

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DE TABLEROS DE
DISTRIBUCIÓN CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD, PARA
MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO DE LA UNIDAD
MINERA INMACULADA - AYACUCHO - 2023**

Presentado por:

Br. Kelly Puella Justiniani

**Para optar título profesional de Ingeniero
Electricista**

Asesor:

Dr. Basilio Salas Alagon

Cusco – Perú

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DE TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN CENTRADO EN LA CONFIDABILIDAD, PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO DE LA UNIDAD MINERA INMACULADA - AYACUCHO - 2023

presentado por: Kelly Puella Justiniani con DNI Nro.: 76211104 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRICISTA

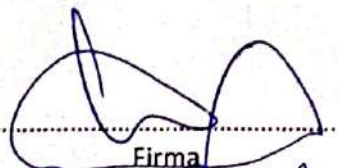
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 06 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de Investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (x)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 14 de Octubre de 2024


Firma

Post firma BASILIO SILES ALABÓN

Nro. de DNI 23.821.494

ORCID del Asesor 0000-0002-9795-8455

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:392328333

NOMBRE DEL TRABAJO

PLAN DE MANTENIMIENTO DE TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD, PARA MEJORAR LA CALI

AUTOR

Kelly Puclla Justiniani

RECUENTO DE PALABRAS

23289 Words

RECUENTO DE CARACTERES

138108 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

128 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.3MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 13, 2024 6:57 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 13, 2024 6:58 AM GMT-5

● 6% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

Resumen

La presente tesis demuestra la propuesta de un plan de mantenimiento centrado específicamente en mejorar la confiabilidad de los tableros de distribución en la Unidad Minera Inmaculada, ubicada en Ayacucho. Se llevó a cabo el análisis del RCM definido en la norma SAE JA1011, obteniendo resultados positivos, tales como, la confiabilidad y disponibilidad altas, optimizando la calidad del servicio eléctrico ofrecido por los tableros de distribución en esta unidad minera.

Se llevó a cabo el análisis detallado del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se identificó la falla de los tableros eléctricos, por lo tanto, la necesidad de mejorar la estrategia de mantenimiento existente para garantizar un suministro eléctrico de los tableros más confiable ha sido eficaz, mediante las fórmulas de confiabilidad, disponibilidad y la terotecnología aplicando en el mantenimiento predictivo.

Mediante la recolección de datos y los resultados que se obtuvieron al aplicar la metodología RCM, estos se agregaron a la base de datos del área de Planeamiento, que consta de verificar si nuestros resultados son iguales, evidenciando que nuestro análisis fue el correcto, y lograr aplicar su programa al área eléctrica. En esencia, la tesis demuestra resultados evidentes sobre la importancia crítica de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para asegurar una calidad de servicio eléctrico óptima en entornos mineros como la Unidad Minera Inmaculada.

Palabras Claves: *Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Confiabilidad, Disponibilidad, Tableros eléctricos de distribución.*

Abstract

This thesis demonstrates the proposal of a maintenance plan focused specifically on improving the reliability of the distribution boards at the Inmaculada Mining Unit, located in Ayacucho. The analysis of the RCM defined in the SAE JA1011 standard was carried out, obtaining positive results, such as high reliability and availability, optimizing the quality of the electrical service offered by the distribution boards in this mining unit.

The detailed analysis of maintenance focused on reliability was carried out, the failure of the electrical panels was identified, therefore, the need to improve the existing maintenance strategy to ensure a more reliable electrical supply of the panels has been effective, through the formulas of reliability, availability and terotechnology applied in predictive maintenance.

Through the collection of data and the results obtained by applying the RCM methodology, these were added to the database of the Planning area, which consists of verifying whether our results are the same, showing that our analysis was correct, and achieving apply your program to the electrical area. In essence, the thesis demonstrates evident results on the critical importance of a maintenance plan focused on reliability to ensure optimal quality of electrical service in mining environments such as the Inmaculada Mining Unit.

Keywords: *Reliability-centred maintenance, Reliability, Availability, Distribution switchboards.*

Dedicatoria

A mi amada familia, pilar fundamental en mi vida, les debo un profundo agradecimiento, a mis padres Elva y Maximiliano por su apoyo inquebrantable, comprensión y motivación han sido el impulso que necesitaba en los momentos más desafiantes. Cada palabra de aliento, cada gesto de amor ha sido el combustible que ha alimentado mi determinación y perseverancia.

Agradecimientos

En este momento trascendental de mi vida, no puedo comenzar sin dirigirme a Ti, fuente inagotable de sabiduría y guía. Agradezco infinitamente tu amor y dirección divina que me ha permitido alcanzar este logro.

Quiero expresar mi profunda gratitud al Dr. Basilio Salas Alagón. Su apoyo, orientación y conocimiento experto han sido fundamentales para la culminación de este trabajo. A través de sus consejos, críticas constructivas y experiencia invaluable, he podido enriquecer y perfeccionar cada aspecto de mi investigación.

Presentación

Señor(es):

Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica Informática y Mecánica, y miembros del dictamen de la tesis presentada.

En previo cumplimiento con el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica Informática y Mecánica, para optar al Título profesional de Ingeniero Electricista, presento a vuestra consideración, la tesis intitulada:

“PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DE TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD, PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO DE LA UNIDAD MINERA INMACULADA – AYACUCHO – 2023”

Br.: Kelly Puella Justiniani

ÍNDICE GENERAL

Resumen	ii
Abstract	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Presentación	vi
CAPÍTULO I	1
ASPECTOS GENERALES	1
1. Generalidades	1
1.1. Ámbito Geográfico	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Formulación del problema	8
1.3.1. Problema general.....	8
1.3.2. Problemas específicos.....	8
1.4. Objetivos	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
1.5. Justificación de la investigación	10
1.5.1. Técnico.....	10
1.5.2. Económico.....	11
1.6. Variables e Indicadores	11
1.7. Alcances y Limitaciones	12
1.7.1. Alcances.....	12
1.7.2. Limitaciones.....	12
1.8. Hipótesis	13
1.8.1. Hipótesis General.....	13
1.8.2. Hipótesis Específica.....	13
1.9. Método de la investigación	14
1.9.1. Tipo de Investigación.....	14
1.9.1.1. Según la finalidad.....	14
1.9.1.2. Nivel de Investigación.....	14
1.9.1.3. Enfoque de investigación.....	15
1.9.2. Diseño de la investigación.....	15

1.9.3.	Población.....	16
1.9.3.1.	Población de estudio	16
1.9.4.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	16
1.9.4.1.	Técnicas de Recolección de Datos.....	16
1.9.4.2.	Instrumentos y análisis de datos.....	17
CAPÍTULO II		18
MARCO TEÓRICO		18
2.	Introducción	18
2.1.	Antecedentes.....	18
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	18
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	21
2.2.	Definiciones.....	23
2.3.	Bases Teóricas	37
2.3.1.	Evolución del Mantenimiento	37
2.3.2.	Mantenimiento	37
2.3.3.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	38
2.3.4.	Preguntas del RCM.....	38
2.3.5.	Tipos de Mantenimiento.....	39
2.3.6.	Desarrollo de la metodología RCM	40
2.3.7.	Confiabilidad	43
2.3.8.	Disponibilidad	44
2.3.9.	Eficiencia.....	44
2.3.10.	Eficacia.....	44
2.4.	Marco Normativo.....	45
2.4.1.	Normativa.....	45
Capítulo III.....		47
3.	Situación actual de mantenimiento de tableros eléctricos en la Unidad Minera Inmaculada ...	47
3.1.	Tableros en mina.....	50
3.2.	Identificación de tableros con actual necesidad de mantenimiento preventivo	52
3.3.	Evaluación de la confiabilidad y disponibilidad de los tableros eléctricos	54
Capítulo IV		59
PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO.....		59
4.	Metodología RCM adaptada a las necesidades de la Unidad Minera Inmaculada	59

4.1. Organigrama de la Unidad de mantenimiento	60
4.2. Análisis y descripción del contexto operacional	60
4.2.1. Causas más frecuentes de fallas en tableros eléctricos	61
4.3. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)	62
4.4. Recopilación de datos	81
Capítulo V	82
ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	82
5.1 Control mensual de tableros eléctricos de distribución	82
5.2 Resultados de confiabilidad y disponibilidad (agosto, septiembre y octubre)	86
5.3 Análisis de resultados comparativos de la propuesta de plan de mantenimiento	90
5.4 Verificación de hipótesis	93
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES	97
Bibliografía	98
ANEXOS	101

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Tabla de reportes - enero</i>	6
Tabla 2 <i>Costos unitarios de los tableros de distribución</i>	11
Tabla 3 <i>Variables e Indicadores</i>	11
Tabla 4 <i>Tableros en mina</i>	50
Tabla 5 <i>Resumen de reportes</i>	53
Tabla 6 <i>Registro de Confiabilidad y Disponibilidad – enero 2023</i>	54
Tabla 7 <i>Registro de Confiabilidad y Disponibilidad-febrero 2023</i>	55
Tabla 8 <i>Registro de Confiabilidad y Disponibilidad-marzo 2023</i>	56
Tabla 9 <i>Registro promedio mensual (enero/febrero/marzo)</i>	57
Tabla 10 <i>Control mensual de tableros-enero</i>	64
Tabla 11 <i>Control mensual de tableros-febrero</i>	65
Tabla 12 <i>Control mensual de tableros – marzo</i>	66
Tabla 13 <i>Total de fallas</i>	67
Tabla 14 <i>Control mensual de tableros – agosto</i>	82
Tabla 15 <i>Control mensual de tableros – septiembre</i>	83
Tabla 16 <i>Control mensual de tableros – octubre</i>	84
Tabla 17 <i>Total de fallas (agosto, septiembre, octubre)</i>	85
Tabla 18 <i>Registro de Confiabilidad y Disponibilidad – agosto 2023</i>	86
Tabla 19 <i>Registro de Confiabilidad y Disponibilidad - septiembre</i>	87
Tabla 20 <i>Registro de Confiabilidad y Disponibilidad – octubre 2023</i>	88
Tabla 21 <i>Registro promedio mensual (agosto/septiembre/octubre)</i>	89
Tabla 22 <i>Cuadro comparativo confiabilidad y disponibilidad</i>	90
Tabla 23 <i>Verificación de Hipótesis general y específicas</i>	93

