1 380V cabina de control 1, 3 x 70 NNY	1.- L1 Cabina 1	30
2	L1 380V cabina de control 2, 3 x 70 NYY	2.- L1 Cabina 2	70
3	L2 380V cabina de control 3, 3 x 10 NYY	3.- L2 Cabina 3	90
4	L2 380V cabina de control 4, 3 x 10 NYY	4.- L2 Cabina 4	20
5	LE 220V ap., oficinas, almacén, 3 x 25 + 1 x 25 +1 x 16 ACCI	5.- LE Oficinas	170
	Total, línea 1 L1 (metros) 3 x 70 NYY		70
	Total, línea 2 L2 (metros) 3 x 10 NYY		110
	Total, líneas existentes LE (metros) 3 x 25 ACCI		170

También se realizó la evaluación técnica de las cabinas de control, donde se logró determinar que se deben realizar cambios en las llaves térmicas, relés de protección, botoneras que se encuentran al final de su vida útil, luces de operación de los tableros, conductores para cada contactor, por ello se plantea

realizar cambios de ITM (interruptor termomagnético) de cada cabina de control a las siguientes capacidades:

**Tabla 68. Designación de ITM**

Tablero principal	300 A
Cabina 1	80 A
Cabina 2	40 A
Cabina 3	63 A
Cabina 4	80 A

En base a los cálculos realizados, también se recomienda realizar ajustes de los diferentes tableros que componen a cada cabina de control en base a la siguiente información:

**Tabla 69. Especificaciones mínimas para tableros a implementar**

Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 2.2 kW, In = 4.25 A	ITM: 16 A Relé térmico: 6 A Contactor: 220 V 50/60 HZ Tipo de cable: GPT 14 AWG
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 4.1 kW, In = 7.85 A	ITM: 16 A Relé térmico: 10 A Contactor: 220 V 50/60 HZ Tipo de cable: GPT 14 AWG
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 1.1 kW, In = 2.13 A	ITM: 16 A Relé térmico: 4.7 A Contactor: 220 V 50/60 HZ Tipo de cable: GPT 14 AWG
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 0.55 kW, In = 1.06 A	ITM: 16 A Relé térmico: 1.6 A Contactor: 220 V 50/60 HZ Tipo de cable: GPT 14 AWG
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 7.4 kW, In = 15.85 A (C4TA)	ITM: 20 A Relé térmico: 18 A Contactor: 220 V 50/60 HZ Tipo de cable: GPT 14
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 11.2 kW, In = 21.25 A (C2MFH, C3MF1, CMF2)	ITM: 32 A Relé térmico: 25 A Contactor: 220 V 50/60 HZ Tipo de cable: GPT 14

### 3.3.5.2. Evaluación de la operación y el mantenimiento de la instalación

Se realizó la inspección de los equipos instalados en la planta y se verificó el historial de mantenimiento de los equipos y se llegó a la conclusión de que no se encuentra implementado ningún plan de mantenimiento, ya que todas las reparaciones reportadas son de mantenimiento correctivo, por ejemplo, se

reportan cambio de engranajes, rebobinado de motor, alineamiento de ejes y se llega a este punto, ya que se esfuerza a los motores aún más allá de su capacidad y como no se lleva un seguimiento adecuado de los motores, estos sufren fallos que podrían ser corregidos con un buen seguimiento y mantenimientos correctivos.

En cuanto a la operación de la planta se puede determinar que esta se encuentra en condiciones perfectas para operar al 100 % de su capacidad, ya que los equipos se encuentran en buen estado, si se realiza el cambio de línea se obtendría menor caída de tensión; por lo tanto, se respetaría el tiempo de vida de los motores, se garantizaría el pago justo de la energía consumida por la operación de la planta y se garantizaría una adecuada distribución de los conductores.

### **3.3.5.3. Estudio de una posible ampliación en la planta**

En la actualidad se desea ampliar las operaciones a una cuarta cabina de control donde se realizará el proceso de lavado de la sílice, evaluando las dimensiones del terreno y la demanda habitual de producción; se concluye que esta cuarta ampliación sería la última, ya que no se contaría con espacio para una nueva cabina de control, por esta razón la demanda de energía eléctrica se mantendría estable, ya que no ingresaría una carga mayor.

Se evaluó y se consultó con el área administrativa para ver si en algún momento se llegaría a necesitar mayor capacidad de producción, y cuál sería el cambio que tendrían en mente, teniendo en cuenta el funcionamiento actual de la planta, los directivos concordaron que a mayor demanda solo se genera mayor tiempo de producción; como manifestaron, en la actualidad se trabaja de 8 a. m. a 6 p. m. y luego la planta se encuentra paralizada; por lo tanto, la solución a un incremento de demanda es el funcionamiento de la planta, en un inicio, hasta las 11 p. m. y en periodos de alta demanda convertir la planta en operaciones de 24

horas, por todo ello se considera como última ampliación a la cabina 4, esta cabina fue introducida y estudiada como parte de toda la investigación.

### 3.3.6. Evaluación económica de la mejor solución

En los proyectos de ingeniería es necesario definir indicadores para la evaluación de su desempeño económico, los principales indicadores de proyectos son:

#### 3.3.6.1. Valor actual neto (VAN)

Este indicador corresponde a la suma de los flujos de efectivo del proyecto para un tiempo cero (actual), para un proyecto en el que se están evaluando N periodos el VAN se calcula según:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^N \frac{F_i}{(1+r)^i}$$

**Donde:**

- $r$  representa la tasa de descuento del proyecto que aumenta para sistemas más riesgosos y representa el valor del dinero en el tiempo.
- Un proyecto que retorne flujos de efectivo posee un VAN mayor a cero.

#### 3.3.6.2. Tasa interna de retorno (TIR)

Este indicador se define como la tasa de descuento a la que el proyecto posee VAN igual a cero, luego la TIR se puede calcular igualando a cero la ecuación.

$$0 = -I_0 + \sum_{i=0}^N \frac{F_i}{(1+TIR)^i}$$

Otra forma de entender la TIR es como la tasa que entrega un monto equivalente a la inversión del proyecto en el tiempo de evaluación.

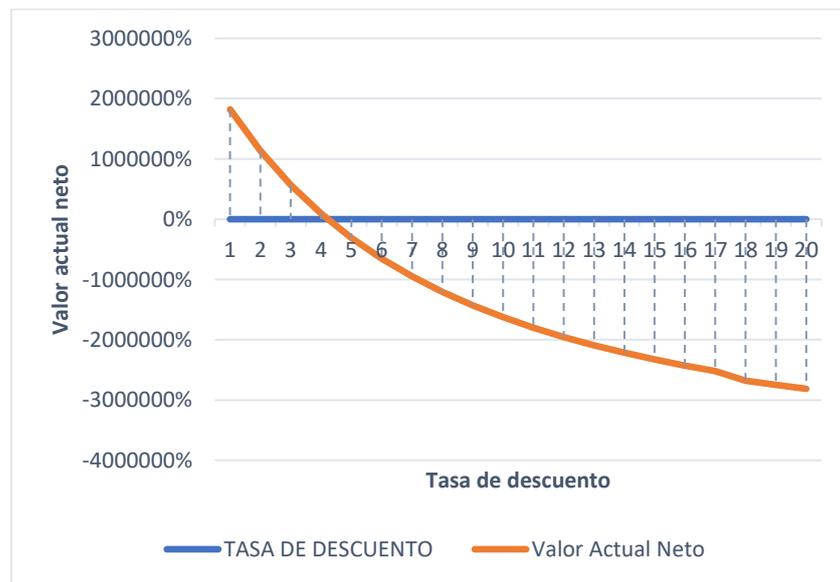
El proyecto como tal se ha evaluado en función de los datos de inversión y los datos de recuperación de gastos de actividades habituales realizadas en los años anteriores y el rango de gastos mínimos y máximos de forma intercalada, se detalló para este proyecto los gastos de operación para realizar toda la instalación en un total de S/ 8,741.86 y el monto de inversión en la adquisición de materiales en un total de S/ 33,768.81; también se tomó en consideración los gastos periódicos de mantenimiento preventivo de motores y tableros de al menos 2 veces por año, incluyendo herramientas y materiales, ambos llegando a sumar S/ 720.00 de forma anual; para realizar el análisis de flujo de caja se determinó considerar los montos económicos que serán reducidos en cada evento reportado en la planta, dentro de estos se consideraron los siguientes:

**Tabla 70. Recuperación de gastos**

	Mantenimiento de líneas de distribución	S/ 850.00
	Mantenimiento correctivo de motores	S/ 1,800.00
Recuperación de gastos	Paralización de producción x hora	S/ 4,200.00
	Paralización de producción x iluminación	S/ 1,800.00
	Paralización por salida de contactores o ITM	S/ 3,800.00
	Mantenimiento del sistema de iluminación	S/ 120.00
	Reducción de producción por falta de visibilidad	S/ 3,800.00

Todo el estudio de flujo de caja se realizó con un 10 % de tasa de descuento, este porcentaje se considera en función al banco de preferencia de la empresa; se considera este monto, ya que el dinero a invertir, si fuera depositado, generaría ingresos y sería del 10 %, por ello se toma como referencia. Al realizar el análisis del VAN se consideró en primera instancia un análisis a 10 años de operación de la planta, encontrándose con una gran rentabilidad de S/ 56,415.87 con un TIR de 34.52 % y estos valores

indican que el proyecto es muy rentable a 10 años, se realizó un análisis adicional para evaluar la rentabilidad del proyecto en menor cantidad de años y se logró determinar que para recuperar la inversión solo se necesitaría de 4 años, en este análisis se determinó que al cuarto año se obtendría una ganancia de S/ 5,693.93 teniendo como referencia un TIR de 16.09 %, a continuación se muestra la gráfica:



**Figura 29. Análisis del flujo de caja**

### 3.3.7. Especificaciones técnicas de la mejor solución

#### a. Postes

Se utilizarán postes existentes, pero se adicionará cada 15 metros un poste de concreto armado y centrifugado de 8/200 y 8/300 de las siguientes características:

#### Normas de fabricación

- Indecopi NTP 339027
- MEM: DGE 015 – PD - 1

#### Uso

- Líneas de baja tensión o alumbrado público en red aérea.

## Especificaciones

- El recubrimiento de concreto mínimo sobre la estructura es de 5 mm presentando superficie sin resanes y lisas.
- El coeficiente de seguridad como mínimo debe ser 2 (entre la carga de trabajo y la carga de rotura nominal).
- Debe cumplir las siguientes condiciones de prueba:
  - ✓ Punto de aplicación de las cargas: a 150 mm de la punta del poste
  - ✓ Empotramiento: 1/10 de su longitud, más 500 mm

### b. Conductores

El cable 3 x 70 mm<sup>2</sup> y 3 x 10 mm<sup>2</sup> requieren de estas mínimas características:

- Cable conductor (tres fases), retardante a la llama, relleno entre fases y resistente a productos químicos, aceites y grasas.
- Conductor: cable de cobre suave, cableado compacto y comprimido
- Aislamiento: PVC
- Cubierta: PVC
- Tensión de servicio: 0.6/1 kV
- Temperatura de operación: 80 °C
- Instalación: en instalaciones fijas, en bandejas portacables, en canaletas o directamente enterrado.
- Aplicación: instalaciones eléctricas de tipo industrial
- Norma de fabricación: NTP 370.255-1
- Cinta: poliéster.
- Embalaje: En carretes de madera
- Colores: negro, rojo y blanco

**Tabla 71. Capacidad de conducción eléctrica del cable NYY**

Sección mm <sup>2</sup>	Amperaje enterrado 20 °C	Amperaje aire 30 °C	Ducto 20 °C
70 mm <sup>2</sup>	282 A	250 A	222A
25 mm <sup>2</sup>	163 A	131 A	132 A
10 mm <sup>2</sup>	95 A	74 A	77 A

### c. Interruptores termomagnéticos

Cada cabina de control será alimentada desde el interruptor principal hasta otro interruptor para cada cabina de la siguiente manera.

**Tabla 72. Lista de nuevos ITM**

Tablero principal	3 X 300 A regulable
Cabina 1	80 A
Cabina 2	40 A
Cabina 3	63 A
Cabina 4	80 A

El interruptor termomagnético de cada cabina requiere estas mínimas características:

- Número de polos: 3p
- Corriente nominal: 15 a 100 A
- Tensión de aislamiento: 690 V
- Resistencia máxima de sobretensión: 6 kV
- Tensión máxima de utilización: 590 V

**Tabla 73. Características de ITM propuesto**

Características mínimas para interruptor termomagnético		DRX 10 kA	DRX 36 kA
Numero de polos		3P	3P
Corriente nominal (A)		15 - 125	15 - 125
Tensión de aislamiento $U_i$ (V)		690	690
Resistencia máxima de sobretensión $U_{imp}$ (kV)		6	6
Tensión máxima de utilización (50/60 Hz) $U_e$ (V)		550	550
Capacidad de ruptura última $I_{cu}$ (kA) IEC 60947 - 2		10	36
Capacidad de ruptura última $I_{cu}$ (kA) NEMA AB-1		7.5	20
Capacidad de ruptura $I_{cs}$ (% $I_{cu}$ )		50	50
Categoría de utilización		A	A
Recomendado para aislación		SI	SI
Vida útil maniobras	Mecánicas	25000	25000
	Eléctricas a in	8000	8000
	Eléctricas a 0.5 in	10000	10000

## d. Especificaciones generales para tableros a implementar

**Tabla 74. Especificaciones generales para tableros a implementar**

Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 2.2 kW, In = 4.25 A (C1B1, C1B2, C1B3, C1B4, C1B5, C1B6, C3B7, C4Z1, C4Z2, C4CN1, C4CN2)	ITM: (16 A) NB1 - 63 3P C16 / 6kA Relé térmico: NR2 - 25 4 - 6 A Contactador: NC1 0910 220 V 50/60 HZ Pulsadores: NP2 BA42, BA41 Contactos: NP2 BE101, BE102 Tipo de cable: GPT 14 AWG
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 4.1 kW, In = 7.85 A (C1BCL, C1BCC, C4B3, C4B4, C4BA1)	ITM: (16 A) NB1 - 63 3P C16 / 6kA Relé térmico: NR2 - 25 7 - 10 A Contactador: NC1 1210 220 V 50/60 HZ Pulsadores: NP2 BA42, BA41 Contactos: NP2 BE101, BE102 Tipo de cable: GPT 14 AWG
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 1.1 kW, In = 2.13 A (C2ML1, C2ML2)	ITM: (16 A) NB1 - 63 3P C16 / 6kA Relé térmico: NR2 - 25 2.5 – 4.7 A Contactador: NC1 0910 220 V 50/60 HZ Pulsadores: NP2 BA42, BA41 Contactos: NP2 BE101, BE102 Tipo de cable: GPT 14 AWG
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 0.55 kW, In = 1.06 A (C2MH1, C2MH2)	ITM: (16 A) NB1 - 63 3P C16 / 6kA Relé térmico: NR2 - 25 1 – 1.6 A Contactador: NC1 0910 220 V 50/60 HZ Pulsadores: NP2 BA42, BA41 Contactos: NP2 BE101, BE102 Tipo de cable: GPT 14 AWG
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 7.4 kW, In = 15.85 A (C4TA)	ITM: (20 A) NB1 - 63 3P C20 / 6kA Relé térmico: NR2 - 25 12 - 18 A Contactador: NC1 1810 220 V 50/60 HZ Pulsadores: NP2 BA42, BA41 Contactos: NP2 BE101, BE102 Tipo de cable: GPT 14 AWG
Para motores y electrobombas de características similares: 380 V, 3Ø, 11.2 kW, In = 21.25 A (C2MFH, C3MF1, CMF2)	ITM: (32 A) NB1 - 63 3P C32 / 6kA Relé térmico: NR2 - 25 17 – 25 A Contactador: NC13210 220 V 50/60 HZ Pulsadores: NP2 BA42, BA41 Contactos: NP2 BE101, BE102 Tipo de cable: GPT 14 AWG

## e. Retenidas y anclaje

Se instalarán con la finalidad de compensar tanto esfuerzo mecánico y que los postes puedan mantener su forma vertical en la operación cotidiana de la planta.