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación Geográfica y área de estudio.....	1
Figura 2 Tablero de Ventilador 440V.....	3
Figura 3 Tablero Variador de Frecuencia 460 VAC	4
Figura 4 Formato de Análisis de Tableros	5
Figura 5 Tablero con inducción en la carcasa.	7
Figura 6 Diagrama Unifilar de tablero de 3 Interruptores termomagnéticos	24
Figura 7 Diagrama Unifilar de tablero de 2 Interruptores termomagnéticos	25
Figura 8 Diagrama Unifilar de tablero de 1 Interruptor termomagnético.....	26
Figura 9 (a) Diagrama Unifilar de tablero de bomba 58 HP	27
Figura 10 (b) Diagrama Unifilar de tablero de bomba 58 HP	28
Figura 11 (a) Diagrama Unifilar de tablero de bomba 25 HP	29
Figura 12 (b) Diagrama Unifilar de tablero de bomba 25 HP	30
Figura 13 Diagrama Unifilar de tablero de iluminación.....	31
Figura 14 (a)Diagrama Unifilar de sistema de utilización (Leyenda).....	34
Figura 15 (b)Diagrama Unifilar de sistema de utilización.....	35
Figura 16 (c)Diagrama Unifilar de sistema de utilización.....	36
Figura 17 Expectativas en el mantenimiento	37
Figura 18 Técnicas en el mantenimiento	37
Figura 19 Pasos adicionales propuestos	40
Figura 20 Taxonomía de equipos.....	41
Figura 21 Mantenimiento Centrada en la Confiabilidad ampliada.....	43
Figura 22 Tablero inoperativo.....	48
Figura 23 Formato para la revisión de Tableros eléctricos	49
Figura 24 Tensiones de los tableros	50
Figura 25 Tableros con terminales fundidos	51
Figura 26 Taller Nv. 4700 Mantenimiento Mina	53
Figura 27 Organización administrativa.....	60
Figura 28 Esquema de Codificación de Tableros	62
Figura 29 Codificación de los tableros.....	63
Figura 30 Numero Prioritario de Riesgo (rango).....	68
Figura 31 Grado de Severidad.....	68
Figura 32 Grado de Ocurrencia	69
Figura 33 Grado de Detección	69
Figura 34 Módulo diferencial LV431535	70
Figura 35 Módulo diferencial LV429492	71
Figura 36 (a)Interruptor LV431630.....	72

Figura 37 b) Interruptor C25F3TM250	73
Figura 38 (a) Interruptor LV432693	73
Figura 39 (b) Interruptor C40N32D400	74
Figura 40 (a) Módulo diferencial LV429210	75
Figura 41 (b) Módulo diferencial LV429488	76
Figura 42 Cartilla de mantenimiento de tableros	76
Figura 43 (a) Tensión medida antes del mantenimiento	78
Figura 44 (b) Tensión medida antes del mantenimiento	78
Figura 45 (a) Tablero en mantenimiento (antes)	79
Figura 46 (b) Tablero en mantenimiento (después)	79
Figura 47 (a) Tablero en mantenimiento sin protección diferencial (antes)	80
Figura 48 (b) Tablero en mantenimiento sin protección diferencial (después)	80
Figura 49 Tablero en mantenimiento reemplazo de componentes	81
Figura 50 Resultados en base de datos planeamiento	91
Figura 51 Diagrama de flujo sobre propuesta de plan de mantenimiento	92

GLOSARIO

RCM	Reliability Centered Maintenance Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
MTBF	Mean Time Between Failures Tiempo promedio entre fallas
MTTR	Mean Time to Repair Tiempo promedio para reparar
Co	Confiabilidad
Do	Disponibilidad
MUT	Tiempo Promedio en operación
AMEF	Análisis de modos y efectos de falla
NPR	Número Prioritario de Riesgo
CNE	Código Nacional De Electricidad

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1. Generalidades

1.1. Ámbito Geográfico

El ámbito geográfico se desarrolló en el área de mantenimiento eléctrico de la minera Inmaculada, ubicada en el distrito de Oyolo, provincia de Paucar del Sara Sara, en las coordenadas geográficas: 15°10'45" SUR y 73°11'06" oeste, en el departamento de Ayacucho, de la sierra sur del Perú a una altitud de 4800 m.s.n.m. La distancia entre Cusco y el área del proyecto es de aproximadamente 3594 km.

Figura 1
Ubicación Geográfica y área de estudio



Fuente: Imágenes de Google

1.2. Planteamiento del Problema

En cualquier instalación industrial o comercial, los tableros eléctricos son fundamentales para el funcionamiento correcto de los sistemas eléctricos. No obstante, a menudo se descuida la importancia de implementar una estrategia de mantenimiento para estos tableros, lo que puede provocar una serie de problemas y fallas inesperadas. En el ámbito de la minería, el uso de tableros ha exigido su desarrollo continuo, lo que implica la necesidad de mantenimientos programados debido a la imprevisibilidad de las fallas. En la Unidad Minera Inmaculada se ha identificado la necesidad de realizar mantenimientos continuos, ya que algunos dispositivos están defectuosos, el mantenimiento es insuficiente, y existe una considerable acumulación de hollín, lo que impide el correcto funcionamiento de contactos, contactores y tarjetas. A continuación, se enumeran los tipos de tableros utilizados en Interior de la Mina en la Unidad Minera Inmaculada, entre los cuales se encuentran los tableros de distribución, que serán verificados individualmente.

- Tablero de Distribución 3X400 AMP. /440V C/03 ITMS
- Tablero de Distribución 3X400 AMP. /440V C/02 ITMS
- Tablero de Distribución 3X250 AMP. /440V C/01 ITMS
- Tablero de Distribución 3X63 AMP. /230V Iluminación
- Tablero de arranque estrella-triángulo de 58HP/440V/60Hz
- Tablero de arranque directo de 25HP/440V/60Hz

En la fotografía se observa el tablero para un ventilador de 440 V, que se utiliza para suministrar energía eléctrica al ventilador. Este tablero dejó de funcionar el 10 de

enero de 2023 debido a fallas en los contactores, lo que exigía un reemplazo inmediato de dicho dispositivo. Sin embargo, debido a la falta de disponibilidad del dispositivo en el almacén, el tablero permaneció fuera de servicio durante aproximadamente dos semanas, impidiendo que el ventilador realizara su función de ventilar el nivel 4560.

Figura 2
Tablero de Ventilador 440V



Fuente: Fotografía tomada de la Unidad minera

La falta de una planificación sistemática para el mantenimiento de los tableros eléctricos provoca que estas intervenciones se realicen de manera urgente. Esto se debe a que no se cuenta con un stock adecuado de dispositivos eléctricos en el almacén para sustituir los que presentan fallas. Esta carencia resulta en que los tableros permanezcan inactivos durante períodos prolongados, lo que conlleva pérdidas en la producción minera y genera riesgos adicionales para la seguridad laboral de los trabajadores. Ante esta situación, fue necesario elaborar informes detallados, realizados por el jefe de guardia, para llevar a cabo las acciones de mantenimiento correspondientes. Estos informes se enviaron al área de planeamiento para su evaluación económica.

Figura 3*Tablero Variador de Frecuencia 460 VAC*

Por lo que se está enviando a reparación, adjunto checklist de inspección.

VARIADOR DE FRECUENCIA 1325-02-2015, VENTILADOR PRINCIPAL 180K CFM Nv.4560	
	DATOS DE EQUIPO
	MARCA : POWER ELECTRONIC MODELO : ZITRON POTENCIA : 315 HP TENSION : 460VAC FRECUENCIA : 60 Hz
	 

Fuente: Informe Minera Ares ME 001-HOCINMA 2023.

El tablero de ventilador del Nv. 4560, salió de operación por las siguientes razones:

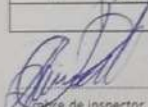

- Corto circuitos en tiristores.
- Corto circuito en diodos rectificadores.
- Componentes de tarjetas dañadas.

La falta de un plan de mantenimiento programado también resulta en una documentación inadecuada sobre los tableros eléctricos. Esto complica el seguimiento de las actividades de mantenimiento realizadas y la identificación de los componentes críticos que necesitan atención especial. Además, sin un historial de mantenimiento, los ingenieros

encuentran dificultades para identificar patrones de fallas o tendencias que podrían mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico en general. A continuación, se detallan todos los problemas del tablero tras el análisis técnico:

Figura 4
Formato de Análisis de Tableros


ITEM	DESCRIPCION	ESTADO				OBSERVACIONES
		B	M	NT	NA	
1	Tiene señalización de riesgo eléctrico	✓				
2	Indica el Nivel de tensión de servicio	✓				
3	Indica el número de fases	✓				
4	Estado de Bastidor		✓			Bizagras / rotas
5	Incluye palanca de mando exterior ON/OFF		✓			rotas
6	Palanca de mando exterior esta prevista para instalación de candado	✓	✓			No candado
7	El gabinete Incluye aldaba u orejas para instalación de candado	✓	✓			rotas
8	El tablero tiene candado Master de Bloqueo				✓	
9	El Gabinete Incluye Conector Hembra tetrapolar para Equipo				✓	
10	El interruptor termomagnético cuenta con relé diferencial hasta 20mA			✓		Fallas instaladas
11	El tablero cuenta con prensaestopas para ingreso salida de cables			✓		Fallas instaladas
12	Los cables de Energía indican el sentido de flujo de Corriente			✓		Fallas instaladas
13	El tablero tiene punto de puesta a tierra	✓				
14	Indique Estado de Bizagras		✓			rotas
15	Indique Estado de puertas		✓			rotas
16	Ajustes Seteo de Corriente Diferencial de falla a tierra			✓		Fallas instaladas
17	Ajustes Seteo de Tiempo de Disparo Relé Diferencial de falla a tierra			✓		Fallas instaladas

Nombre de Inspector: 
 Supervisor Electricista: 

VDF = ZITRON
 Serie = 1325-02-2015
 Potencia = 215 HP - 830 KW
 Voltaje = 400
 Frecuencia 60 Hz.

B BUENO
 M MALO
 NT NO TIENE

- Corto circuitos TRIACOS FASE T.
 - Corto circuitos DIODOS rectificadores fase S.
 - Transistores abiertos fase S-T - solda mala.
 - No cuenta deaters / Eliminacion Humedad.
 - Tarjetas DPC Fases S-T componentes dañados
 - Tarjetas conexion Gate Drive dual Verificacion componentes FASE R-S
 - Tarjeta conexion Gate Drive dual Fase T - Componentes dañados



Fuente: Archivos Jefatura de Mantenimiento Eléctrico.

Este reporte se realizó en el mes de enero del año 2023 por el técnico encargado, en este diagnóstico se especifica los diversos motivos por los que salieron de operación diferentes tableros.

Tabla 1
Tabla de reportes - enero

FECHA	DESCRIPCIÓN	ESTADO
1/01/2023	Nv 4345 By 4390N Cx6385 - falla en Tablero de Equipo	Se encontró tripeado por sobrecarga
2/01/2023	Nv 4300 RB6 - falla en Tablero de electrobomba	Realizar cambio de 03 fusibles de 630 ^a
3/01/2023	Nv4250 RC17 - falla en tablero arrancador motor 300HP	Realizar cambio de tablero
4/01/2023	RB6 - falla en softstar ABB 200 HP	Realizar cambio de Softstart
5/01/2023	Nv 4280 Vt15 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de ITM, dañado por recalentamiento
6/01/2023	Nv 4300 Vt18 y medio - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de Protección diferencial
7/01/2023	Nv 4235 Rc30 - falla en Tablero estrella – triángulo	Realizar cambio de Protección diferencial
8/01/2023	Nv 4460 Vt10 - falla en Tablero Arrancador	Realizar cambio de contactor LCD 95, bobina 220V.
10/01/2023	Nv 4345 Rc14 - falla en Tablero Arrancador - ventilador	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín
10/01/2023	Nv 4700 Taller eléctrico - falla en Tablero Equipo	Realizar cambio de conector tetrapolar
10/01/2023	Nv 4280 Rp7167 - falla en Tablero Equipo	Realizar cambio de relé, no encaja a tierra y apertura VIGI.
10/01/2023	Nv 4250 Rc17 - falla en Tablero Variador de velocidad	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.
13/01/2023	Nv 4330 Vt19 - falla en Tablero Arrancador de 60 kcfm	Se encontró tripeado el interruptor de 250 ^a
13/01/2023	Nv 4400 Vi0 - falla en Tablero Arrancador de 60 kcfm	Se encontró tripeado el interruptor de 250 ^a
13/01/2023	Bocamina 4500 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de interruptor de 25A.
15/01/2023	Nv 4440 Rp (+)5484 - falla en Tablero arrancador de ventilador de 40 kCFM	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.
16/01/2023	Nv 4245 Vt20 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín
16/01/2023	Nv 4345 By 4390N Cx6385 - falla en Tablero de Equipo	Se encontró tripeado por sobrecarga
17/01/2023	Nv 4345 By 4390 - falla en Tablero de distribución	Se encontró falla en ITM de 250 ^a
18/01/2023	Tj 5100 - falla en Tablero arrancador de ventilador 30 kCFM	Se encontró falla en componentes de tablero
18/01/2023	Nv 4235 Vt21 - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de Protección diferencial
20/01/2023	Nv 4345 Vt15 By4390 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Realizar cambio de Softstart, no mantiene el arrancado del motor
20/01/2023	Nv 4200 Vt21 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Realizar cambio de Softstart, no mantiene el arrancado del motor
21/01/2023	Nv 4235 Vt16 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de conector tetrapolar
22/01/2023	Nv 4300 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
22/01/2023	Nv 4345 By4390 norte y sur - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga
22/01/2023	Tj 9076 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga
24/01/2023	Nv 4300 Vt16 - falla en Tablero de iluminación	Realizar cambio de ITM de 250 ^a
25/01/2023	Nv 4345 Vt15 - falla en Tablero de ventilador	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
25/01/2023	Tj 9076 Tula - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga
26/01/2023	Nv 4345 RC14 - falla en Tablero de ventilador	Realizar mantenimiento por concentración de hollín
28/01/2023	Nv4265 - falla en tablero de iluminación	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
29/01/2023	Nv4265 comedor - falla en tablero de iluminación	Realizar cambio de VIGI
29/01/2023	Nv4250 RC17 - falla en tablero	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga, tarjeta interna dañada
30/01/2023	Nv4250 - falla en tablero de distribución	Fuga a tierra, apertura de ITM
31/01/2023	Nv4245 Vt19 - falla en tablero arrancador de ventilador	Realizar mantenimiento por concentración de hollín

Fuente: Reporte diario – Jefatura Mantenimiento Eléctrico.

Se presenta algunas consecuencias de la falta de mantenimiento a los tableros eléctricos:

Se identificó un grave problema de inducción en la carcasa del panel eléctrico en el nivel 4345 beta Splay. Tras recibir un reporte de una descarga eléctrica que afectó a un operario de scoop, el equipo de mantenimiento inspeccionó el tablero y descubrió un cable en proximidad al panel eléctrico, lo que provocó una falla a tierra.

Figura 5

Tablero con inducción en la carcasa.



Fuente: Fotografía tomada por el personal de mantenimiento.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera la propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los tableros eléctricos de distribución permitirá mejorar la calidad de servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho-2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera el diagnóstico de operación actual de los tableros eléctricos de distribución de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho-2023, permitirá la propuesta del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad?
- b) ¿De qué manera, la recopilación de la información de los tableros eléctricos de distribución de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho-2023, contribuirá a la propuesta del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la calidad de servicio eléctrico?
- c) ¿De qué manera, la taxonomía de equipos de los tableros eléctricos de distribución de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho-2023, contribuirá a la propuesta del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad del servicio eléctrico?
- d) ¿De qué manera, el análisis del contexto operativo de los tableros eléctricos de distribución de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho-2023 contribuirá a la propuesta del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad de servicio eléctrico?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Proponer el plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad del servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho - 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Realizar el diagnóstico de la operación actual y del plan de mantenimiento de los tableros eléctricos de distribución de la Unidad Minera Inmaculada Ayacucho - 2023.
- b) Analizar la recopilación de la información del activo, como insumo para elaborar la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad del servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho - 2023.
- c) Analizar la taxonomía (clasificación de los componentes del tablero), como insumo para elaborar la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho - 2023.
- d) Analizar en contexto operativo, como insumo para elaborar la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho – 2023.

1.5. Justificación de la investigación

La implementación de la propuesta de mantenimiento centrada en la confiabilidad para los tableros eléctricos del sistema de alimentación en baja tensión ofrece varios beneficios importantes. Entre estos se incluyen la mejora de la confiabilidad operativa, la reducción de los tiempos de inactividad y los costos de reparación, la optimización de los recursos de mantenimiento y el aumento de la seguridad eléctrica, lo cual contribuye a la eficiencia general del sistema. Este enfoque permite identificar los componentes críticos y las áreas con mayor riesgo de fallas en los tableros eléctricos, facilitando así la priorización de las acciones de mantenimiento y la asignación adecuada de recursos. Al enfocar los recursos en los componentes más importantes de acuerdo con los criterios de diseño, especificaciones técnicas y seguridad, se maximizará el impacto del mantenimiento y se optimizará el uso de los recursos disponibles.

1.5.1. Técnico

Los tableros eléctricos son fundamentales para el suministro de energía a diversos equipos y sistemas en la mina. Implementar un mantenimiento centrado en la confiabilidad asegura que estos tableros funcionen en condiciones óptimas, lo que reduce la probabilidad de fallas y cortes en el suministro eléctrico. Esto mejora la confiabilidad operativa de la mina, evitando paradas no planificadas y minimizando los impactos negativos en la producción. La propuesta de implementar mantenimiento basada en la confiabilidad permitirá un análisis exhaustivo de los tableros eléctricos, proporcionando información desde la recolección de datos hasta la obtención de resultados positivos para su mantenimiento, según los criterios de diseño y especificaciones técnicas, por lo tanto mejorar la calidad de servicio eléctrico de los tableros de distribución.

1.5.2. Económico

La compra de repuestos para los dispositivos defectuosos o la adquisición de tableros nuevos representa un gasto para la empresa minera. Con esta propuesta de implementación, se reduce la necesidad de elaborar documentación para adquirir un nuevo dispositivo o tablero. En la siguiente tabla, se detalla el precio unitario de los tableros de distribución. Las compras se efectúan cada dos o tres meses; de lo contrario, se emiten órdenes de compra para los repuestos esenciales del mantenimiento. Estos costos son significativos, ya que se asigna un presupuesto específico para estas operaciones.

Tabla 2

Costos unitarios de los tableros de distribución

TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN	P.U. (\$)
Tablero de Distribución 3X400 AMP. /440V C/03 ITMS	2,838.00
Tablero de Distribución 3X400 AMP. /440V C/02 ITMS	1,948.00
Tablero de Distribución 3X250 AMP. /440V C/01 ITMS	939.00
Tablero de Distribución 3X63 AMP. /230V Iluminación	763.00
Tablero de arranque estrella-triángulo de 58HP/440V/60Hz	1,770.00
Tablero de arranque directo de 25HP/440V/60Hz	1,280.00

Fuente: Cotizaciones Jefatura Mantenimiento eléctrico.

1.6. Variables e Indicadores

Tabla 3

Variables e Indicadores

VARIABLES		INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	Mantenimiento centrado en la confiabilidad.	<i>Costo de mantenimiento</i>
		<i>Índice de confiabilidad</i>
		<i>Tiempo de fallas y reparación</i>
VARIABLE DEPENDIENTE	Calidad de servicio eléctrico	<i>Continuidad de servicio</i>
		<i>Niveles de tensión</i>
		<i>Estabilidad de la frecuencia de la red.</i>

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Alcances y Limitaciones

1.7.1. Alcances

- a) Se evaluó el estado actual de la gestión de mantenimiento de los tableros eléctricos en la mina de tajo cerrado, con tensiones de alimentación de 440/220 V y en media tensión a 10kV, identificando las fallas.
- b) Se definieron las variables dependientes e independientes que afectaban la confiabilidad de los tableros eléctricos, con el fin de comprender mejor los factores que influían en su rendimiento.
- c) Se evaluaron los costos asociados con la implementación de la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad y los beneficios esperados, como la reducción de fallos, costos de reparación y aumento de la disponibilidad de los equipos en alimentadores de baja y media tensión.

1.7.2. Limitaciones

- Acceso a información y datos: Las empresas mineras suelen manejar datos sensibles relacionados con operaciones, seguridad y mantenimiento que están protegidos por normativas internas y externas. Esto puede dificultar la obtención de información detallada sobre el estado actual de los tableros, historiales de mantenimiento específicos, y datos operativos que son fundamentales para el diseño de un plan de mantenimiento efectivo.
- Disponibilidad de recursos: Implementar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad requiere recursos significativos, tanto en términos de personal capacitado como de equipos y herramientas especializadas.

Limitaciones presupuestarias y de personal pueden influir en la capacidad de llevar a cabo un estudio exhaustivo y la implementación efectiva del plan propuesto.

- Cultura organizacional y resistencia al cambio: La implementación de un nuevo plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad puede enfrentar resistencia dentro de la organización debido a la complacencia con prácticas establecidas o a la falta de entendimiento sobre los beneficios potenciales del nuevo enfoque. La cultura organizacional y la gestión del cambio son aspectos críticos que pueden influir en la aceptación y éxito del plan propuesto.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis General

La implementación de la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución eléctrica centrado en la confiabilidad mejorará la calidad de servicio eléctrico en la Unidad Minera Inmaculada Ayacucho – 2023.

1.8.2. Hipótesis Específica

- a) El diagnóstico de la operación actual y del plan de mantenimiento de los tableros eléctricos de distribución de la Unidad Minera Inmaculada Ayacucho – 2023, permitirá proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para superar las deficiencias técnicas y de producción minera.
- b) La recopilación de la información del activo, como insumo contribuirá a la elaboración de la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución

centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad del servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho - 2023.

c) La taxonomía (clasificación de los componentes del tablero), contribuirá a la elaboración de la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho – 2023.

d) El análisis del contexto operativo como insumo, contribuirá a la elaboración de la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho – 2023.

1.9. Método de la investigación

1.9.1. Tipo de Investigación

1.9.1.1. Según la finalidad

El estudio tuvo una finalidad aplicada, así como, hipotético-deductivo, utilizando conocimientos de la metodología RCM para aplicarla en la elaboración de la propuesta de plan de mantenimiento de los tableros de distribución centrado en la confiabilidad, con el objetivo de mejorar la calidad de servicio eléctrico de la unidad minera Inmaculada-Ayacucho.

1.9.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación para el estudio fue descriptivo. El nivel se justifica debido a que el estudio se centró en aplicar detalladamente la situación actual de los tableros de distribución eléctrica en la mina, incluyendo sus condiciones operativas,

historiales de mantenimiento, y los factores que afectan su confiabilidad y rendimiento. Mediante la recopilación de datos específicos y la elaboración de análisis detallados.