El ángulo que forma como mínimo es 30° (eje de poste con cable retenido), si existe un menor valor podrían producir mayor carga en las retenidas y mayor carga de compresión al poste. Estarán compuestas por los elementos siguientes:

- Bloque de concreto armado
- Varillas de anclaje con ojal (guardacabo)

- Mordazas preformadas
- Cable de acero grado *Siemens Martin* de 10 mm de diámetro
- Perno con ojal guardacabo para fijación al poste

#### **f. Material de ferretería**

Las puestas a tierra se conformarán por lo siguiente:

- Tierra cernida o de cultivo
- Accesorios de conexión y fijación
- Conductor de cobre recocido para la bajada a tierra de 25 mm<sup>2</sup> de sección
- Electrodo de cobre de 2.0 metros, 16 mm de diámetro

La norma DGE, dice que el valor de la puesta a tierra debe estar entre 6 a 10 ohmios. Y la tensión neutro fase no debe superar la tensión 250 V (neutro desplazado), también indica que la ubicación recomendada es cada 150 metros, en los puntos de derivación y en las últimas redes secundarias.

Respecto a los elementos de acero y hierro (abrazaderas, pernos, etc.) será galvanizado en caliente, ya se encuentran definidas respecto a la carga que estará sometida.

#### **3.3.8. Resultados**

Al realizar el diagnóstico del sistema eléctrico de la planta de beneficios Challhuapozo se logró determinar que la cantidad de interrupciones son generadas por el mal estado de los conductores, se evidenció fuga de energía en los puntos de derivación, con el megado de las líneas de distribución actuales se determinó que su nivel de aislamiento se redujo a 150 megaohmios de 500 megaohmios, también sobre la base de los estudios realizados se determinó que se debe de cambiar el conductor de aluminio CAAI autoportante por el conductor NYY de cobre, porque ofrece una mayor conductividad, mejor resistencia a la tracción y mayor dureza a la exposición ambiental.

Al efectuar el diagnóstico con el analizador de redes, se observó la presencia de forma recurrente la quinta armónica de tensión, bajo este análisis se determinó que el valor máximo de esta armónica es de 5.64 % en la fase R y este valor está muy cerca al límite permisible del 6 % detallado en la NTCSE que operan bajo el régimen de la ley de concesiones eléctricas Decreto ley N.º 25844, se evidenció también eventos de fluctuaciones en la tensión suministrada a causa de eventos externos a la planta, todos estos eventos no superan los valores permitidos por la norma, pero se recomienda realizar un análisis de la calidad de energía eléctrica a futuro.

Se efectuó la inspección de los conductores tanto de las líneas de distribución como las líneas de alimentación de los equipos, evidenciando que los conductores se encuentran al aire libre, tendidos por el suelo en zonas de alta humedad, por lo que los convierte en factores de alto riesgo y peligro para el personal, como la planta se encuentra al borde del río Mantaro, la humedad es un factor constate, se recomienda la instalación de tuberías pesadas tipo SAP (de pared extra pesado SCH- 80 PVC) para las líneas de alimentación de los equipos.

El estudio de flujo de carga indica que existe una caída de tensión en la cabina 3 de 26 V por debajo de la nominal (380 V), esta caída de tensión es equivalente al 5.3 % y este valor supera el porcentaje de la caída máxima de voltaje permitida en una instalación que está dada como 5 %, con esta propuesta de solución se logra obtener una caída de tensión del 3.61 % que es equivalente a 7 V de la nominal y este valor se encuentra dentro de los parámetros permisibles, el estudio de flujo de cargas se realizó con el simulador ETAP y se evidenció que la corriente que circula por las líneas de distribución existentes sobrepasan a la corriente nominal del conductor de la troncal 1 de aluminio en eventos recurrentes de hasta 15 A, creándose así deterioro del aislamiento, puntos calientes e incluso cortocircuitos.

Sobre la base de la nueva distribución de cargas recomendadas, en la presente investigación se efectuó el dimensionamiento de los interruptores termomagnéticos (ITM) para cada cabina de control, con esta mejora se reducirán las salidas de servicio de estos dispositivos por sobrecalentamiento y, con una correcta codificación de los dispositivos eléctricos, se mejoraría la identificación y asignación del equipo con su tablero de control para facilitar, de esta manera, su intervención para efectuar el mantenimiento respectivo.

### **3.3.9. Discusión de resultados**

#### **a. Resultados del análisis del diagnóstico**

El análisis del diagnóstico se realizó a toda la instalación, durante el análisis de la infraestructura actual con la que cuenta la planta, se verificó que está ubicado a campo abierto, al borde del río Mantaro y por la zona en la que se encuentra la humedad siempre está presente, se realizó la identificación de equipos dentro de la instalación, este proceso fue una actividad difícil de realizar, ya que no solo los equipos se encontraban sin una codificación adecuada, sino también los dispositivos de control no contaban con una identificación, por lo que si el personal con mayor experiencia y conocimiento de los equipos faltara al trabajo se volvería un problema, por el hecho de que toda actividad se realizaría por prueba y error, por ende, el personal no podría llevar el control de mantenimiento de toda la planta, es por ello que se ha planteado la codificación de los dispositivos en relación con el formato de codificación del módulo PM "*Plant Maintenance*" del sistema SAP "*Systems, Applications, Products in Data Processing*", con ello se podrá implementar la seguridad del personal de mantenimiento, así como el propósito de la tesis de Otazu (12) "*Análisis del trabajo y el mantenimiento en el área eléctrica en una planta concentradora de una mina de cobre para implementar un programa de seguridad eléctrica integral*", para este propósito hacen un cuadro estadístico de los accidentes mortales ocurridos en el sector minero, también accidentes mortales a causa de la energía eléctrica. Se llega a establecer que los accidentes eléctricos ocurridos en la empresa son el resultado de la ausencia de un programa

de seguridad eléctrica planteado por la línea de mando y también la falta de mantenimiento de algunos equipos eléctricos, y al incorporar estas normas complementará el sistema de gestión de seguridad de la empresa minera para disminuir la probabilidad de ocurrencia de accidentes con relación al sistema eléctrico. De igual manera, en la tesis de Huaylla (14) *“Análisis del sistema eléctrico de la planta de procesos del proyecto minero Tambomayo Tapay, para la codificación eléctrica (TAG) de equipos de BT y MT”*, también implementan un código (TAG) a todos los equipos eléctricos para que los identifique, este TAG permite relacionarlos en un plano eléctrico, el cual permitirá crear un plano de ubicación de equipos y efectuar las órdenes de trabajo (OT). Además, esta implementación permitirá una gestión de mantenimiento y el cual permitirá administrar y mantener la producción y seguridad de los sistemas y no tener problemas con la producción de la planta.

Se realizó el diagnóstico de cada equipo de la planta con instrumentos de medición certificados, respecto a los estudios de la tensión con la que se encuentran funcionando se determinó que existe una caída de tensión en varios equipos tomando como referencia al  $\pm 5\%$  del voltaje nominal, se realizó el estudio de vibración en la que se determinó que ninguno de los equipos se encuentra fuera de los parámetros establecidos por la norma ISO 10816-3 como valores aceptables para la vibración de motores, también se realizó el Megado de los motores en la que no solo se validaron los valores obtenidos sino la condición en la que se encuentran las borneras, se determinó que los valores obtenidos de las mediciones de los motores son óptimos para continuar con su funcionamiento, ya que el valor mínimo fue de 157.2 Megaohmios, sobre la base de la condición de los equipos y la distribución actual de la línea se determinó que el conductor actualmente utilizado no es el adecuado, porque presenta baja resistencia, por el tiempo de uso y las condiciones climáticas el conductor autoportante se encuentra en condiciones no recomendables para su funcionamiento, por lo que se propone en esta investigación la segmentación de cargas por zonas cercanas a cada cabina de control, la ampliación de la carga con una

cuarta cabina de control y el reforzamiento de las líneas basándose en cada cuadro de cargas de cada cabina de control.

### **b. Resultados del analizador de redes**

Se realizó el análisis de la calidad de energía que se suministra a la planta en la cual se pudo determinar que el voltaje entregado se encuentra dentro de los parámetros permisibles, pero se obtuvo registros de un evento externo a la planta que afectó la calidad de tensión, generando un sobrevoltaje en la primera y segunda fase, se generó una caída de tensión en la tercera fase de la línea RST, este evento no afectó la operación de la planta, ya que estuvo presente en horas de la noche dentro del periodo no laborable, al realizar el diagnóstico con el analizador de redes, aun teniendo mediciones internas de voltajes y corrientes no se podría haber llegado a la conclusión de que es imprescindible la efectividad del sistema eléctrico a través del monitoreo y control de los indicadores de calidad de la energía, es por esta razón que se concuerda con el objetivo del artículo de Berenguer et al. (3) "*Gestión de la calidad de la energía eléctrica*" que presenta las mejoras realizadas a su sistema de monitoreo y control mediante la aplicación de una tecnología de gestión total de la eficiencia energética con la finalidad de mantener la sostenibilidad económica.

### **c. Resultados de las simulaciones**

Al realizar el diagnóstico del flujo de carga actual con las simulaciones de los dos escenarios, empezando por la condición actual en la que solo se encuentra en funcionamiento la línea 1, por encontrarse en periodo de pandemia en la que se determinó que existe una caída de tensión de 26 V en la última carga y cuando se simuló el funcionamiento tanto con las líneas 1 y 2 para simular la producción en tiempo de prepandemia, se obtuvo una caída de tensión de hasta 26 V en la última carga, también se determinó que las interrupciones eran producidas por el mal estado del conductor, el mal dimensionamiento de interruptores termomagnéticos y falta de mantenimientos a los equipos, debido a estas condiciones se optó por cambiar el tipo de conductor, realizar una

reestructuración de sus líneas de distribución y realizar el cálculo del presupuesto para dichas mejoras (previo cálculo matemático y corroborado en el software de simulación ETAP). De la misma manera que en el artículo de Mejía (1) *“Planeación óptima de sistemas de distribución considerando múltiples objetivos: costo de inversión, confiabilidad y pérdidas técnicas”* se obtiene una solución fundamental al problema de cómo planificó su sistema de distribución mediante un planeamiento estático en el que se emplearían dos o más objetivos, así como el planteamiento de soluciones a las condiciones operativas, evitando tener consideraciones abrumadoras en cuanto a la topología empleada, en el análisis de flujo de potencia se efectuaron las simulaciones en el programa ETAP; para las dos soluciones también se consideró la nueva ampliación de la planta donde se observó que las caídas de tensión están dentro de las normas de calidad de energía eléctrica, de igual manera en la tesis de Huayta (16) *“Análisis del flujo de potencia del sistema eléctrico horno 4 por incremento de motores mediante el software ETAP para garantizar la continuidad de sistema eléctrico – planta Condorcocha”*, demuestra que mediante el análisis del flujo de potencia, la influencia que tiene el incremento de carga, debido a la ampliación del horno 4, da como resultado los perfiles de tensión en barra, la sobrecarga de los transformadores y el análisis de cortocircuito obtenidos por medio de procesos de simulación en el software ETAP, utilizando la norma IEC 60909.

#### **d. Resultado de la alternativa de solución**

Se determinó que el conductor más adecuado para la red de distribución es el NYY (80°) 0,6/1 kV triple de sección 3 – 1 x 70 mm<sup>2</sup> que soporta hasta 250 A al aire libre a temperatura de 30 °C, este conductor debe ser implementado tanto en la sección de las cabinas 2 y 1 hasta el tablero general de distribución, luego para las distribuciones a las cabinas 3 y 4 se determinó que el conductor adecuado es el NYY (80°) 0,6/1 kV triple de sección 3 – 1 x 25 mm<sup>2</sup>, que será recuperada de la instalación actual y NYY (80°) 0,6/1 kV triple de sección 3 – 1 x 10 mm<sup>2</sup> respectivamente, sobre la base de estos cambios y el agrupamiento de

las cargas, la simulación dio valores aceptables en las que se refleja una caída de tensión, pero que se mantiene dentro de los parámetros permisibles, es así que esta opción es la más adecuada y recomendada para su implementación.

En cuanto al factor económico, se realizaron las estimaciones de gastos operativos que ascienden a S/ 8,741.86 y el monto de inversión en materiales asciende a un total de S/ 33,768.81, se consideró también los gastos de 2 mantenimientos preventivos anuales que fueron proyectados para los años de estudio equivalentes a S/ 720.00, también se consideraron cifras de retorno e inversión en los siguientes eventos operativos: mantenimiento de líneas de distribución con una recuperación de S/ 850.00, el mantenimiento correctivo de motores con una recuperación de S/ 1,800.00, la paralización de producción por hora con una recuperación de S/ 4,200.00, la paralización de producción por iluminación con una recuperación de S/ 1,800.00, la paralización por salida de contactores o ITM con una recuperación de S/ 3,800.00, el mantenimiento del sistema de iluminación con una recuperación de S/ 120.00, la reducción de producción por falta de visibilidad con una recuperación de S/ 3,800.00; con base en todas estas cifras se realizó el estudio de rentabilidad de proyecto, determinándose que el retorno de inversión se puede conseguir en un mínimo de 4 años, generando una ganancia de S/ 5,693.93, teniendo como referencia un TIR de 16.09 %, por lo que el proyecto técnicamente es muy rentable.

En la planta de beneficios Challhuapozo se efectuó el cálculo matemático para implementación de conductores, contactores, relés, ITM, para poder proteger las electrobombas de sobrecorriente, según las normas del IEEE, en la tesis de Uscamayta (19) "*Estudio de coordinación de protección en la subestación de Totorani acorde a los nuevos cambios de la topología en alta y media tensión para el año 2021*", logran diagnosticar la operatividad del sistema de potencia actual en la subestación y optimizar las funciones de ajustes de relés de

sobrecorriente, por lo cual se verifica el comportamiento del sistema eléctrico en la subestación Totorani.

El primer paso para la planificación fue la inspección de conductores tanto de la línea de distribución interna como las líneas de alimentación de los equipos, lográndose determinar que los conductores se encuentran al aire libre, tendidos por el suelo en zonas de alta humedad, por lo que los convierte en factores de alto riesgo y peligro para el personal, por lo tanto, el analizar primero las características del sistema, así como su problemática y su respectiva solución (incluyendo su costo monetario) son las mismas que el resultado obtenido en el artículo de Torres (10) "*Estrategias efectivas para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica de un sistema de distribución eléctrica*", se observa un análisis al sistema de distribución de 69 kV que se encuentra conectado al Sistema Nacional Interconectado en 7 subestaciones y expresa lo primordial que es verificar la calidad del servicio de energía eléctrica, porque mediante este sistema se da un suministro energético de forma regular y sin ningún perjuicio a los aparatos eléctricos del usuario.

La optimización que se propuso en esta planificación de la planta de beneficio Challhuapozo fue el de anticipar perturbaciones, fallas e interrupciones en las redes de distribución, disminución de pérdidas reflejada en el mantenimiento programado de todo el sistema eléctrico para el aumento de la eficiencia energética en la planta, de la misma manera el resultado del artículo de Mercado et al. (2) "*Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica*" que referenció a la gestión de mantenimiento preventivo y predictivo, obteniendo la optimización energética ajustada y orientada a la eficiencia y calidad de energía eléctrica.

## CONCLUSIONES

1. Al realizar el planeamiento del sistema eléctrico de la planta de beneficio Challhuapozo, se tuvo como resultado una mejora en la caída de tensión, debido al cambio de conductores en la línea de baja tensión donde se planteó el cambio del cable autoportante de aluminio AAC  $3 \times 25 \text{ mm}^2 + 1 \times 25 \text{ mm}^2$  existente a conductor de cobre NYY  $3 \times 70 \text{ mm}^2$  sobre la base de la carga requerida por cada cabina de control, esta mejora en la caída de tensión se validó basándose en la segmentación de cargas existentes más la demanda futura mediante el software ETAP, con el dimensionamiento adecuado de los conductores, termomagnéticos, relés de protección y cables de alimentación; desde los tableros hacia los motores se redujo su salida inesperada, además con una buena codificación de los equipos (motores, vibradoras, cribas, electrobombas, fajas transportadoras) se garantiza una buena identificación de las características técnicas, una adecuada planificación de los mantenimientos.
2. Al realizar el diagnóstico de la planta se evidenció que no se cuenta con diagrama unifilar de conexiones internas, dificultando la identificación y el monitoreo de los equipos instalados, la carga requerida es de 68.88 kW para el funcionamiento de los motores, electrobombas, iluminación y cargas adicionales existentes, bajo el análisis realizado la cabina de control 3 que se encuentra alejada a 160 metros desde el tablero principal tiene la mayor carga de 28.4 kW, y es la que presenta la mayor caída de tensión, siendo el motor de fuerza el más afectado con 359 V, esta cabina se encuentra alimentado con cable de aluminio autoportante de  $3 \times 25 \text{ mm}^2 + 1 \times 25$  que soporta 110 A, que en la prueba de aislamiento evidencia un deterioro del 21 % reflejados en resequedad, cortes y humedad, por lo cual en la presente investigación se concluye que para corregir la caída de tensión a 367 V, se debe realizar el cambio de conductor a NYY y este debe ser implementado por tramos según la carga requerida por los equipos actuales, teniendo en consideración la carga proyectada.

3. Para el estudio de la demanda eléctrica se consideraron tres escenarios, el primero antes de la pandemia del Covid-19, donde se requería una potencia de 82.162 kW debido al funcionamiento de todos los equipos existentes, este valor calculado matemáticamente es validado por el recibo de octubre de 2019, con el desarrollo de la pandemia y las regulaciones laborales emitidas por el Estado se redujo la producción de manera significativa, por lo que la demanda eléctrica se redujo a 31.803 kW valor calculado matemáticamente, esta demanda es validada por el analizador de redes que confirma un consumo máximo de 33 kW, se realizó el cálculo de la demanda considerando la ampliación de carga 19.95 kW adicionales a plena potencia, teniendo un total de 105 kW, en conclusión la máxima demanda eléctrica, considerando la carga proyectada, no sobrepasa la capacidad del transformador de 160 kW.
  
4. Se realizó el estudio de flujo de carga mediante el software ETAP, con el que se simuló el sistema eléctrico de la planta a plena carga, encontrando caídas de tensión en la troncal 3 con un valor de 354 V, que se aleja del +/- 5 % de la tensión nominal, se evidencia también un recalentamiento de la fase 1 del conductor, para dar solución a este inconveniente se recomienda el cambio de conductor de aluminio CAAI 3 x 25 mm<sup>2</sup> + 1 x 25 mm<sup>2</sup> por el tipo NYY 3 x 1 x 70 mm<sup>2</sup>, que al realizar la simulación mejora la caída de tensión llegando a 367 V; no se evidencia recalentamiento del conductor, las simulaciones realizadas consideran la ampliación de carga y la distribución adecuada de las cabinas de control sobre la base de los cálculos matemáticos realizados bajo la potencia demandada por cada una de ellas, confirmando que la selección de conductores fueron los adecuados, el conductor secundario que va desde la cabina 2 hasta la cabina 4 será de tipo NYY 10 mm<sup>2</sup> que, de acuerdo al cálculo matemático, tiene una caída de tensión de 0.88 %, se reflejó que los cambios propuestos permitirán tener un eficiente diseño, planeación y operación de la planta, teniendo una respuesta inmediata a cualquier falla del sistema.

## TRABAJOS FUTUROS

1. Actualmente, en el mundo entero el uso de los bancos de condensadores se desarrolla a toda la gama, desde los muy grandes hasta los muy pequeños, considerando así, que un trabajo futuro para mejorar el rendimiento de los equipos y reducir los costos de facturación por el consumo excesivo de energía reactiva es la de realizar el estudio e implementación de un banco de condensadores para la planta.
2. Actualmente, se evidenció la inyección de corrientes armónicas en el sistema eléctrico, que genera los siguientes efectos indeseables en la red como calentamiento en cables, transformadores y máquinas rotativas, mal funcionamiento de los equipos electrónicos de control, de protección y de medida; se recomienda efectuar un estudio para la implementación de un filtro pasivo orientado a la quinta armónica que es la más recurrente dentro de la planta.
3. Se recomienda efectuar un estudio para determinar un adecuado plan de mantenimiento de los equipos, al mismo tiempo, implementar formatos que permita tener un seguimiento adecuado del estado de cada máquina, tanto de la parte mecánica y eléctrica en la que se considere mediciones de tensión, corriente, vibración, temperatura, estado de aislamiento de cada motor y, de esta manera, prever futuras fallas de un equipo con anticipación y programar los mantenimientos correctivos y preventivos de acuerdo a la necesidad.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **MEJÍA, Ana; HINCAPIÉ, Ricardo; GALLEGRO, Ramón.** *Planeación óptima de sistemas de distribución considerando múltiples objetivos: costo de inversión, confiabilidad y pérdidas técnicas.* [En línea] marzo de 2015. [Citado el: 6 de julio de 2021.]  
<https://www.redalyc.org/pdf/2570/257033592009.pdf>
2. **MERCADO, Verena; PEÑA, José.** Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica. [En línea] 2015. [Citado el: 4 de 7 de 2021.]  
<https://www.redalyc.org/journal/4277/427746276011/html/>
3. **BERENQUER, Mónica; HERNÁNDEZ, Rafaela; CONDE, Esther; ARIAS, Ramón; DOUGLAS, Gilart.** Gestión de calidad de la energía eléctrica. [En línea] enero- abril de 2018. [Citado el: 5 de 7 de 2021.]  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012018000100009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012018000100009)
4. **ESCUADERO, Manuel; ROJAS, Jorge; QUIZHPI, Flavio.** Diagnóstico y evaluación de confiabilidad del alimentador # 122 para la empresa eléctrica Azogues C. A. usando el método de simulación de Montecarlo. [En línea] 2017. [Citado el: 1 de 7 de 2021]  
[https://www.researchgate.net/publication/258438968\\_Diagnostico\\_y\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Confiabilidad\\_del\\_Alimentador\\_122\\_para\\_la\\_Empresa\\_Electrica\\_Azogues\\_CA\\_usando\\_el\\_Metodo\\_de\\_Simulacion\\_de\\_Montecarlo](https://www.researchgate.net/publication/258438968_Diagnostico_y_Evaluacion_de_la_Confiabilidad_del_Alimentador_122_para_la_Empresa_Electrica_Azogues_CA_usando_el_Metodo_de_Simulacion_de_Montecarlo)
5. **BORGES, Davel; CONCEPCIÓN, Yoel.** Compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución primaria de energía aplicando algoritmos genéticos. [En línea] enero-abril de 2017. [Citado el: 10 de 7 de 2021.]  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012017000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012017000100004)
6. **BORGES, Davel; PÉREZ, Ignacio; LEÓN, Vicente.** Modelación de los efectos de la compensación de potencia reactiva en sistema de suministro eléctrico. [En línea] mayo de 2021. [Citado el: 12 de 7 de 2021.]  
[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-33052012000200003&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-33052012000200003&script=sci_arttext)

7. **SÁNCHEZ, Orlando.** Compensación de potencia reactiva en la empresa comandante Ernesto Che Guevara. [En línea] 2008. [Citado el: 11 de 7 de 2021.] <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3840>
8. **TRUJILLO, Camilo; ÁLVAREZ, David.** Gestión técnico-económica de banco de compensación reactiva. [En línea] agosto de 2012. [Citado el: 7 de 7 de 2021] <https://n9.cl/ekwj2>
9. **GIL, Francisco; MANZANO, Francisco; GÓMEZ, Julio; SÁNCHEZ, Pedro.** Técnicas de investigación en calidad eléctrica: ventajas e inconvenientes. [En línea] [Citado el: 2 de 7 de 2021] [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0012-73532012000300008&lng=pt&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532012000300008&lng=pt&nrm=iso&tlng=es)
10. **TORRES, Jorge; TORRES, Miguel; TORRES, Jorge.** Estrategias efectivas para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica de un sistema de distribución eléctrico. [En línea] 11 de 2013. [Citado el: 10 de 7 de 2021] <http://revistas.ulvr.edu.ec/index.php/yachana/article/download/41/36/163>
11. **ESCOBAL, M.** Implementación de una auditoría eléctrica para reducir el consumo de energía eléctrica en el hospital II de EsSalud Cajamarca. [En línea] 2017. [Citado el: 11 de 7 de 2021.] <https://hdl.handle.net/20.500.12692/32418>
12. **OTAZU, A.** Análisis del trabajo y el mantenimiento en el área eléctrica en una planta concentradora de una mina de cobre para implementar un programa de seguridad eléctrica integral. [En línea] 2018. [Citado el: 6 de 7 de 2021.] <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9156>
13. **CORZO, A.** Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica del sistema de utilización de la clínica Rebagliati, Huancayo. [En línea] 2019. [Citado el: 2 de 7 de 2021.] <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8725>
14. **HUAYLLA, B.** Análisis del sistema eléctrico de la planta de procesos del proyecto minero Tambomayo Tapay, para la codificación eléctrica (TAG) de equipos de BT y MT. [En línea] 2019. [Citado el: 8 de 7 de 2021.] <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11000>
15. **MIRANDA, J.** Determinación de la influencia de un banco de condensadores para reducir el consumo de potencia reactiva en el sistema eléctrico Epasa, San Martín. [En línea] 2018. [Citado el: 11 de 7 de 2021.] <https://hdl.handle.net/20.500.12394/5007>

16. **HUAYTA, C.** Análisis del flujo de potencia del sistema eléctrico horno 4 por incremento de motores mediante software ETAP para garantizar la continuidad de suministro eléctrico - planta Condorcocha. [En línea] 2017. [Citado el: 9 de 7 de 2021.] <https://hdl.handle.net/20.500.12394/3579>
17. **MEDINA, J.** Perfeccionamiento del modelamiento eléctrico con flujo de potencia, cortocircuito y arco flash, utilizando el software ETAP para una faja transportadora de minerales. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de 7 de 2021] [https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9437?locale=pt\\_BR](https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9437?locale=pt_BR)
18. **ORTIZ, D.** Coordinación de protecciones de las minicentrales hidroeléctricas Huarisca - Ingenio y el Machu para su reconocimiento por el COES. [En línea] 2009. [Citado el: 14 de 7 de 2021] <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3557/Ortiz%20Ch%C3%A1vez.pdf>
19. **USCAMAYTA, R.** Estudio de coordinación de protección en la subestación de Torani acorde a los nuevos cambios de la topología en alta y media tensión para el año 2021. [En línea] 18 de 11 de 2020. [Citado el: 15 de 7 de 2021] <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14279>
20. **QUINTANA, C.** Optimización de la protección eléctrica para minimizar las interrupciones en el tramo del eje Matahuasi - Quebrada Honda. [En línea] 2021. [Citado el: 15 de 7 de 2021.] <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6668>
21. **FERNÁNDEZ, D.** Caracterización de cargas típicas. [En línea] 2009. [Citado el: 15 de 8 de 2021.] <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/4197/Dany%20Juver%20Fern%C3%A1ndez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
22. **EDP Proyectos S. A. C.** Resistencia de aislamiento. [En línea] 31 de 8 de 1994. [Citado el: 2 de 8 de 2021] <https://www.edpproyectos.com/blog-edp/15-resistencia-de-aislamiento>
23. **Ingemecánica.** Intensidad de corriente admisible. [En línea] 18 de 5 de 2021. [Citado el: 16 de 8 de 2021] [https://ingemecanica.com/tutoriales/intensidades\\_admisibles\\_conductores\\_de\\_cobre.html](https://ingemecanica.com/tutoriales/intensidades_admisibles_conductores_de_cobre.html)