La investigación descriptiva se realiza cuando se pretende detallar exhaustivamente una realidad en todos sus componentes principales. Este tipo de investigación tiene como propósito describir características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, empleando criterios sistemáticos que permiten comprender la estructura o el comportamiento de los fenómenos estudiados. Esto proporciona información sistemática y comparable con la obtenida de otras fuentes. **(Guevara y otros, 2020)**

1.9.1.3. Enfoque de investigación

El enfoque de investigación fue mixto, es decir, cuantitativo y cualitativo, se seleccionó debido a la naturaleza comprensiva del estudio, que buscaba profundizar a través de observaciones y análisis documental, se obtuvo información cualitativa sobre los desafíos actuales en la gestión de mantenimiento, así como las posibles soluciones centradas en mejorar la confiabilidad del servicio eléctrico en la unidad minera. Este enfoque implicó la recolección de datos no numéricos, estudiando la calidad de las actividades de mantenimiento hacia los tableros eléctricos y analizando exhaustivamente, con sumo detalle, las causas de las fallas.

1.9.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación para el estudio fue de tipo no experimental. En este diseño, se recopilaron y analizaron datos existentes, como historiales de mantenimiento y registros operativos, sin intervenir directamente en el ambiente de trabajo ni manipular las variables. Después de identificar los tableros eléctricos, se procede a determinar las

funciones que desempeñan, las fallas funcionales que presentan, así como los modos, causas y efectos de estas fallas. Posteriormente, se evaluó la severidad, probabilidad y detección de las fallas, lo cual facilitará la definición del plan de mantenimiento más adecuado para los tableros de distribución.

Arispe et al., (2020) menciona que en este tipo de diseño las variables no se manipulan; los fenómenos se estudian en su entorno natural y luego se analizan. Además, es especialmente apropiado para variables que no pueden ser alteradas, ya sea debido a su complejidad o por consideraciones éticas.

1.9.3. Población

1.9.3.1. Población de estudio

La población considerada para el estudio estuvo compuesta por los tableros de distribución eléctrica presentes en la Unidad Minera Inmaculada. Estos tableros son críticos para el suministro eléctrico en la mina y están sujetos a largas horas de funcionamiento bajo condiciones ambientales severas. Analizar las horas de trabajo y las fallas de estos tableros es crucial para entender sus patrones de operación y los tipos de problemas que enfrentan regularmente.

1.9.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

1.9.4.1. Técnicas de Recolección de Datos

Para el desarrollo de la tesis, la información se obtuvo mediante el uso de las siguientes técnicas y herramientas de recolección de datos que se presentan a continuación:

- Análisis documental:
 - Datos estadísticos de la operación de los tableros eléctricos actual.

- Registros diarios, mensuales, anuales de operación, tiempo de mantenimiento.
- Entrevista: personas especializadas en el área de mantenimiento eléctrico.
- Trabajo de campo realizado en el taller de mantenimiento eléctrico, con las respectivas evidencias.

1.9.4.2. Instrumentos y análisis de datos

Los análisis de datos del presente estudio se obtienen:

- Ficha de observación: Cuaderno de datos de operación de los tableros eléctricos de la Empresa Minera.
- Bibliografías para consultar, papers, normatividad existente.
- El análisis de datos se realizará con las siguientes herramientas computacionales:
 - Software para utilizar, como: Autocad, Excel, Base de Datos Planeamiento (KPIs), serán de mucha ayuda en la utilización y aplicación de cálculos matemáticos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. Introducción

Para el análisis y el funcionamiento actual del plan propuesto, es fundamental tener una comprensión clara de los conceptos y definiciones relacionados con el mantenimiento centrado en la confiabilidad y los tableros eléctricos de distribución. Con este fin, en este capítulo se presenta el marco conceptual y normativo, junto con las bases teóricas que guiaron el desarrollo de la tesis.

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

El estudio de Cala y Hernández, (2018) titulado “Diseño de un modelo de Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), Caso de estudio: Sistema eléctrico en los activos inmobiliarios de Terranum, Bogotá 2018”. Trabajo de grado para obtener el título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento en la Universidad ECCI. El cual tuvo como fin Diseñar un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el sistema eléctrico de los activos inmobiliarios de Terranum Corporativo. Cuya metodología optó fuentes primarias y secundarias y cuyo instrumento de recolección de datos fue a base de datos históricos de fallas en los activos eléctricos. Se concluyó que, se implementó un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para los activos eléctricos de Terranum Corporativo, priorizando su criticidad y buscando optimizar las intervenciones preventivas actualmente ejecutadas con alta frecuencia. La metodología RCM demostró que es posible mantener la estabilidad de los equipos con menos intervenciones, minimizando así las paradas

programadas innecesarias y reduciendo el impacto en la operación normal de las instalaciones. Este proyecto establece claramente los procedimientos para la implementación de la metodología centrada en confiabilidad, especificando las tareas de mantenimiento y su periodicidad para cada activo eléctrico. Además, el desarrollo de modelos de mantenimiento basados en RCM en los subsistemas identificados permite gestionar la disponibilidad, confiabilidad y ciclo de vida de los activos, extendiéndose su aplicación a los activos críticos tipo B y C. Entre los beneficios destacados de este enfoque se encuentra la reducción significativa de costos asociados a pérdidas operativas y sobre costos por intervenciones de mantenimiento, al centrarse en mejorar la confiabilidad operativa de los activos de Terranum. La evaluación comparativa realizada muestra que la metodología propuesta podría reducir los costos de mantenimiento hasta un 45% en comparación con la gestión actualmente implementada por la empresa.

La investigación de Montilla et al., (2007) titulada “Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo”, en este estudio se presenta el resultado de implementar una metodología en una empresa nacional del sector de transporte de encomiendas. A esta empresa, con un programa de Mantenimiento Preventivo consolidado, se le aplicó un programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, lo que permitió modificar su programa de Mantenimiento Preventivo, simplificándolo y añadiendo elementos de Mantenimiento Predictivo y Mantenimiento Autónomo. El rediseño de la función de Mantenimiento ha conseguido reducir la carga de trabajo del mantenimiento sin disminuir la disponibilidad de los equipos y, en el peor de los casos, manteniendo la confiabilidad. En conclusión, en una situación real, se ha comprobado lo previsto por la Teoría, indicando que la reducción de la CTM con la implementación de RCM

es significativa. Esto ha permitido a la Compañía en cuestión, con el mismo personal operativo, atender un mayor número de equipos sin afectar la disponibilidad ni la confiabilidad. Durante la ejecución de este trabajo, se evidenció la dificultad de realizar cambios en las Empresas, debido a la inevitable ruptura de paradigmas (resistencia al cambio). La ejecución de este trabajo permitió a los directivos y al personal operativo de mantenimiento “repensar” tanto el objetivo de su trabajo como su labor diaria, a mediano y largo plazo.

El estudio de Campos et al., (2019) denominado “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos”. El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés) es una metodología ampliamente reconocida y utilizada para desarrollar planes de mantenimiento de equipos industriales, garantizando que las funciones del equipo satisfagan al usuario o propietario. Actualmente, existen diversas metodologías de RCM, aunque la esencia de esta metodología se encuentra en la norma SAE JA1011. En este trabajo, se propone una metodología RCM mejorada, que además de incluir los pasos especificados en la norma SAE JA1011, incorpora algunos pasos adicionales que facilitan su aplicación. La metodología propuesta se desarrolló tras analizar las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 para RCM, la metodología de análisis de modos y efectos de fallos (FMEA, por sus siglas en inglés) de la norma SAE J1739, la norma ISO 14224, la base de datos OREDA y algunos estudios de caso. La metodología RCM mejorada incluye pasos adicionales como: recopilación de información, uso de la norma ISO 14224 para estandarizar la información del equipo, uso de bases de datos como OREDA para las causas de fallos, y la evaluación de efectos de fallos para definir los números de prioridad de riesgo (NPR) y jerarquizar las fallas. Se presenta y analiza brevemente un caso de aplicación de la metodología propuesta.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

La investigación de Zorrilla, (2019) titulada “Propuesta de implementación del plan de mantenimiento basado en criterios de RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) para una línea de transmisión de 500kV”. Tesis de pregrado de la Universidad San Agustín de Arequipa – Perú. Cuyo objetivo fue Proponer la implementación del plan de mantenimiento basado en criterios de RCM para una línea de transmisión de 500kV en ENGIE Energía Perú S.A., con la finalidad de asegurar la confiabilidad, disponibilidad y optimizar los costos de mantenimiento. El cual tuvo como metodología un diseño no experimental, de tipo aplicada con nivel descriptivo y cuya población estuvo conformada por una línea de transmisión de 500 kV, con una longitud de 75 km en simple circuito, que va desde la SE ILO 4 hasta el pórtico de llegada de la SE Montalvo 500 kV. Donde se concluyó que, la implementación de RCM ofrece un marco estratégico completo para gestionar las fallas. Clasifica las fallas según sus consecuencias, distinguiendo entre fallas ocultas y evidentes, y categoriza las consecuencias de estas últimas en orden de importancia decreciente. El Plan de Mantenimiento de la Línea de Transmisión en 500kV de ENGIE Energía Perú S.A. actualmente utiliza el programa SAP, pero carece del análisis de modo y efectos de falla en los planes de mantenimiento preventivo y predictivo. El riesgo de cada modo de falla fue evaluado por un equipo técnico con profundo conocimiento del mecanismo de la falla, sus efectos, la probabilidad de ocurrencia y las medidas preventivas o anticipatorias que pueden aplicarse.

El estudio de Marchena, (2018) titulado “Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para aumentar la productividad del área de producción de tableros de la empresa Sertes S.A.C, Lima, 2018”. Tesis de pregrado de la Universidad Cesar Vallejo SEDE LIMA – PERU. El cual tuvo como proposito brindar la aceptación de la mejora que trae

consigo la implementación de dicho sistema; la cual ayudo a desarrollar una técnica de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) con el apoyo de los indicadores de confiabilidad, disponibilidad de igual manera eficiencia y eficacia para medir la productividad. La muestra consiste en los tableros manufacturados durante un lapso de 12 semanas, empleando un diseño cuasi experimental de enfoque aplicado, enfocado en la evaluación posterior a la implementación. La información se recolectó mediante observación y herramientas de medición. El estudio se organiza en 5 capítulos: la introducción aborda la problemática, antecedentes, marco teórico y matriz de coherencia; el segundo capítulo describe el método de análisis, la matriz de operacionalización y el desarrollo de la propuesta de mejora; el tercero presenta un análisis descriptivo comparativo y un análisis inferencial que utiliza pruebas estadísticas para evaluar la productividad antes y después de la intervención en estudio, validando así la hipótesis de investigación. Los cuarto y quinto capítulos contienen las conclusiones y recomendaciones, destacando que la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) resultó en un ahorro estimado de S/ 12,300.00 y un aumento promedio de la productividad del 20.75% durante el periodo de 12 semanas.