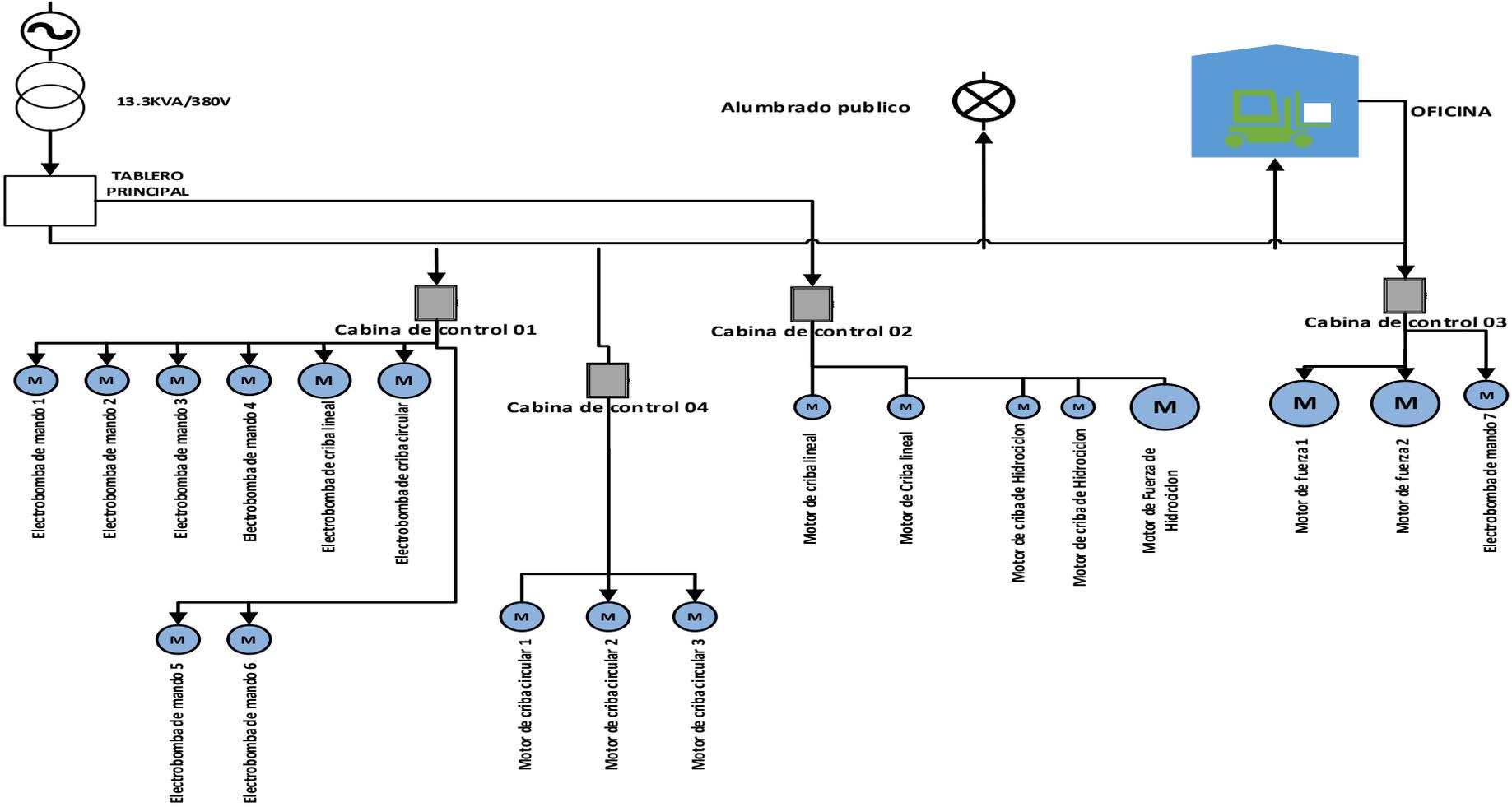
24. **Migueliez.** Caída de tensión. [En línea] 2021. [Citado el: 5 de 8 de 2021]  
<https://www.migueliez.com/descargas/categoria14/caida-de-tension-migueliez-cables-electricos.pdf>
25. **Bibing.** Intensidad de cortocircuito admisible. [En línea] [Citado el: 14 de 8 de 2021]  
[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5536/fichero/2\\_memoria+calculo.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5536/fichero/2_memoria+calculo.pdf)
26. **Ecured.cu.** Motores asíncronos. [En línea] [Citado el: 5 de 8 de 2021.]  
[https://www.ecured.cu/Motor\\_asincr%C3%B3nico](https://www.ecured.cu/Motor_asincr%C3%B3nico)
27. **Electricaplicada.** Potencia reactiva. [En línea] 2020. [Citado el: 8 de 8 de 2021.] <https://www.electricaplicada.com/que-es-la-potencia-activa-p-kw/>
28. —. Potencia Aparente. [En línea] 2020. [Citado el: 8 de 8 de 2021]  
<https://www.electricaplicada.com/que-es-la-potencia-aparente-kva/>
29. **Unidad de planeación minero-energética de Colombia (UPME).** Corrección del factor de potencia y control de la demanda. [En línea] [Citado el: 1 de 10 de 2021]  
<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/factor.pdf>
30. **Energía, RTR.** Los armónicos y la calidad de la energía eléctrica. [En línea] [Citado el: 13 de 8 de 2021]  
<http://fotosdeelectricidad.es/wp-content/uploads/2012/11/Armonicos.-RTR.pdf>
31. **Seenco Group Team.** Distorsión armónica total . [En línea] [Citado el: 10 de 8 de 2021] <https://www.seencogroup.com/distorsion-armonica-total-que-paso-con-mi-onda-perfecta/>
32. **Sector electricidad.** Apartarrayos. [En línea] 30 de abril de 2017. [Citado el: 16 de 8 de 2021] <https://www.sectorelectricidad.com/17460/17460/>
33. **Bricos.** Sistema de puesta a tierra. [En línea] [Citado el: 11 de 8 de 2021]  
[https://bricos.com/2013/06/que-es-una-sistema-de-puesta-a-tierra/.](https://bricos.com/2013/06/que-es-una-sistema-de-puesta-a-tierra/)
34. **Fusibles Colombia.** Estudio del funcionamiento de fusibles eléctricos. [En línea] [Citado el: 9 de 8 de 2021]  
[https://www.fusibles.cl/files/memorias/mem\\_1\\_1252620101.pdf.](https://www.fusibles.cl/files/memorias/mem_1_1252620101.pdf)
35. **Riverglennapts.** Relés. [En línea] [Citado el: 17 de 8 de 2021]  
[https://riverglennapts.com/es/protection-relay/685-types-of-electrical-protection-relays-or-protective-relays.html.](https://riverglennapts.com/es/protection-relay/685-types-of-electrical-protection-relays-or-protective-relays.html)

36. **Ternium.** Electricidad básica. [En línea] [Citado el: 4 de 8 de 2021]  
[http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad\\_basica\\_ii.pdf](http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/electricidad_basica_ii.pdf)
37. **Sonami.** Instalación y mantención de sistemas eléctricos. [En línea] mayo de 2014. [Citado el: 12 de 8 de 2021.] <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/12.instalacion-mantencion-sistemas-electricos.pdf>

## **ANEXOS**

# Anexo 1

## Cuadro de cargas generales



**Anexo 2**  
**Cuadro de demanda prepandemia**

Cuadro de cálculos eléctricos												
Usos	Descripción	Área.	Calif.	Pot. inst.	F.D.	Máx. dem.	In	I diseño	Conductor	Tablero		
		(m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> )	(KW)		(kW)	(Amp)	(Amp)				
Sistema trifásico 380 V												
Planta de beneficio de Challhuapozo	Área construida	72	15	1.080	0.9	4.572	124.38	155.47	3 x 25 mm <sup>2</sup> + 1 x 25 mm <sup>2</sup> ACCI	TG (3 x 200A)		
	Área libre	800	5	4.000								
	Motores y alumbrado a utilizarse											
	Alumbrado			0.600	1	182.162						
	Computadoras y equipos menores			0.250								
	Lavado 15HP (2 unid.)			22.380								
	Electrobombas 3HP (9 unid.)			20.140								
	Hidrociclón 20 HP	Funcionando		14.920								
	Maquinas Cernidoras 16HP (2 unid.)	Funcionando		23.872								
	reserva y otras cargas			100.000								
			182.162				186.734					
Máxima demanda: 86.734 kW												
Subestación: 200 kVA												

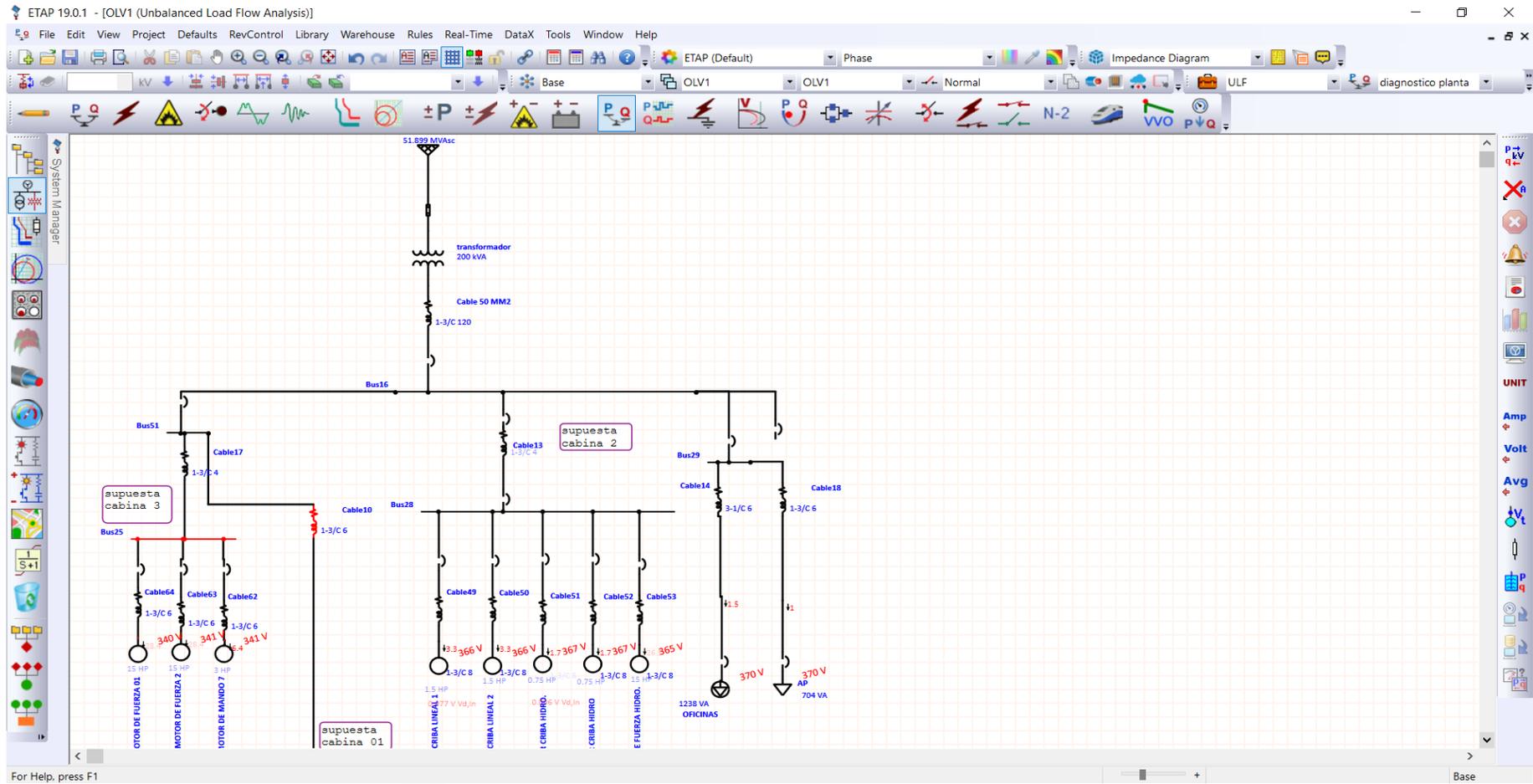
**Anexo 3**  
**Cuadro de demanda en Pandemia**

Cuadro de cálculos eléctricos														
Usos	Descripción	Área	Calif.	Pot. inst.	F.D.	Máx. dem.	In	I diseño	Conductor	Tablero				
		(m2)	(W/m <sup>2</sup> )	(kW)		(kW)	(Amp)	(Amp)						
Sistema trifásico 380 V														
Planta de beneficio de Challhuapozo	Área Construida	72	15	1.080	0.9	4.572	60.47	75.588	3 x 25mm <sup>2</sup> + 1 x 25 mm <sup>2</sup> ACCI	TG (3 x 200A)				
	Área Libre	800	5	4.000										
	Motores y alumbrado a utilizarse													
	Alumbrado			0.600	1	31.803								
	Computadoras y equipos menores			0.250										
	Lavado 15HP (2 unid.)			22.380										
	Electrobombas 3HP (2 unid.)			4.47										
	Hidrociclón 20 HP		Parado	0.000										
	Maquinas Cernidoras 16HP (2 unid.)		Parado	0.000										
	reserva y otras cargas		Parado	0.000										
				31.803				36.375						
Máxima demanda: 36.375 kW Subestación: 200 kVA														