El estudio de Nicho, (2017) denominado “Diseño de un plan de Mantenimiento basado en la confiabilidad para motores Cummins QSK78 en la Minera Antamina, Lima 2017”. Tesis de pregrado de la Universidad Nacional del Callao SEDE LIMA – PERU. Cuyo propósito fue elaborar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad en motores Cummins QSK78 ubicados en la Minera Antamina. Se seleccionaron 14 motores como muestra de una población total de 51 motores. Mediante el análisis de criticidad, se identificó el sistema con el índice más alto de fallas y se diseñó el Análisis Modal de Fallas para identificar modos de falla recurrentes y planificar nuevas tareas de mantenimiento orientadas a su eliminación. El tipo de

investigación empleado es tecnológico, con un enfoque aplicado y descriptivo en su diseño. Se utilizaron técnicas e instrumentos como el tiempo entre fallas, tiempo entre paradas, disponibilidad mecánica y reportes operativos desde agosto de 2016 hasta mayo de 2017. Se realizó un análisis estadístico descriptivo y posteriormente se examinó la distribución de frecuencias, observando que la disponibilidad mecánica alcanzó el 91.61% en el 60% de la muestra estudiada. Durante el análisis de criticidad, se determinó que el sistema motor base era el más crítico. Mediante el Análisis Modal de Fallas se identificaron 29 modos de falla, y mediante la aplicación del RCM se propusieron 06 nuevas tareas de mantenimiento y 01 oportunidad de mejora, lo que incrementó gradualmente la disponibilidad mecánica. Como resultado, en agosto de 2017 se alcanzó un porcentaje del 96.67% de disponibilidad mecánica, reflejándose en la reducción de paradas no programadas, tiempos medios para reparaciones y aumento del tiempo entre fallas.

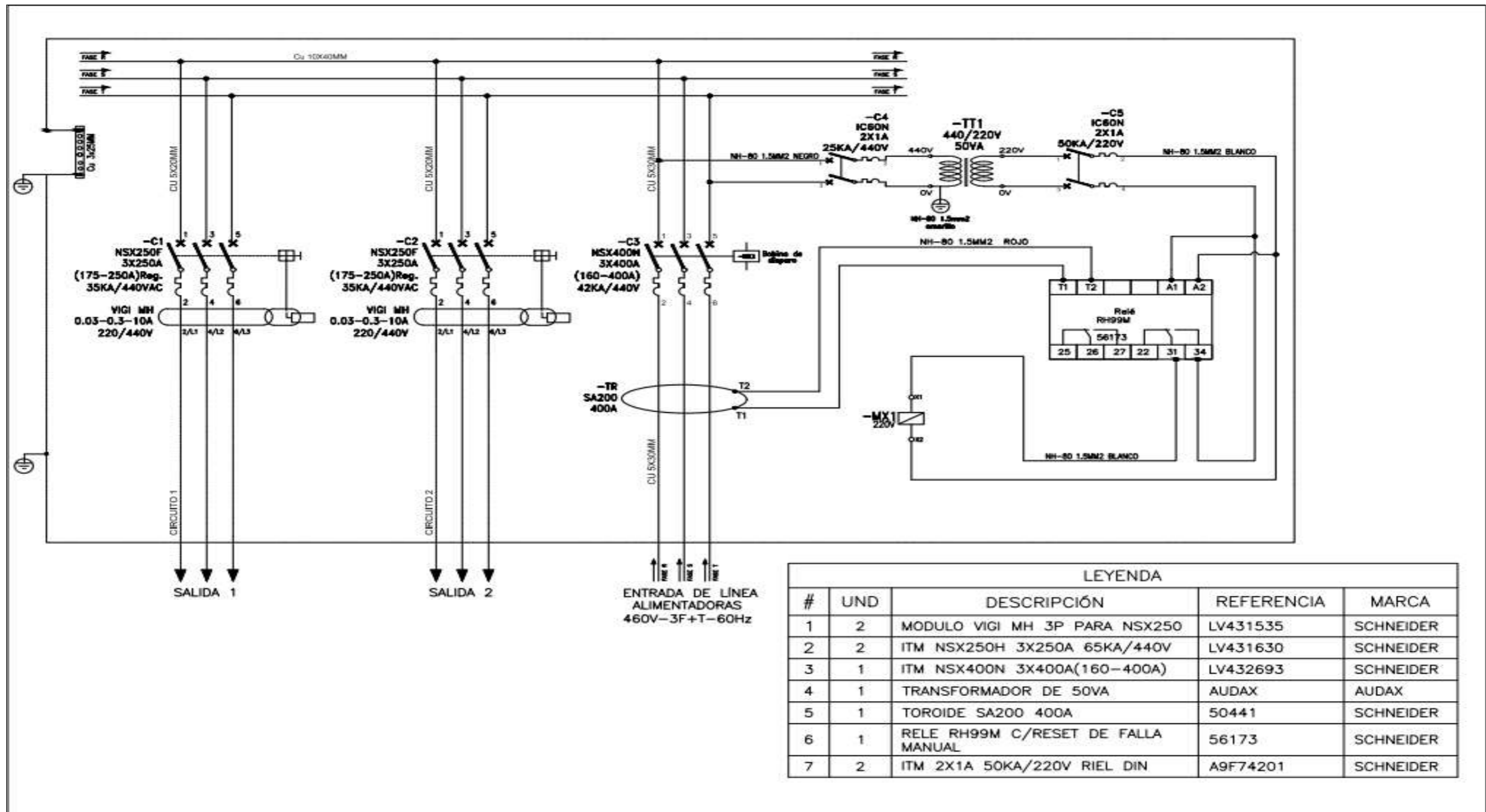
2.2. Definiciones

- **Tablero de distribución o de control:** Es un conjunto de paneles de gran tamaño en el que se colocan interruptores, dispositivos de protección contra sobre corriente, dispositivos de protección adicionales, barras y conexiones diseñadas para transportar e interrumpir las corrientes de falla en los alimentadores de entrada o salida, así como instrumentos diversos. Los tableros de distribución son accesibles tanto desde el frente como desde la parte posterior y no están concebidos para su instalación dentro de gabinetes. (Código Nacional de Electricidad-Utilización, 2006).

A continuación, se muestra los diagramas unifilares de los tableros de distribución que son estudiados en la presente tesis.

Tablero de tres llaves o interruptores termomagnéticos, se utiliza para distribución de bombas, ventiladores, puede contener dos equipos de alguno de ellos, o alguna carga adicional puntual (compresora portátil).

Figura 6
Diagrama Unifilar de tablero de 3 Interruptores termomagnéticos

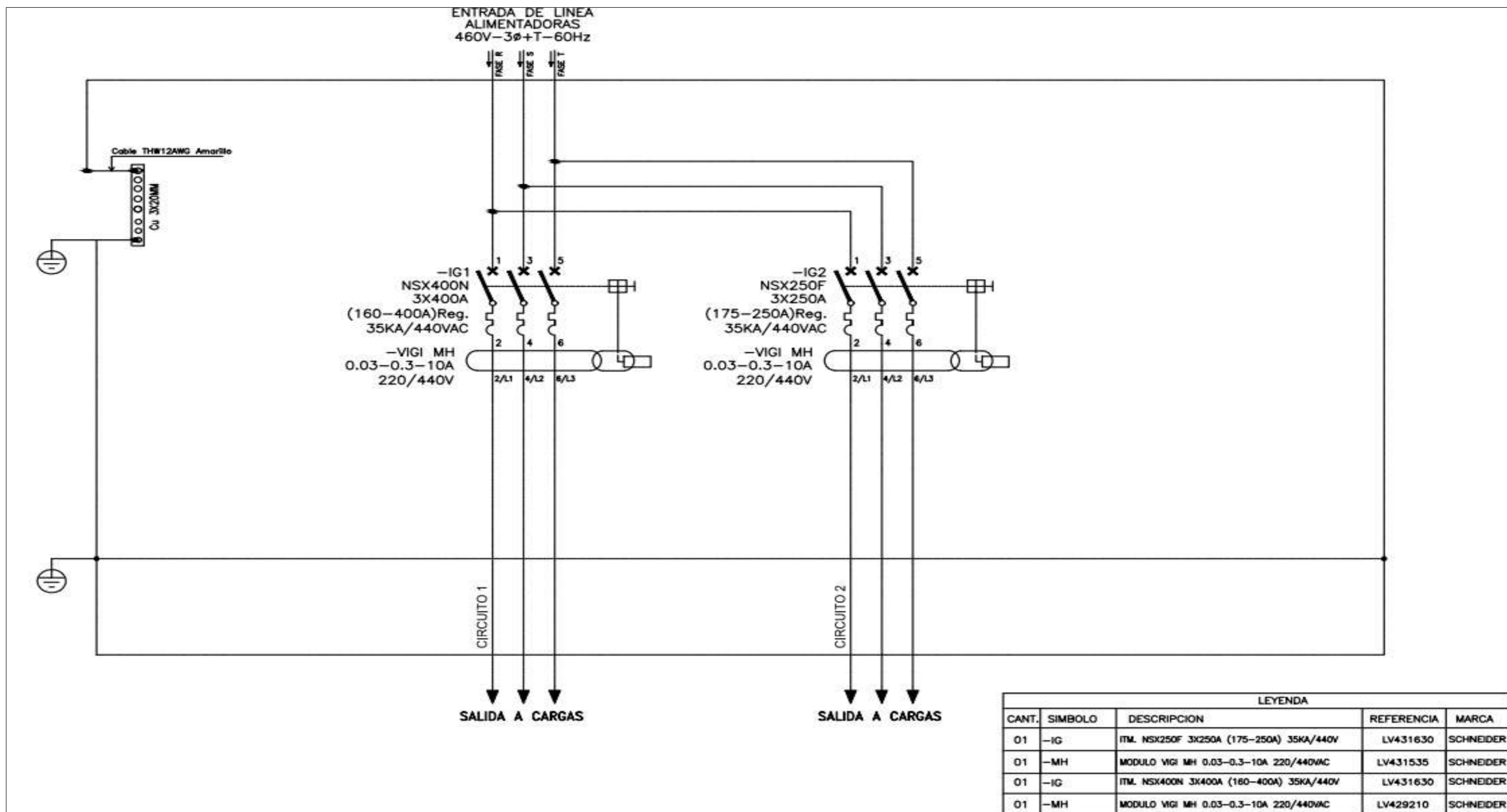


Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

Tablero de dos llaves o interruptores termomagnéticos, utilizados para distribución hacia bombas y ventiladores.