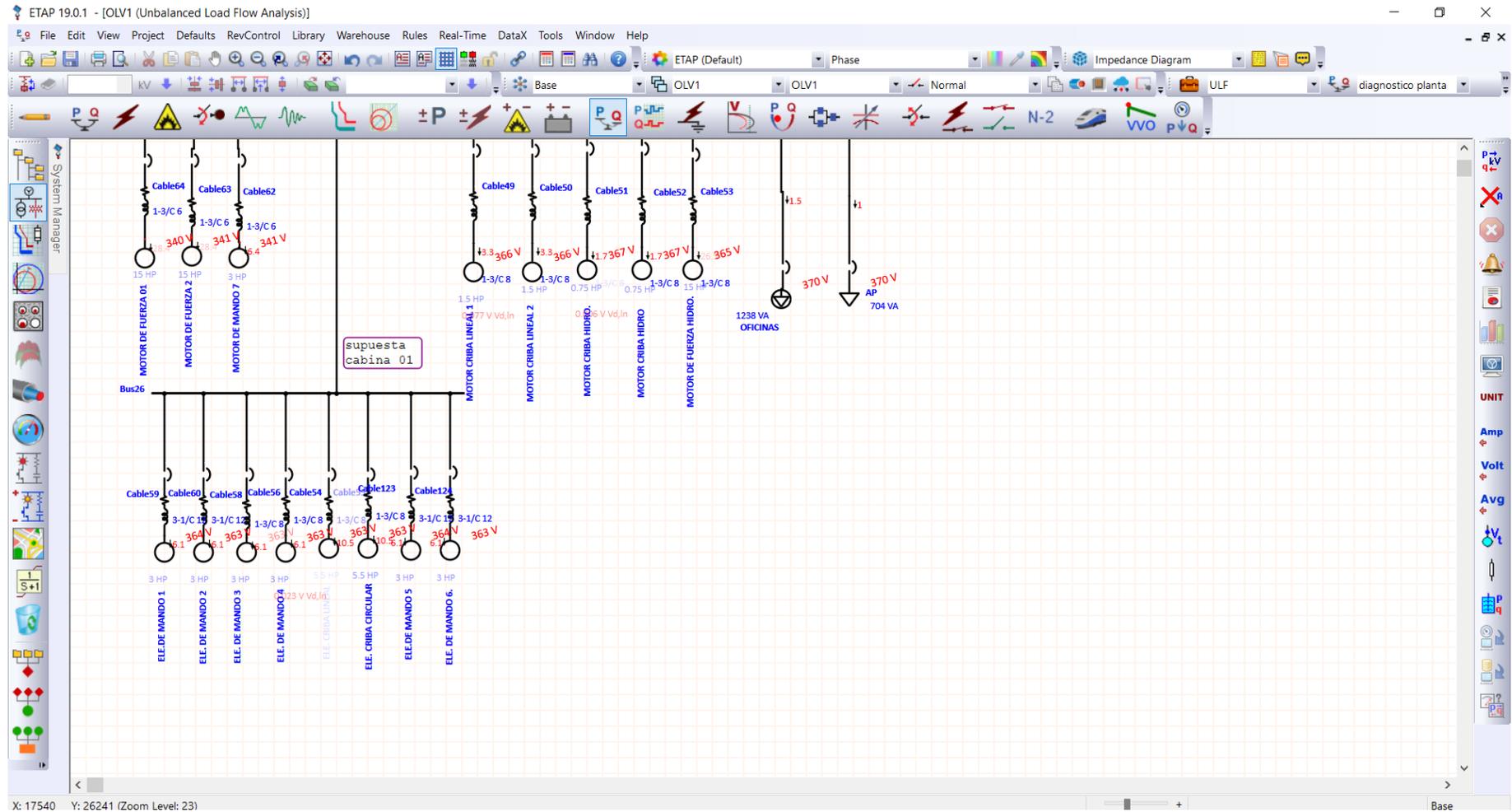
## Anexo 4

### Estado actual de la planta simulado en ETAP

#### Parte 1

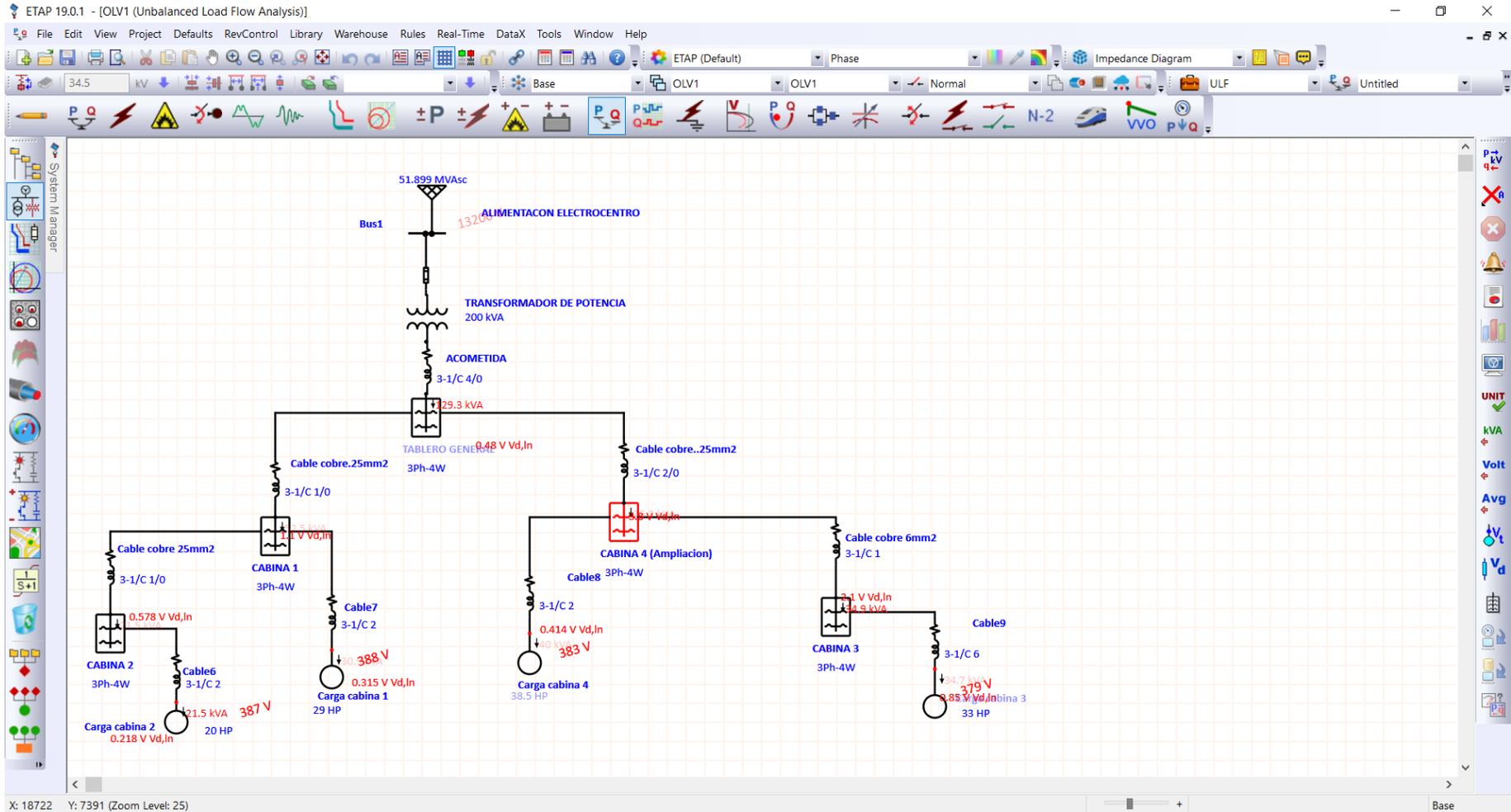


## Parte 2

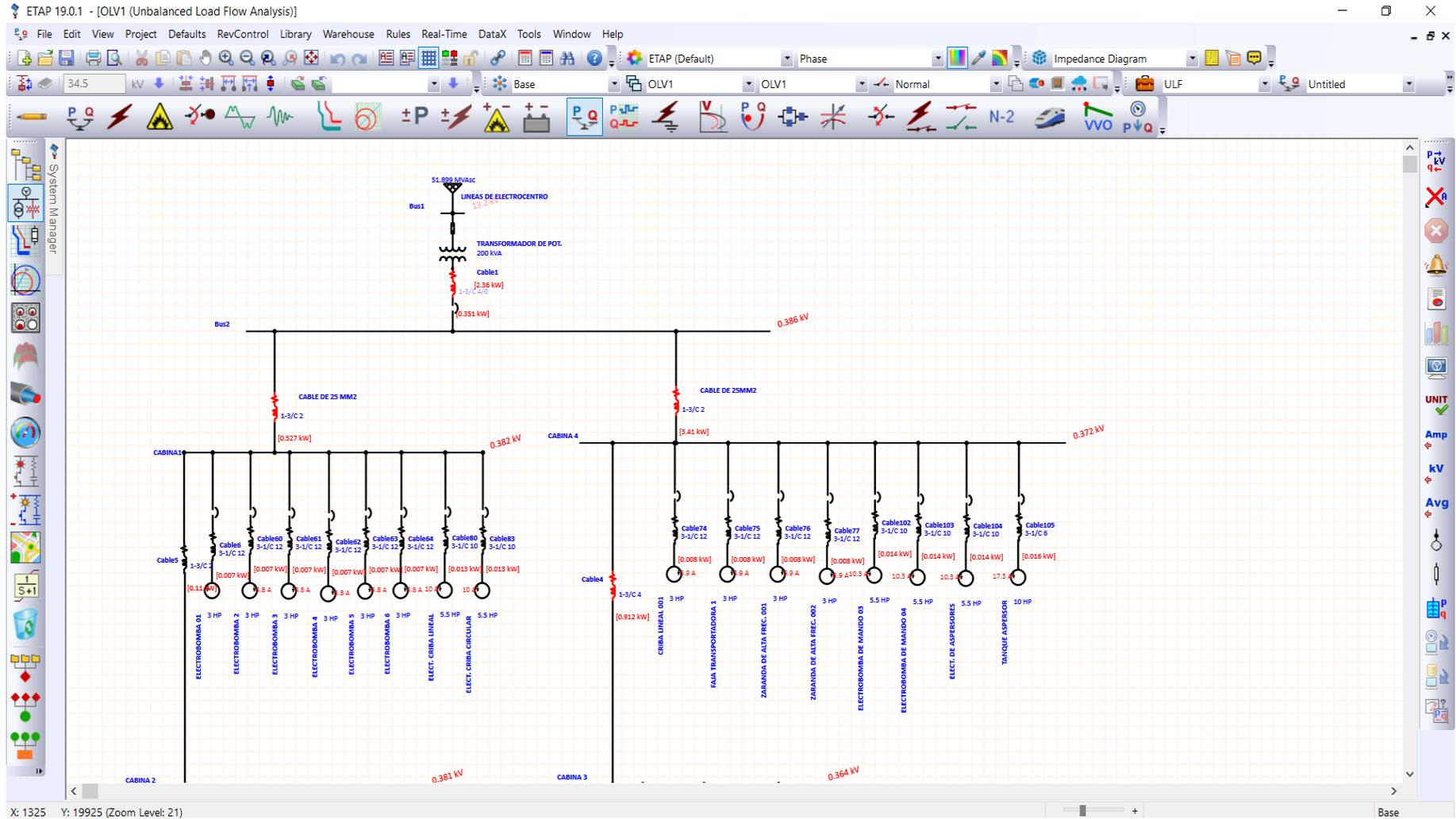


## Anexo 5

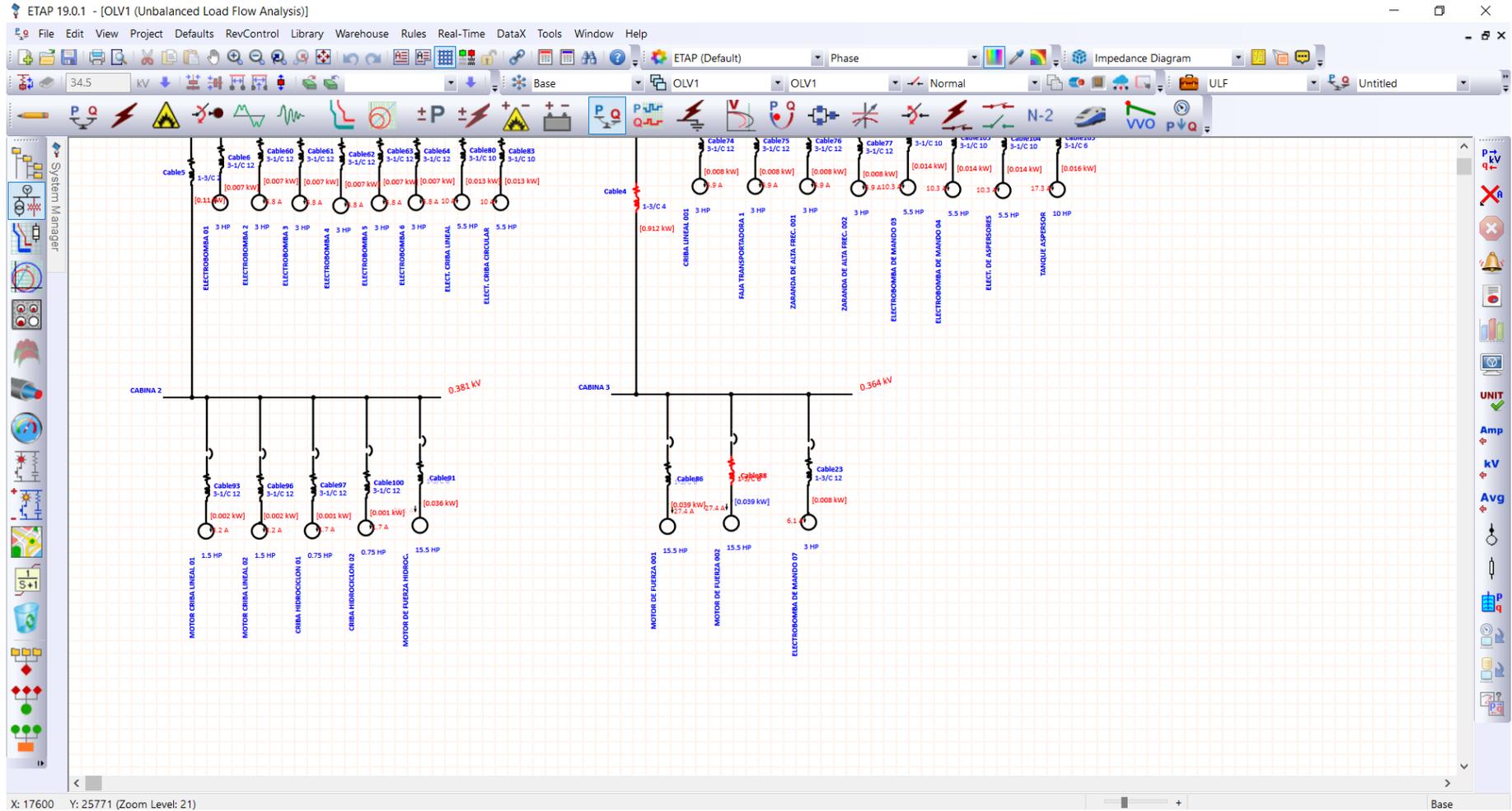
### Propuesta de solución 1 simulado en ETAP