Figura 7

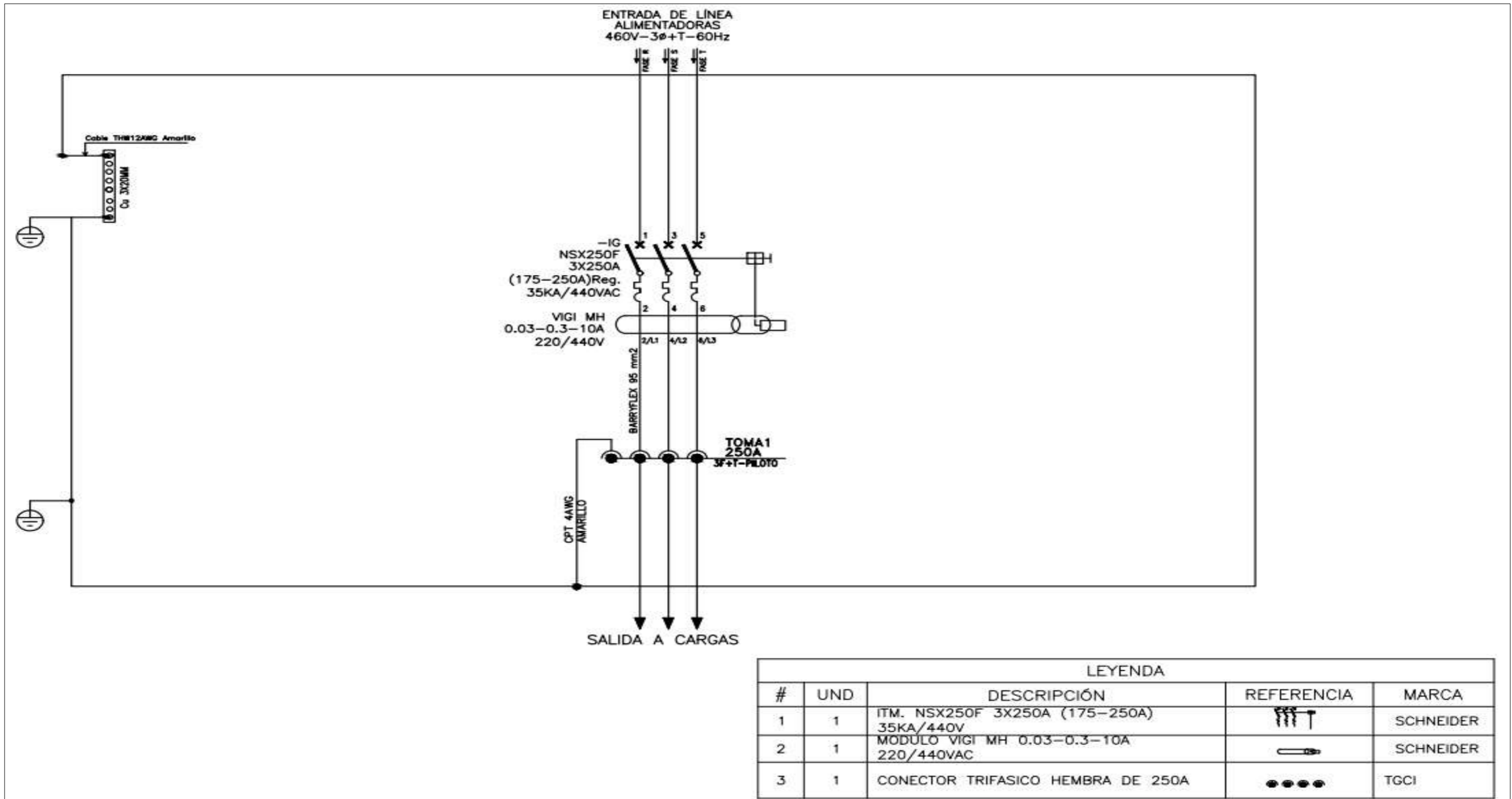
Diagrama Unifilar de tablero de 2 Interruptores termomagnéticos



Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

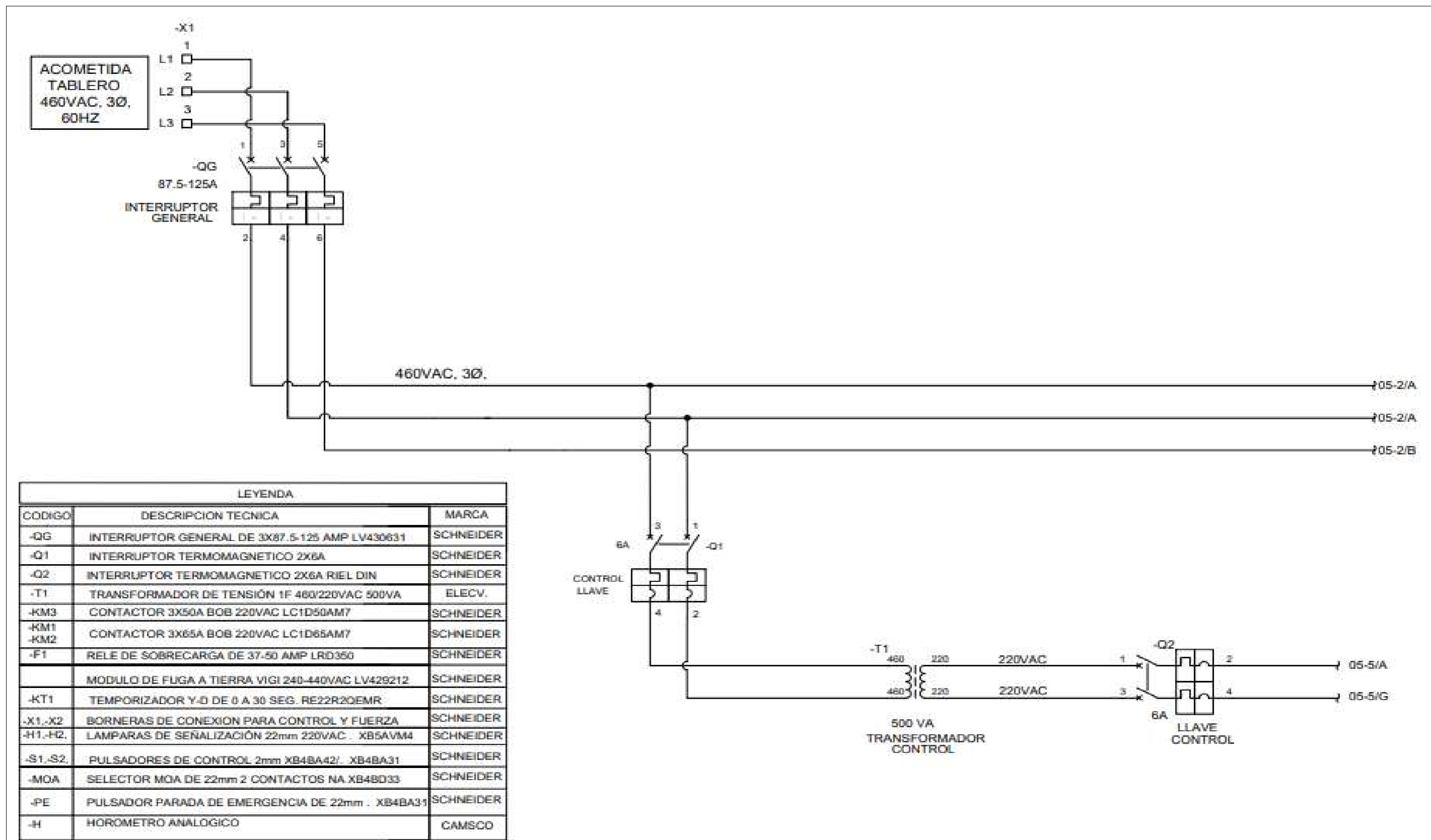
Tablero de una llave o interruptor termomagnético, utilizado para derivación y alimentación de equipos de perforación Jumbo.

Figura 8
Diagrama Unifilar de tablero de 1 Interruptor termomagnético



Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

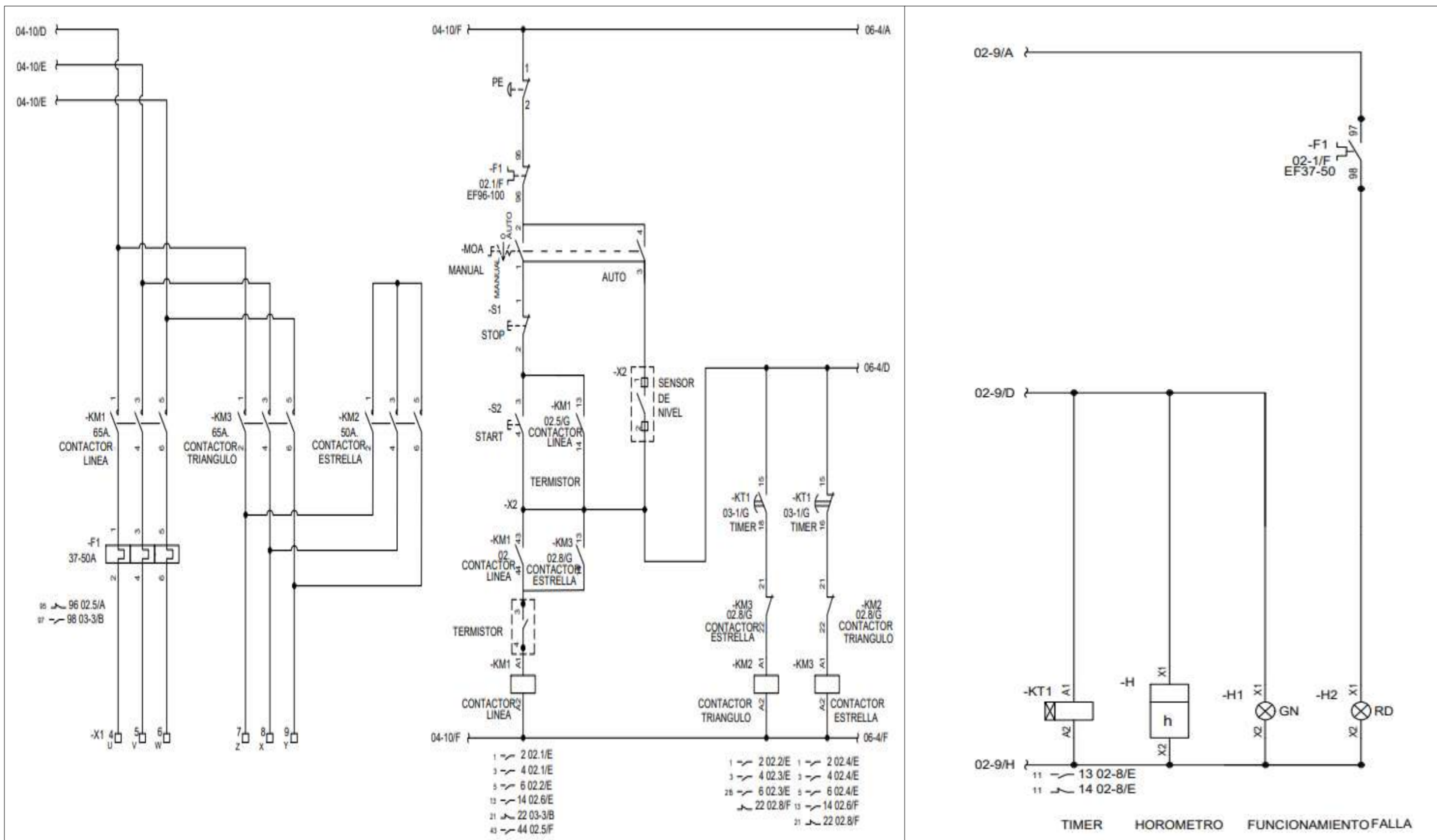
Figura 9
(a) Diagrama Unifilar de tablero de bomba 58 HP



Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

Figura 10

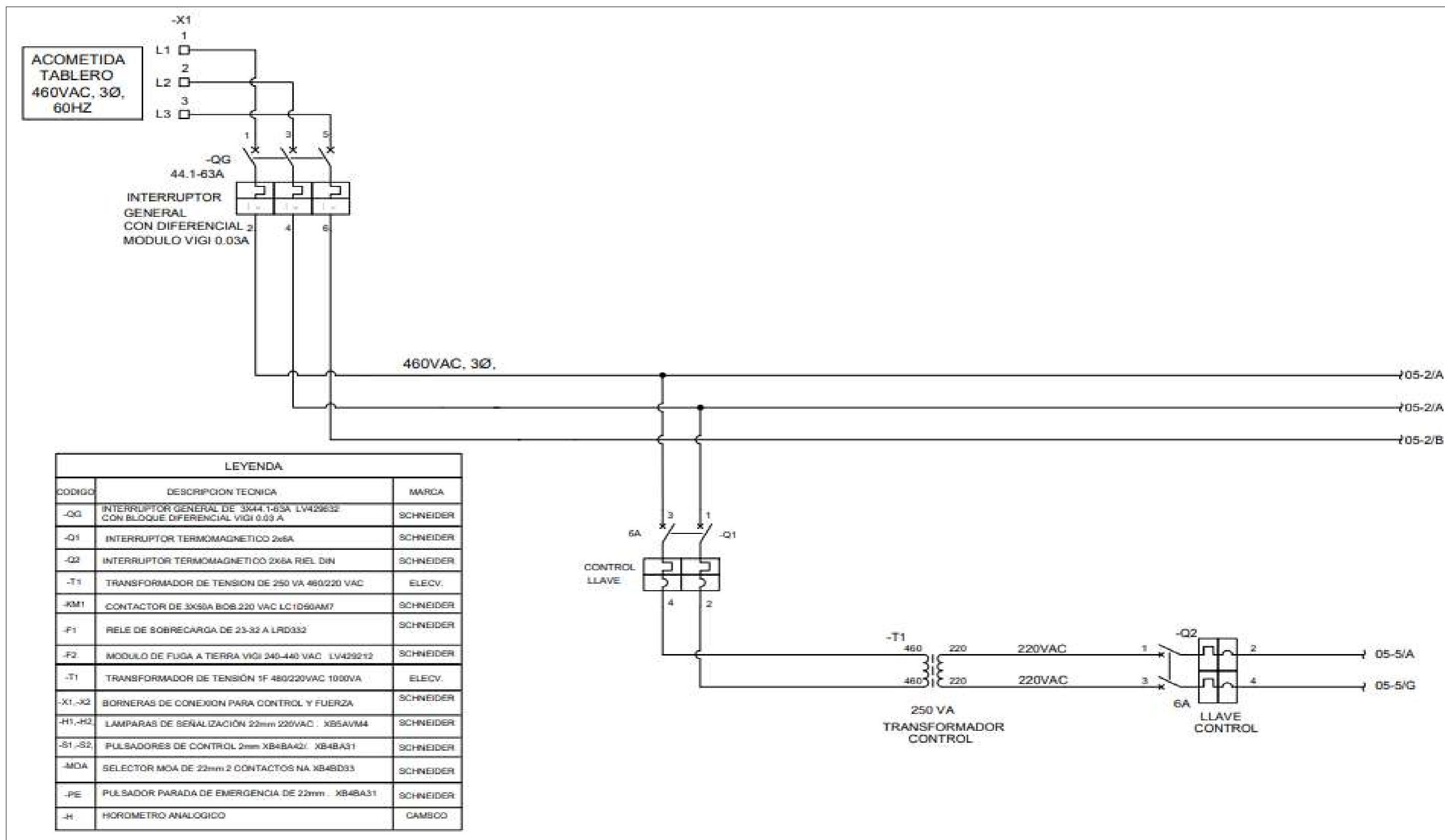
(b) Diagrama Unifilar de tablero de bomba 58 HP



Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

Figura 11

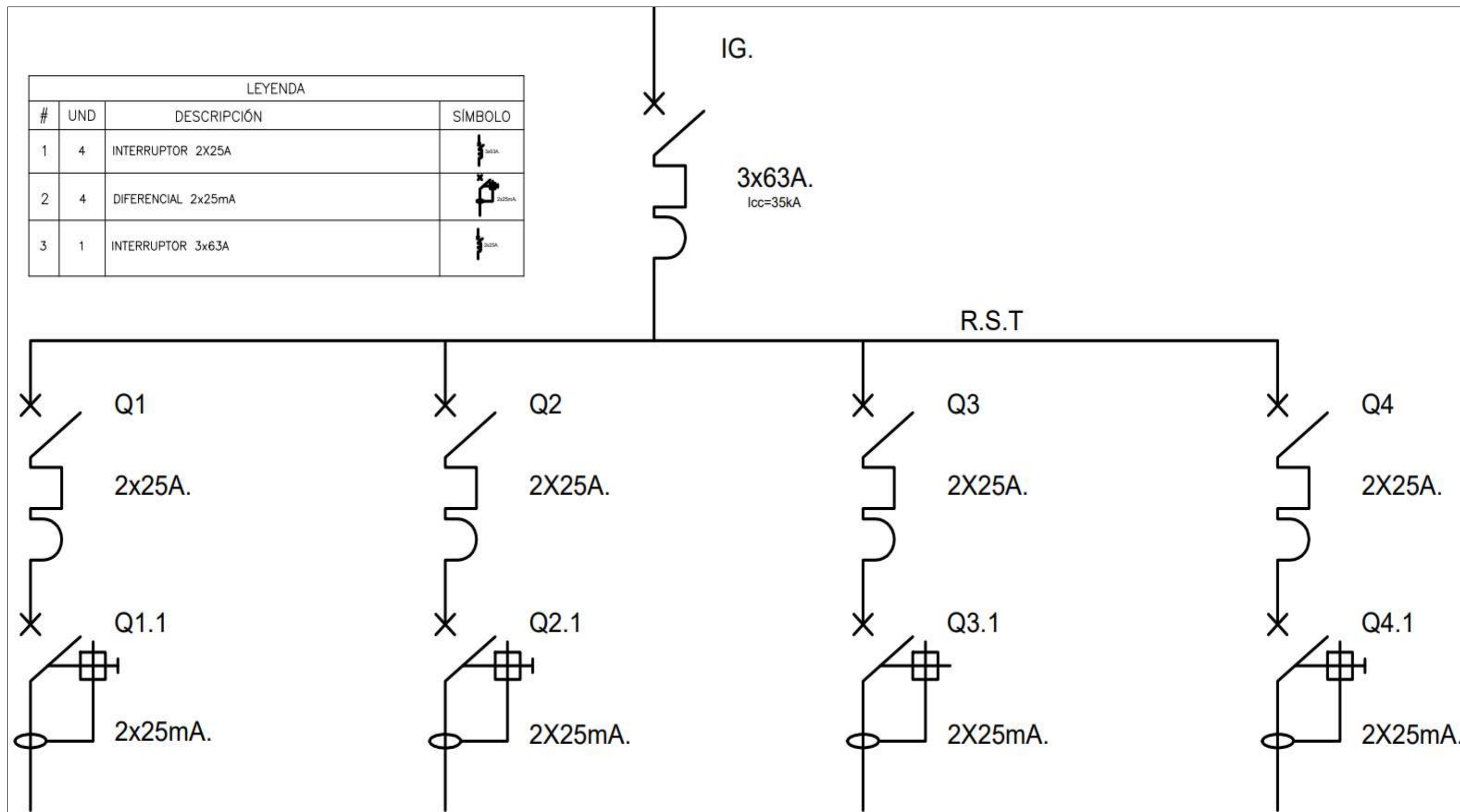
(a) Diagrama Unifilar de tablero de bomba 25 HP



Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

Figura 13

Diagrama Unifilar de tablero de iluminación



Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

Los tableros de 58HP y 25HP controlan el funcionamiento de las bombas sumergibles, si estas registran demasiada carga sale de servicio por seguridad, teniendo como sistema de protección al diferencial.

Los tableros de iluminación son esencialmente para proveer la iluminación necesaria donde se realiza el trabajo.

- **Interruptor:** Diseñado para establecer, interrumpir o cambiar la conexión de un circuito. (Código Nacional de Electricidad - Suministro , 2011)
- **Baja Tensión:** Grupo de niveles de tensión usados para la distribución de la electricidad. Su límite superior generalmente es $U \leq 1 \text{ kV}$, siendo U la Tensión Nominal. (Código Nacional de Electricidad - Suministro , 2011)
- **Deterioro:** Cualquier bien físico que cumple una función que lo pone en contacto con el mundo real, está sujeto a una gran variedad de presiones. (Moubray, 2004 p. 58).
- **Arrancador (aplicado a motores):** Sistema de regulación para incrementar la velocidad del motor desde su estado inactivo hasta su nivel normal, así como para detenerlo; comúnmente incorpora salvaguardias contra cargas excesivas. (Código Nacional de Electricidad-Utilización, 2006)
- **Equipo:** Un concepto amplio que abarca elementos, dispositivos, objetos, composiciones, instrumentos y otros elementos utilizados como parte de o en relación con la provisión de electricidad o sistemas de comunicación. (Código Nacional de Electricidad - Suministro , 2011).

- **Falla:** incapacidad de un bien de cumplir con las funciones que el usuario espera realice. (Moubray, 2004, p.45)
- **Evento de falla:** aquella situación que se puede presentar anómala de carácter técnico detectado en un equipo. (Rondón, 2021, p.27).

El diagrama unifilar presentado en las siguientes figuras demuestra el ingreso del suministro de energía eléctrica en interior mina desde la línea de 10kV al transformador de 10/0.48kV, ingresando a las celdas 1, 2 y 3 de Media Tensión, por consiguiente, estas suministrarán energía a los tableros que están en salas en interior mina, para distribuirlas por todos los niveles que desarrollan trabajos y requieren iluminación. La temperatura de ambiente de trabajo es de -22°C llegando a una temperatura máxima de 18°C , con humedad de 60% y con mayor concentración de polución. Para el tendido de cable para los tableros de distribución es de 50 metros aproximadamente.