## Propuesta de solución 1 (simulación detallada)

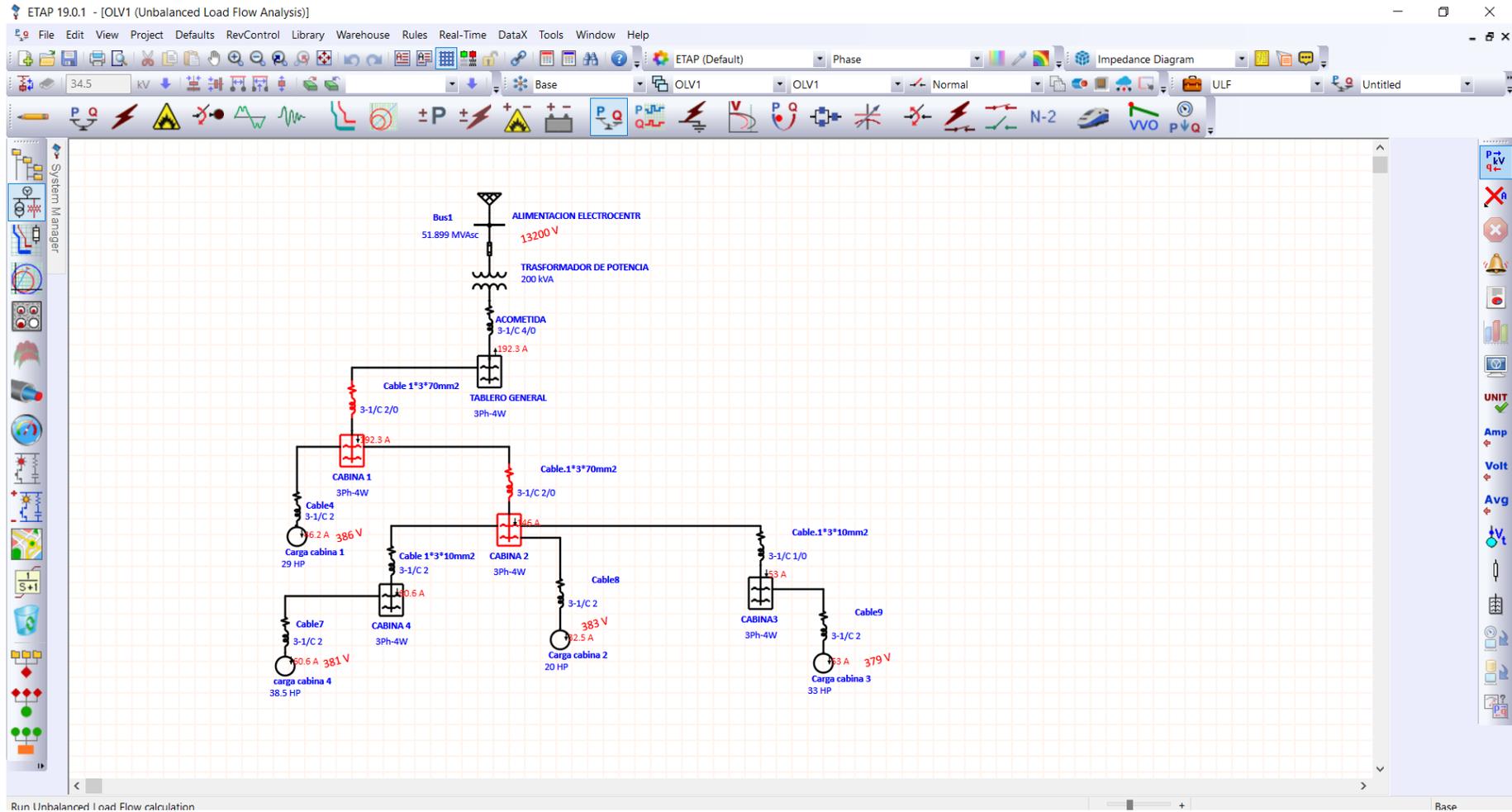


## Propuesta de solución 1 (simulación detallada)

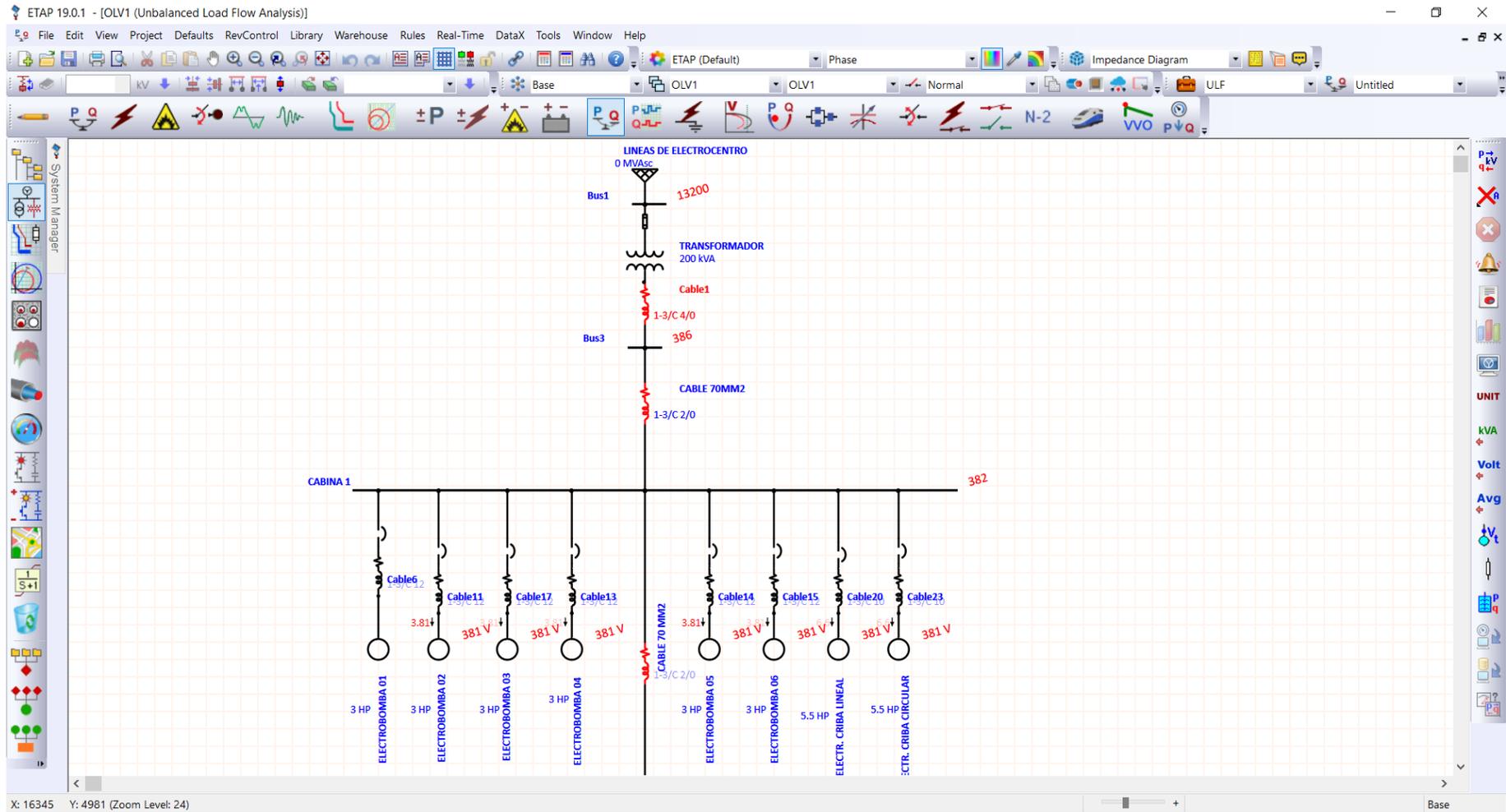


## Anexo 6

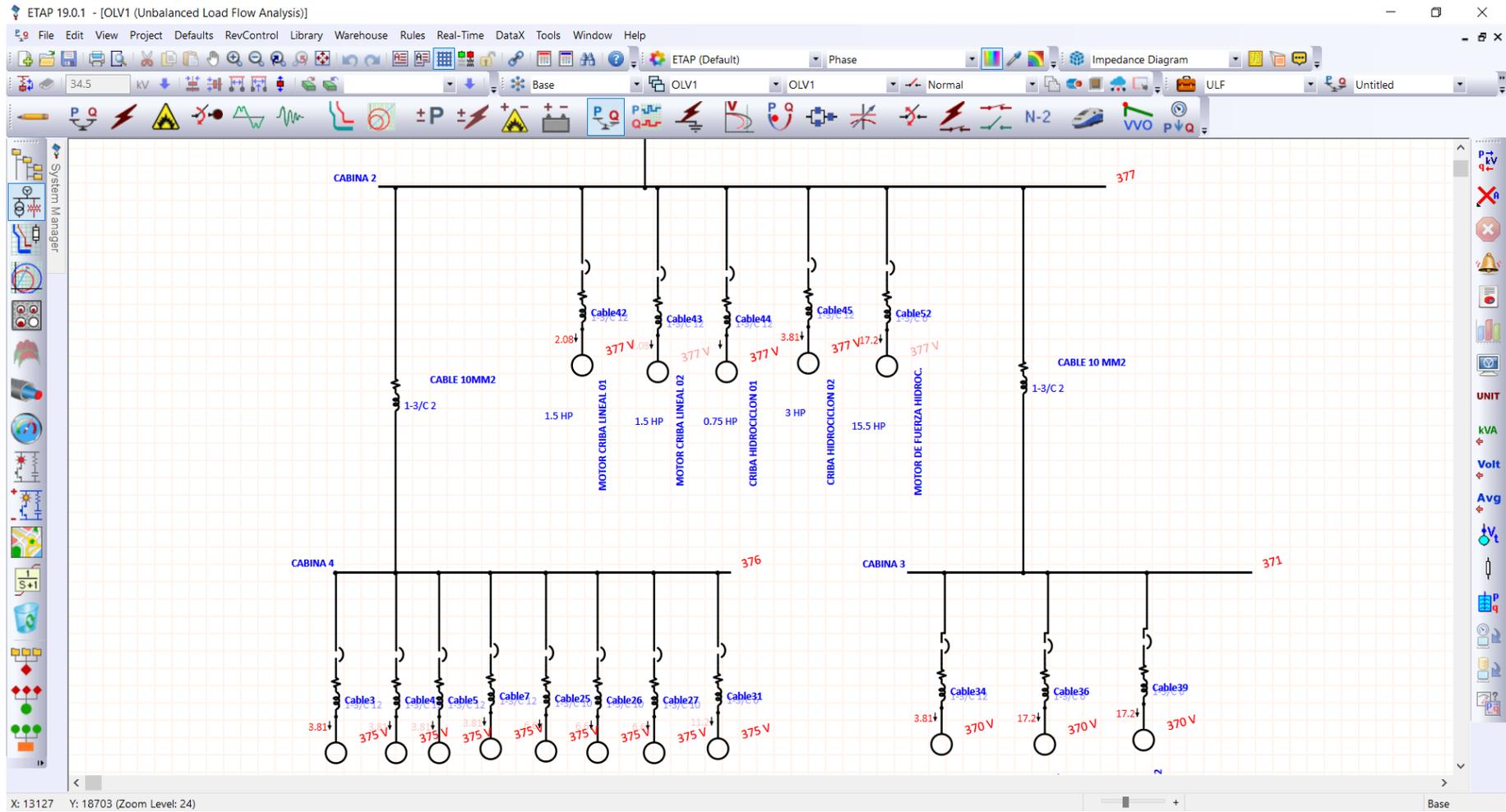
### Propuesta de solución 2 simulado en ETAP



## Propuesta de solución 2 (simulación detallada)



## Propuesta de solución 2 (simulación detallada)



## Anexo 7

### Análisis de costo de instalación de red eléctrica de la planta

#### Challhuapozo

#### Ampliación de carga y

Proyecto : **reforzamiento de troncal**

Replanteo topográfico,

Partida : **ubicación de estructuras**

Unidad : **Localidad**

Descripción		Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Materiales varios (estaca, wincha metálica de 50 m, yeso, cordel, pintura, etc., útiles y equipos de gabinete)		%MO	5.00	330.28	16.51
				Subtotal	16.51
<b>Mano de obra</b>					
Ingeniero especialista en redes secundarias		h-h	4.00	32.30	129.20
Topógrafo operador de teodolito		h-h	4.00	13.18	52.72
Oficial		h-h	4.00	13.23	52.92
Peón		h-h	8.00	11.93	95.44
				Subtotal	330.28
<b>Equipos y herramientas</b>					
Camioneta rural 4 x 4 de 135 HP	0.25	h-m	2.00	64.27	128.54
Herramientas 5 % mano de obra		%	1.00	330.28	3.30
				Subtotal	131.84
	Total			<b>S/</b>	<b>478.63</b>

#### Ampliación de carga y

Proyecto : **reforzamiento de troncal**

Excavación en

Partida : **terreno normal**

Unidad : **m<sup>3</sup>**

Descripción		Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Materiales varios (yeso, estacas, cordel, etc.)		%	1.00	300.00	300.00
				Subtotal	300
<b>Mano de obra</b>					

Capataz	1.0	h-h	4.00	55.00	220.00
Peón	1.0	h-h	8.00	45.00	360.00
				Subtotal	580.00
Equipos y herramientas					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t	0.15	h-m	1.00	118.17	118.17
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	580.00	29.00
				Subtotal	147.17
	Total			<b>S/</b>	<b>1027.17</b>

### Ampliación de carga y

Proyecto : **reforzamiento de troncal**

Excavación en

Partida : terreno rocoso

Unidad : m<sup>3</sup>

Descripción		Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
Materiales					
Materiales varios (yeso, estacas, cordel, etc.)		%	1.00	200.00	200.00
				Subtotal	200
Mano de obra					
Operario	1.0	h-h	4.00	50.00	200.00
Peón	2.0	h-h	8.00	45.00	360.00
				Subtotal	560.00
Equipos y herramientas					
Compresor neumático, perforador y barrenos	1.000	h-m	1.00	86.06	86.06
(incluye explosivos, fulminantes y mechas)					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t	0.100	h-m	1.00	118.17	118.17
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	560.00	28.00
				Subtotal	232.23
	Total			<b>S/.</b>	<b>992.23</b>

**Ampliación de carga y reforzamiento de troncal**  
 Proyecto :  
 Partida : Relleno y compactación para cimentación de poste  
 Unidad : m<sup>3</sup>

Descripción		Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Piedra mediana de cantera		m <sup>3</sup>	1.00	33.38	33.38
Agua		m3	2.00	8.70	17.40
				Subtotal	50.78
<b>Mano de obra</b>					
Oficial		h-h	2.00	50.00	100.00
Peón		h-h	4.00	45.00	180.00
				Subtotal	280.00
<b>Equipos y herramientas</b>					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t		h-m	1.00	118.17	118.17
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	280.00	14.00
				Subtotal	132.17
	Total			<b>S/</b>	<b>462.95</b>

**Ampliación de carga y reforzamiento de troncal**  
 Proyecto :  
 Partida : Relleno y compactación para instalación bloque de anclaje  
 Unidad : m<sup>3</sup>

Descripción		Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Piedra grande de cantera		m <sup>3</sup>	1.00	33.38	33.38
Agua		m3	2.00	8.70	17.40
				Subtotal	50.78
<b>Mano de obra</b>					
Oficial		h-h	2.00	50.00	100.00
Peón		h-h	4.00	45.00	180.00
				Subtotal	280.00
<b>Equipos y herramientas</b>					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t		h-m	1.00	118.17	118.17
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	280.00	14.00
				Subtotal	132.17
	Total			<b>S/</b>	<b>462.95</b>

**Ampliación de carga y  
reforzamiento de troncal**

Proyecto :

Transporte de poste de concreto de  
almacén a punto de izaje

Partida :

Unidad :

Un.

Descripción		Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Materiales varios (Estrobo, sogas, etc.) 5 % MO		%	1.00	125.00	125.00
				Subtotal	125.00
<b>Mano de obra</b>					
Oficial		h-h	1.00	50.00	50.00
Peón		h-h	2.00	45.00	90.00
				Subtotal	140.00
<b>Equipos y herramientas</b>					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t		h-m	1.00	118.17	118.17
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	140.00	7.00
				Subtotal	125.17
	Total			<b>S/</b>	<b>390.17</b>

**Ampliación de carga y  
reforzamiento de troncal**

Proyecto :

Izaje de poste

Partida :

de CAC

Unidad :

Un.

Descripción		Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Materiales varios (estribo, sogas, pintura, brochas, etc.)		% MO	1.00	115.00	115.00
				Subtotal	115.00
<b>Mano de obra</b>					
Operario		h-h	1.00	50.00	50.00
Peón		h-h	2.00	45.00	90.00
				Subtotal	140.00
<b>Equipos y herramientas</b>					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t		h-m	1.00	118.17	118.17
Pluma de izaje		h-m	1.00	18.00	18.00

Herramientas 5 % de mano de obra		%	5.00	140.00	7.00
				Subtotal	143.17
	Total			<b>S/</b>	<b>398.17</b>

### Ampliación de carga y

Proyecto : **reforzamiento de troncal**

Instalación de

Partida : retenida

Unidad : Un.

Descripción		Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Materiales varios (soga, estrobo, etc.)		% M.O.	1.00	45.00	45.00
				Subtotal	45.00
<b>Mano de obra</b>					
Operario		h-h	1.00	50.00	50.00
Peón		h-h	2.00	45.00	90.00
				Subtotal	140.00
<b>Equipos y herramientas</b>					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t		h-m	1.00	118.17	118.17
Tirfor 3 t		h-m	1.00	45.00	45.00
Escalera		h-m	1.00	120.00	120.00
Caja de herramientas		h-m	2.00	134.00	268.00
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	140.00	7.00
				Subtotal	558.17
	Total			<b>S/</b>	<b>743.17</b>

### Ampliación de carga y

Proyecto : **reforzamiento de troncal**

Armado con alineamiento y ángulo

Partida : sin caja de derivación

Unidad : Un.

Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Materiales varios (soga, estrobo, etc.)		%	1.00	42.00	42.00
				Subtotal	42.00
<b>Mano de obra</b>					

Operario		h-h	1.00	50.00	50.00
Peón		h-h	2.00	45.00	90.00
				Subtotal	140.00
Equipos y herramientas					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t		h-m	1.00	118.17	118.17
Caja de herramientas		h-m	2.00	134.00	268.00
Escalera		h-m	1.00	120.00	120.00
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	140.00	7.00
				Subtotal	513.17
	Total			<b>S/</b>	<b>695.17</b>

### Ampliación de carga y

Proyecto : **reforzamiento de troncal**  
Tendido y puesta en flecha  
de conductor  
Partida :  
Unidad : km

Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
Materiales					
Soga de manila		kg	1.00	15.92	15.92
Soga de nylon		kg	1.00	37.15	37.15
Materiales varios		% M.O.	5.00	140.00	7.00
				Subtotal	60.07
Mano de obra					
Operario		h-h	1.00	50.00	50.00
Peón		h-h	2.00	45.00	90.00
				Subtotal	140.00
Equipos y herramientas					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t	0.25	h-m	1.00	118.17	118.17
Tirfor 3 ton.	2.00	h-m	2.00	48.00	96.00
Escalera	2.00	h-m	2.00	120.00	240.00
Agua	2.00	h-m	2.00	8.70	17.40
Equipo de comunicación	4.00	h-m	4.00	24.00	96.00
Caja de herramientas	4.00	h-m	1.00	134.00	134.00
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	140.00	7.00
				Subtotal	708.57
	Total			<b>S/</b>	<b>908.64</b>

### Ampliación de carga y

Proyecto : **reforzamiento de troncal**

Instalación de

Partida : Pastoral de A°G°

Unidad : Un.

Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Materiales varios (soga, estrobo, etc.)		%	1.00	45.00	45.00
				Subtotal	45.00
<b>Mano de obra</b>					
Operario		h-h	1.00	50.00	50.00
Peón		h-h	2.00	45.00	90.00
				Subtotal	140.00
<b>Equipos y herramientas</b>					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t		h-m	1.00	118.17	118.17
Caja de herramientas		h-m	1.00	134.00	134.00
Escalera		h-m	1.00	120.00	120.00
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	140.00	7.00
				Subtotal	379.17
	Total			<b>S/</b>	<b>564.17</b>

**Ampliación de carga y**

Proyecto : **reforzamiento de troncal**

Instalación de luminaria,

Partida : lámpara y accesorios

Unidad : Un.

Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Materiales varios (soga, estrobo, etc.)		%	1.00	45.00	45.00
				Subtotal	45.00
<b>Mano de obra</b>					
Operario		h-h	1.00	50.00	50.00
Peón		h-h	2.00	45.00	90.00
				Subtotal	140.00
<b>Equipos y herramientas</b>					
Camión plataforma 4 x 2, 122 HP, 8 t		h-m	1.00	118.17	118.17
Caja de herramientas		h-m	1.00	134.00	134.00
Escalera		h-m	1.00	120.00	120.00

Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	140.00	7.00
				Subtotal	379.17
	Total			<b>S/</b>	<b>564.17</b>

### Ampliación de carga y

Proyecto : **reforzamiento de troncal**

Prueba y puesta

Partida : en servicio

Unidad : Localidades

Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario	Parcial
				S/	S/
<b>Materiales</b>					
Material varios (soga, estrobo, etc.)		%	1.00	45.00	45.00
				Subtotal	45.00
<b>Mano de obra</b>					
Operario		h-h	1.00	50.00	50.00
Peón		h-h	2.00	45.00	90.00
				Subtotal	140.00
<b>Equipos y herramientas</b>					
Camioneta rural 4 x 4 de 135 HP	0.25	h-m	1.00	64.27	64.27
Teodolito	1.00	h-m	1.00	350.00	350.00
Medidor de aislamiento eléctrico	1.00	h-m	1.00	180.00	180.00
Caja de herramientas	2.00	h-m	2.00	134.00	268.00
Herramientas 5 % mano de obra		%	5.00	140.00	7.00
				Subtotal	869.27
	Total			<b>S/</b>	<b>1054.27</b>

**Total inversión de operaciones**

**S/ 8,741.86**

## Anexo 8

### Análisis de precios unitarios de la red de instalación de la planta

#### Challhuapozo

ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	(1)	(2)	(3)	TOTAL CANT.	UNIT. S/.	TOTAL S/.
			CANT.	CANT.	CANT.			
<b>1.00</b>	<b>POSTES</b>							
1.01	Poste de CAC 8m/200 daN (Incluye perilla)	u	2.00	0.00	0.00	2.00	350.40	700.80
1.02	Poste de madera importada 8 m, Clase 6	u	2.00	0.00	0.00	2.00	241.28	482.56
	<b>SUB-TOTAL 1:</b>							<b>1,183.36</b>
<b>2.00</b>	<b>CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE - LINEAS</b>							
2.01	Conductor NYY(80°) 0,6/1 kV 3x70 mm2	m	30.00	70.00	0.00	100.00	101.11	10,111.00
2.02	Conductor NYY(80°) 0,6/1 kV 3x10 mm2	km	90.00	20.00	170.00	280.00	24.22	6,781.60
2.03	Accesorios de cables	Glb				0.33	2,100.00	693.00
	<b>SUB-TOTAL 2:</b>							<b>17,585.60</b>
<b>3.00</b>	<b>CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE - MOTORES</b>							
3.01	Conductor de Cu recocido, tipo N2XY, bipolar, 2x10 mm2, cubierta negra	m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	2.02
3.02	Conductor de Cu recocido, tipo N2XY, tripolar, 3x10 mm2, cubierta negra	m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	4.75
3.03	Conductor de Cu 4 x 12 AWG	m	30.00	20.00	50.00	100.00	15.00	1,500.00
3.04	Conductor de Cu 3 x 12 AWG	m	40.00	20.00	30.00	90.00	8.20	738.00
3.05	Conductor de Cu 4 x 10 AWG	m	50.00	30.00	20.00	100.00	4.50	450.00
3.06	Accesorios de cables	Glb				0.20	2,100.00	415.80
	<b>SUB-TOTAL 3:</b>							<b>3,103.80</b>
<b>4.00</b>	<b>EQUIPOS DE ALUMBRADO PUBLICO</b>							
4.01	Luminaria completa con equipo para lampara de 50 W	u	3.00	3.00	0.00	6.00	15.78	94.68
4.02	Lampara de vapor de sodio de alta presion de 50 W	u	0.00	0.00	4.00	4.00	12.42	49.68
4.03	Accesorios de Alumbrado Publico	Glb				10.00	76.49	764.90
	<b>SUB-TOTAL 4:</b>							<b>909.26</b>
<b>5.00</b>	<b>FERRETERIA</b>							
5.01	Retenidas inclinada y vertical	Cjn.	4.00	2.00	4.00	10.00	10.79	107.90
5.02	Elementos de ferreteria para estructuras	Glb	4.00	2.00	4.00	0.20	1,198.18	239.64
5.03	Caja de derivación y empalme de troncales, sistema 380V (10 borneras en cada barra de cobre)	u				4.00	28.70	114.80
	<b>SUB-TOTAL 5:</b>							<b>462.34</b>
<b>6.00</b>	<b>CONEXIÓN DE CABINAS DE CONTROL &amp; TABLERO GENERAL</b>							
6.01	Interruptor termomagnético 3X250A, Disyuntor bastidor, 4 polos	u	1.00	0.00	0.00	1.00	1,428.68	1,428.68
6.02	Interruptor termomagnético 3X80A, Disyuntor bastidor, 3 polos	u	1.00	1.00	0.00	2.00	477.32	954.64
6.03	Interruptor termomagnético 3X40A, Disyuntor bastidor, 3 polos	u	1.00	0.00	0.00	1.00	235.21	235.21
6.04	Interruptor termomagnético 3X63A, Disyuntor bastidor, 3 polos	u	1.00	0.00	0.00	1.00	387.52	387.52
6.05	Interruptor termomagnético 3X16A, Disyuntor bastidor, 3 polos	u	3.00	4.00	6.00	13.00	112.45	1,461.85
6.06	Interruptor termomagnético 3X32A, Disyuntor bastidor, 3 polos	u	2.00	0.00	3.00	5.00	145.65	728.25
6.07	Interruptor termomagnético 3X20A, Disyuntor bastidor, 3 polos	u	2.00	2.00	0.00	4.00	122.35	489.40
6.08	Relé térmico de 6 A	u	6.00	2.00	0.00	8.00	104.40	835.20
6.09	Relé térmico 25 A	u	2.00	1.00	0.00	3.00	322.15	966.45
6.10	Contacto 220 V 50/60 HZ, bobina motor arrancador	u	12.00	0.00	0.00	12.00	147.00	1,764.00
6.11	Pulsador metálico redondo 125VAC/250VAC - 3A	u	12.00	0.00	0.00	12.00	18.74	224.88
6.12	Accesorios de instalación de cabinas de control	Cjto				5.00	127.85	639.25
	<b>SUB-TOTAL 6:</b>							<b>10,115.33</b>
<b>7.00</b>	<b>CONEXIÓN DE MOTORES</b>							
7.01	Accesorios y terminales de instalación de motores	Cjto	10.00	5.00	7.00	22.00	18.46	406.12
	<b>SUB-TOTAL 7:</b>							<b>406.12</b>
	<b>TOTAL INVERSIÓN DE MATERIALES</b>						<b>S/.</b>	<b>33,765.81</b>

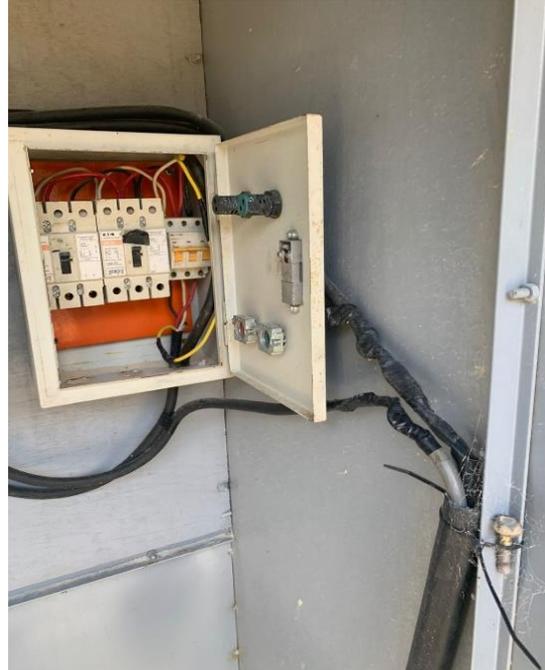


## Anexo 9

### Evidencias fotográficas realizadas en la planta de beneficio Challhuapozo



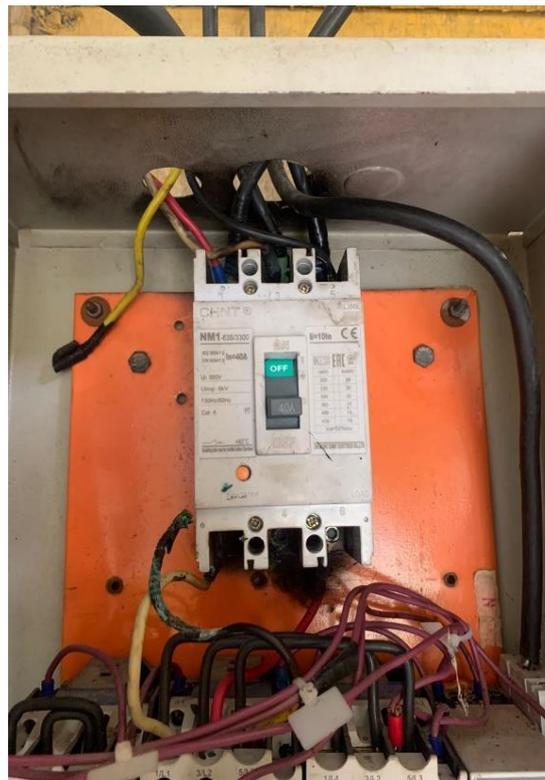
**Tablero manipulado sin medidas de seguridad**



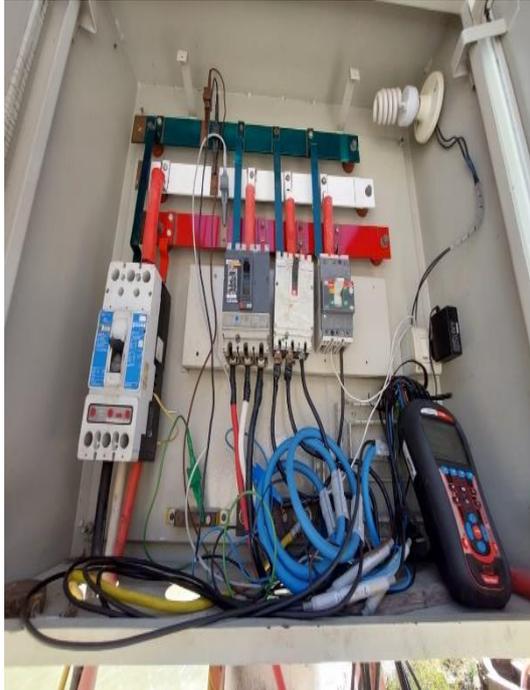
**Tablero de arranque acondicionado con interruptores termomagnéticos**



**Tablero con empalmes de forma directa**



**Tablero en mal estado debido a falsos contactos**



***Instalación de analizador de redes***



***Inspección de componentes de analizador de redes***



***Configuración de analizador de redes in situ***



***Inspección de calidad de analizador de redes***



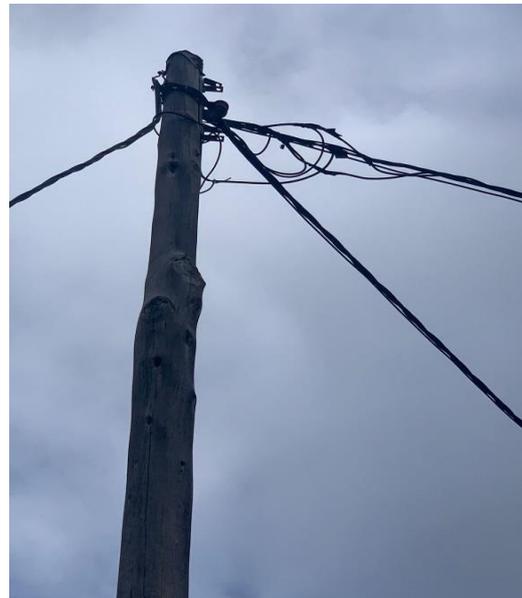
***Cables con deterioro en sus empalmes y mal sujetado en el poste de madera***



***Cables expuestos sin medidas de seguridad***



***Cables tendidos entre postes, empalmados***



***Empalmes con deterioro de aislamiento***



***Cabina de control 1***



***Cabina de control 2***



***Motores de cabina 3 expuestos a fugas de agua***



***Cables expuestos a la humedad en cabina de control 3***



***Motor dañado por demasiada humedad***



***Motor instalado en la intemperie con cables expuestos al medio ambiente***



***Maquinaria en peligro de tocar cables energizados***



***Lugar destinado para la nueva planta de lavado y futura cabina 4***

## Anexo 10

### Certificado de calibración de analizador de redes

 Calle Isidoro Suarez 236, San Miguel Lima 32 Teléf.: (511) 452 3111 / (511) 601 0684 e-mail: calibraciones@logytec.com.pe - www.logytec.com.pe	<b>LABORATORIO DE CALIBRACION</b>
CERTIFICADO DE CALIBRACION : <b>201418</b>	<b>Página 1 de 2</b>

Lima, 05 de Agosto de 2020.

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

#### 1) DATOS

Equipo : Analizador de Red Trifásico  
Marca : METREL  
Modelo : MI2892  
Nº de Serie : 20090485  
  
Fecha de Calibración : 05 de Agosto de 2020.  
Fecha de Emisión : 05 de Agosto de 2020.

#### 2) METODOLOGIA

Para proceder a la calibración del equipo, se siguió el procedimiento interno N° PCL-032 de Logytec SA. Se informa las diferencias obtenidas en base a patrones certificados.

Patrones Utilizados	Marca	Modelo	Nº de Certificado
Fuente de Potencia ficticia	KINGSINE	KS833	LPE - 782 - 2019 (*)
Multímetro Digital 7 1/2 Dígitos	TIME ELECTRONICS	5075	0457302(**)

(\*) Con certificado de calibración N°: LPE - 782 - 2019. Trazable por INACAL el 2019/ 10 / 03

(\*\*) Con certificado de calibración N°: 0457302. Trazable por ABSOLUTE CALIBRATION LIMITED (UKAS) el 2019/ 06 / 05.



  
Téc. Percy Oyola A  
Laboratorista  
LOGYTEC S.A.

  
Eduardo Fernández U  
Responsable Laboratorio  
LOGYTEC S.A.

Toda reproducción de este documento deberá ser integral y sin ninguna alteración

### 3) RESULTADOS

#### 3.1 Tensión Medida:

Nominal(V)	Patrón(V)	Equipo(V)	Desvío Relativo	Incertidumbre %
110,00	109,995	Canal 1 109,9	-0,05	0,03
		Canal 2 110,0	-0,03	0,02
		Canal 3 110,0	-0,03	0,03
220,00	219,994	Canal 1 220,0	0,00	0,01
		Canal 2 220,0	0,00	0,01
		Canal 3 220,0	0,00	0,01
380,00	380,029	Canal 1 380,0	-0,01	0,01
		Canal 2 380,0	-0,01	0,01
		Canal 3 380,0	-0,01	0,01

#### 3.2 Potencia Medida:

Tensión(V)	Corriente(A)	F.P	Patrón (kW)	Equipo (kW)	Desvío Relativo %	Incertidumbre %
220	25	1	16,500	16,67	1,03	0,87
220	20	1	13,200	13,33	0,98	0,87
220	20	0,5	6,600	6,68	1,21	0,89

#### 3.3 Distorsión Armónica Total THD (%):

Se verifica que:

% de THD	Canal 1	Desvío Relativo %	Canal 2	Desvío Relativo %	Canal 3	Desvío relativo %
8,199	8,20	0,01	8,21	0,13	8,20	0,12
10,006	10,0	0,06	10,0	0,06	10,0	0,06

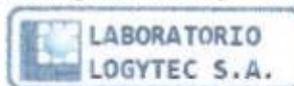
La incertidumbre de medición expandida, fue calculada multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de seguridad  $k=2$  que corresponde a un nivel aproximado de confianza del 95% bajo distribución normal.

### 4) OBSERVACIONES

- Temperatura Ambiente:  $(21 \pm 1) ^\circ\text{C}$
- Humedad Relativa:  $(60 \pm 5) \%$
- Donde no se menciona, las pruebas fueron hechas a 220V constante a una frecuencia de 60Hz.
- Se ha verificado el transductor de corriente ( $I_n$ ), mide dentro de los valores nominales.

### 5) CONCLUSIONES

De las mediciones realizadas se concluye que el equipo se encuentra calibrado, los valores medidos se encuentran dentro del rango normal de operación.



# Anexo 11

## Certificado de calibración del multímetro digital



**K-CC3-172-QA-CER-1461\_R1**  
 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
 ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
 CON REGISTRO N° LC - 001



Registro N° LC - 001

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° E-0262-2021



**A – PROCEED**

**FLUOR.**

Authorization to proceed does not relieve Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and or Purchase Order.  
 By *Wilson Alberto Martínez Lobón*, at Sep 10, 2021

Expediente N° : 109325  
 Página 1 de 3

Fecha de emisión: 2021-08-23

- Solicitante** : CUMBRA PERÚ S.A.
- Dirección** : Av. Paseo De La República Nro. 4675 - Surquillo - Lima
- Instrumento calibrado** : MULTÍMETRO DIGITAL  
 Marca / Fabricante : FLUKE  
 Modelo : 175  
 Serie : 45920757  
 Código : 26-2482 (\*)  
 Ubicación : No indica
- Lugar de calibración** : Laboratorio de Electricidad, Tiempo y Frecuencia de METROIL S.A.C.
- Fecha de calibración** : 2021-08-23
- Método de calibración**

La calibración se realizó por comparación directa, según el PC-021 Edición 02 "Procedimiento para la Calibración de Multímetros Digitales" del INACAL-DM.

#### 7. Trazabilidad metrológica

Los resultados de la calibración tienen trazabilidad metrológica a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

Código	Patrón de referencia / trabajo	Certificado de Calibración
IE-051	Calibrador multifunción	LE-346-2020 / INACAL-DM

#### 8. Condiciones de referencia

Temperatura ambiental : Inic.: 21,3 °C Fin.: 21,4 °C  
 Humedad relativa : Inic.: 68,3 % H.R. Fin.: 68,5 % H.R.

**GARY CABELLO RIOS**  
 CALIDAD GyM  
 09-09-2021

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

METROIL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de METROIL S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de METROIL S.A.C.

**JOSÉ M. CHAVEZ VALIENTE**  
 Laboratorio de Calibración

#### METROLOGÍA E INGENIERÍA LINO S.A.C.

Av. Venezuela N° 2040 - Lima 01 - Lima, Perú **Central Telefónica:** (511) 713-9080 / (511) 713-5656 / 999 048 181 **Atención al Cliente:** 975 193 739  
**Consulta Técnica:** (511) 713-5610 / 975 432 445 / 985 403 256 **E-mail:** ventas@metroil.com.pe / **Web:** www.metroil.com.pe

## Anexo 12

### Certificado de calibración de Megóhmetro



K-CC3-172-QA-CER-5803\_R1

METROLOGIA E INGENIERIA LINO S.A.C.

Av. Venezuela N° 2040 Lima 01- Lima - Perú Central Telef.: (511) 713-9080 / (511) 713.5656 / 999 072 424

Consulta Técnica: (511) 713-5610 / 975 432 445 / 965 403 256

Atención al Cliente: 975 193 739

E-mail: ventas@metroil.com.pe / Web: www.metroil.com.pe

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CE-0111-2021



Expediente: 110826

Fecha de emisión: 2021-10-04

Página 1 de 2

- SOLICITANTE** : CUMBRA PERÚ S.A.
- DIRECCIÓN** : Av. Petit Thouars Nro. 4957 Int. 401 - Miraflores - Lima
- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN** : MEGÓHMETRO  
Marca : MEGABRAS  
Modelo : MD5060X  
N° de serie : 1911326  
Código de identificación : 26-2575 (\*)  
Tipo de indicación : Digital  
Procedencia : U.S.A.  
Intervalo de indicación : 0 TΩ a 5 TΩ  
Ubicación : No indica
- FECHA Y LUGAR DE LA CALIBRACIÓN**  
Calibrado el 2021 - 10 - 04 en las instalaciones del Laboratorio de Electricidad, Tiempo y Frecuencia de METROIL S.A.C.
- MÉTODO DE CALIBRACIÓN**  
La calibración se realizó tomando como referencia el EL-004 Ed. 1 ; " Procedimiento para la calibración de Megohmetros " del Centro Español de Metrología.
- TRAZABILIDAD**  
Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a los patrones del INACAL-DM  
Se utilizó el siguiente equipo patrón :  
Década de Resistencia HRRS 5 kV de código IE-041 y serie E1-1603667 con Certificado de Calibración LE-096-2021.
- CONDICIONES DE CALIBRACIÓN**  
Temperatura ambiental Inicial : 23,9 °C Final : 23,8 °C  
Humedad relativa Inicial : 64,1 %H.R. Final : 64,4 %H.R.
- OBSERVACIONES**
  - Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación " CALIBRADO " y con identificación N° MA-08979-21.
  - La periodicidad de la calibración esta en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.
  - Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.(\*) Código de identificación indicado en el instrumento.

  
JOSE M. CHAVEZ VALIENTE  
Laboratorio de Calibración

  
GARY CABELLO RIOS  
CALIDAD CUMBRA PERÚ S.A.  
25-10-2021

Este documento al ser emitido sin el simbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA

PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE METROIL S.A.C.

# Anexo 13

## Recibo emitido en octubre del 2019

Recibo Nº 791-05414853  
Curicaca/Jauja

Recibo por Consumo del 01/10/2019 al 31/10/2019



Electrocentro



Cliente	COMPANÍA MINERA SIERRA CENTRAL S.A.C.		
R.U.C.	20100979757		
Dirección	Carr. PRINCIPAL Nº S/N Localidad CURICACA - Curicaca / Jauja / Junin		
Referencia			
Ruta	1953-42690-1330		
Tarifa	MT3	Serie Medidor	000000020417923 - Electrón.
Medición	Media Tension	Nº Hilos Medidor	4
Tensión y SED	13.2/7.62 kV / E-412032	Modalidad	Potencia Variable
Sist. Eléctrico	SE0077 VALLE DEL MA (ST4)	Inicio Contrato	04/01/2017
Tipo Suministro	Trifásica-Aérea(C5.1)	Termino Contrato	03/01/2020

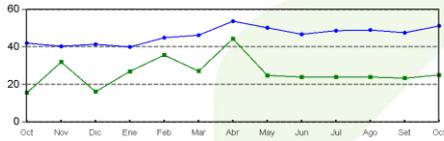
Octubre-2019

CÓDIGO 78339489

Promedio Máxima Demanda	Potencia Contratada
50.6400	42.3000

Calificación	Fuera de Punta	HorasPunta	130
--------------	----------------	------------	-----

Magnitud Leida	Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia	Demanda
Energía Activa Total (kWh)	1,706.6000	1,792.3000	85.7000	10,284.0000
Energía Activa Hora Punta (kWh)	206.3000	220.7000	14.4000	1,728.0000
Energía Activa Fuera Punta (kWh)	1,500.3000	1,571.6000	71.3000	8,556.0000
Energía Reactiva (kVarh)	2,041.0000	2,151.6000	110.6000	13,272.0000
Potencia Hora Punta (kW)	0.1950	0.2090	0.2090	25.0800
Potencia Fuera Punta (kW)	0.3960	0.4260	0.4260	51.1200
<b>Factor Calificación : 0.2600</b>		<b>Fac.Medic. 120.0000</b>		



Año 2019



Año 2019

Importe 2 Últimos Meses Facturados

Ago - 2019 S/ 7680.00 Set - 2019 S/ 6993.80

HISTORICO DE CONSUMOS Y DEMANDAS												
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set
EAFP kWh	9120	8160	8868	7536	6864	9480	8784	11040	6324	4284	9036	7476
EAFP kWh	1356	1260	1176	360	444	1368	1572	1800	1644	1104	1836	1752
PFP kW	42.0000	40.3200	41.4000	39.9600	44.8800	46.2000	53.6400	50.1600	46.6800	48.6000	48.9600	47.5200
PFP kW	15.6000	31.9200	16.2000	27.0000	35.6400	27.1200	44.2800	24.8400	24.0000	23.8800	24.0000	23.4000

Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Cargo Fijo		14.5400	14.54
Cargo por Reposición y Mantenimiento de la Conexión			16.78
Energía Activa HP	1728.0000	0.2640	456.19
Energía Activa FP	8556.0000	0.2178	1863.50
Energía Reactiva	10186.8000	0.0438	446.18
Pot.Usos Redes Distrib.FP	50.6400	27.2700	1380.95
Pot. Activa Generación FP	51.1200	37.9200	1938.47
Alumbrado Público ( Alicuota : S/ 0.7921)			316.84
Interés Compensatorio	1.0000	13.5105	13.51
SUB TOTAL			6446.96
Imp. Gral. a las Ventas			1160.45
Interés Moratorio	1.0000	2.0266	2.03
Saldo por redondeo	1.0000	-0.0400	-0.04
Redondeo		0.0100	0.01
Aporte Ley Nro. 28749	10284.0000	0.0084	86.39
<b>TOTAL RECIBO DE OCTUBRE-2019</b>			<b>7695.80</b>
Aporte FOSE(Ley Nº27510) S/ 223.56			

<b>Emisión</b>	<b>02/11/2019</b>	<b>Vencimiento</b>	<b>18/11/2019</b>	<b>TOTAL</b>	<b>S/*****7,695.80</b>
----------------	-------------------	--------------------	-------------------	--------------	------------------------

Su AMT es : A4611 - A4611 de SE de Potencia : S.E. Pachacayo

Son : SIETE MIL SEISCIENTOS NOVENTA Y CINCO Y 80/100 SOLES  
(\*) El Importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de Octubre-2019 Comprobante emitido según RS-007-99 SUNAT Cap. I. Art. 4, Inciso 6.1.d.

Si realiza el pago via transferencia bancaria debe enviar un correo a: [pagoselcto@distriluz.com.pe](mailto:pagoselcto@distriluz.com.pe)  
Revise el estado de cuenta de su recibo en:  
<http://www.distriluz.com.pe/ConsultaRecibos/ConsultaRecibo.aspx?empresa=4>

Facturación: **Octubre-2019**

Recibo Nº

791-05414853