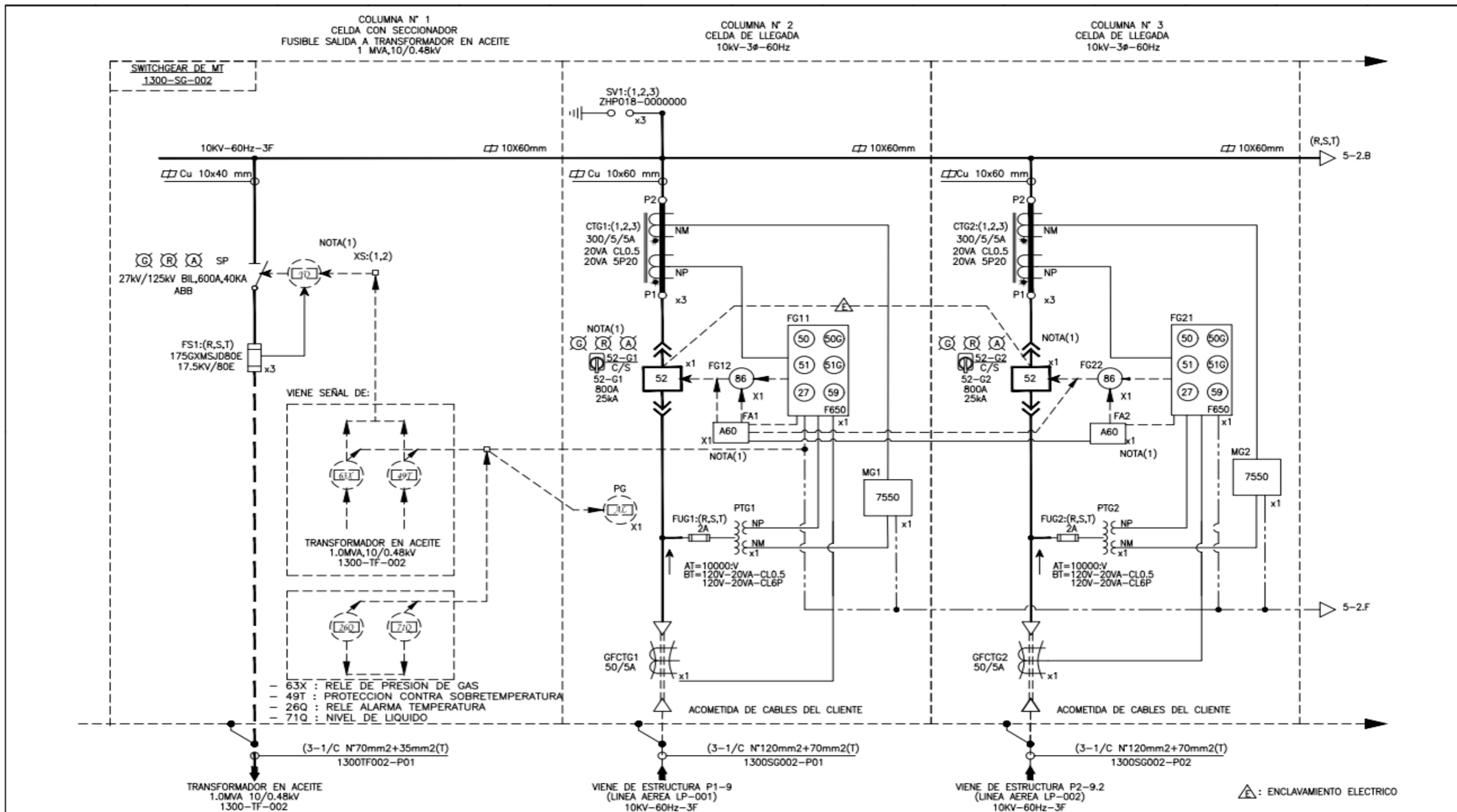
Figura 14

(a) Diagrama Unifilar de sistema de utilización (Leyenda)

	INTERRUPTOR DE POTENCIA EN VACIO EJECUCION EXTRAIBLE		BOBINA CONTACTOR AUXILIAR		INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO BIPOLAR.
	RELE DE PROTECCION DE ALIMENTADOR		CONMUTADOR DE MANDO 3 POSICIONES CLOSE-NORMAL-TRIP		INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TRIPOLAR.
	SECCIONADOR DE POTENCIA DE APERTURA EN CARGA CON BASE PORTAFUSIBLE		CONTACTO AUXILIAR NORMALMENTE ABIERTO.		RESISTENCIA CALEFACTORA. HEATER 100W TERMINALS
	PARARRAYO.		CONTACTO AUXILIAR NORMALMENTE CERRADO.		TERMOSTATO PARA CIRCUITO DE CALEFACCION
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE C/MULTIPLES DEVANADOS SECUNDARIOS NP: NUCLEO DE PROTECCION NM: NUCLEO DE MEDICION		LAMPARA DE SEÑALIZACION, DONDE: RIL = COLOR ROJO. GIL = COLOR VERDE. AIL = COLOR AMARILLO.		BORNERA SECCIONABLE Y CORTOCIRCUITABLE PARA SEÑALES DE CORRIENTE
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE HOMOPOLAR		CABLE DE ACOMETIDA DE MEDIA TENSION		BORNE DE CONTROL TERMINAL DE RELE DE PROTECCION BORNE IMAGEN DE INTERRUPTOR BORNE CORTOCIRCUITABLE
	MEDIDOR ION 7550		SWITCH EN PUERTA PARA SISTEMA DE ILUMINACION INTERIOR.		BORNERA DE PRUEBA 4P, PK2
	TRANSFORMADOR DE TENSION PARA CIRCUITOS DE MEDICION/PROTECCION NP: NUCLEO DE PROTECCION NM: NUCLEO DE MEDICION		SISTEMA DE ILUMINACION 2200-240V, 11W, 700Lm		BORNERA DE PRUEBA 6P, PK2

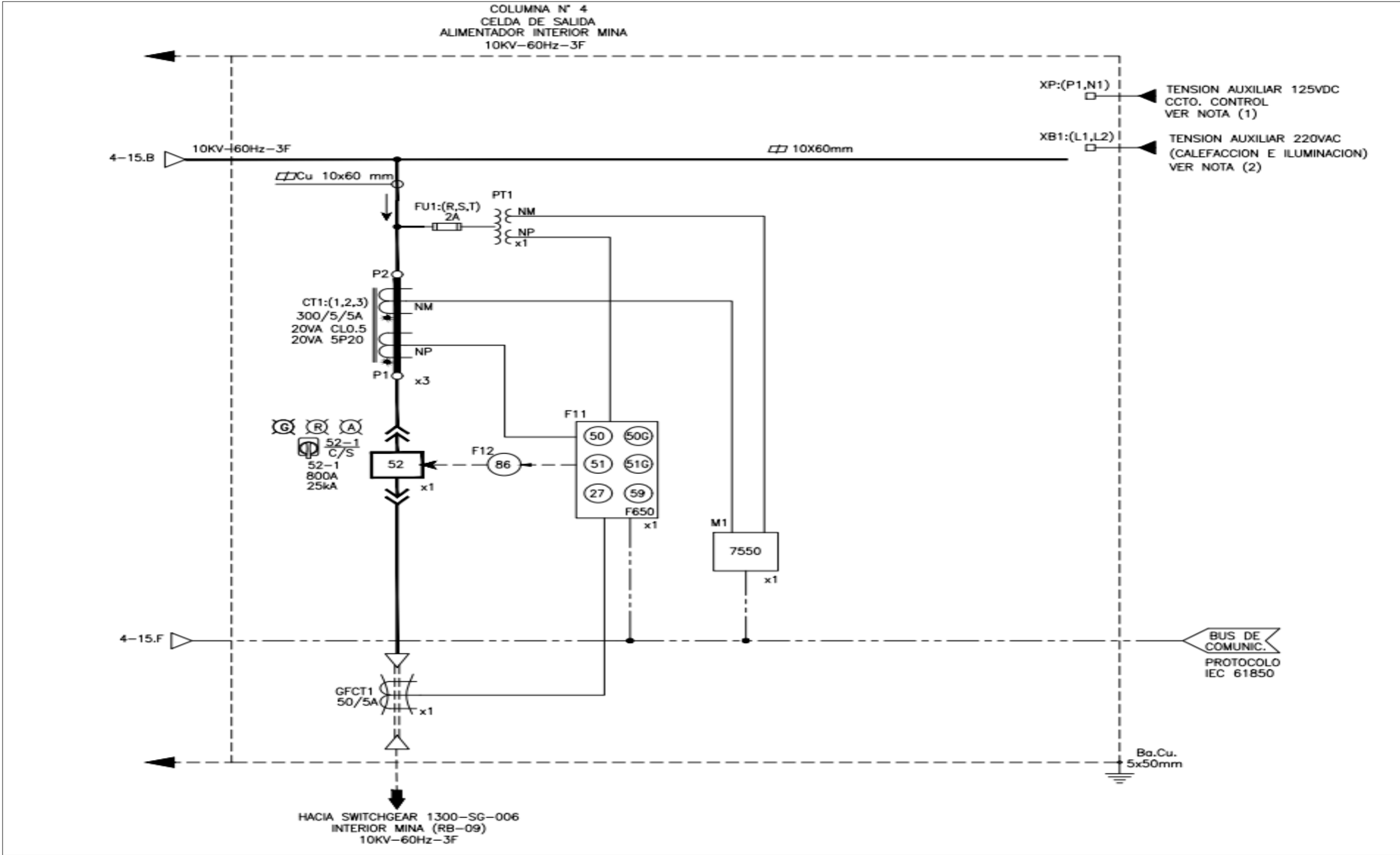
Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

Figura 15
 (b) Diagrama Unifilar de sistema de utilización



Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

Figura 16
(c) Diagrama Unifilar de sistema de utilización



Fuente: Unidad de Mantenimiento Eléctrico.

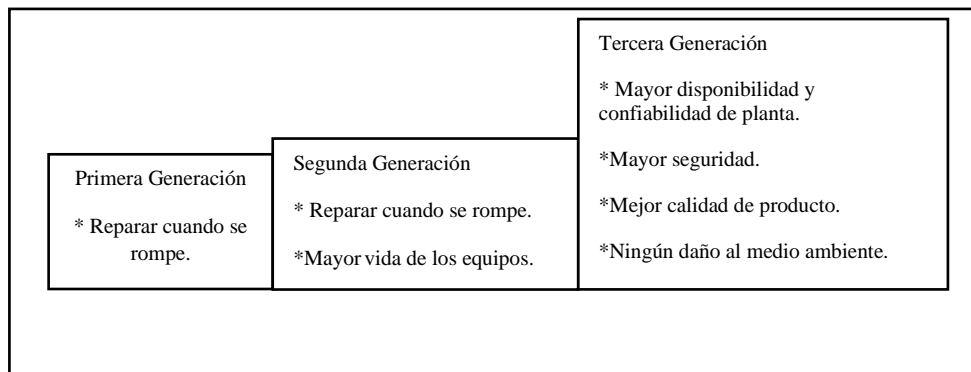
2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Evolución del Mantenimiento

Nuevas expectativas: Evolucionó las expectativas de mantenimiento

Figura 17

Expectativas en el mantenimiento



Fuente: (Moubray,2004, p.7)

Nuevas Técnicas: Cambios en las técnicas de mantenimiento

Figura 18

Técnicas en el mantenimiento



Fuente: (Moubray,2004, p.7)

Nuevas Investigaciones: Cambios de los puntos de vista sobre las fallas de equipos.

2.3.2. Mantenimiento

Serie de acciones que deben realizar las personas encargadas de este departamento o área, con la finalidad de que los equipos, máquinas, componentes e instalaciones involucrados

dentro de un proceso industrial estén en las condiciones requeridas de funcionamiento para lo que fue diseñado, construido, instalado y puesto en operación. (Rondón, 2021, p.21)

2.3.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

El RCM se implementa sobre la base de una serie de pasos muy planificados y relacionados. Primero hay que examinar bien las metas de productividad y de mejora que ha definido la dirección, para lo que se precisará una clara estrategia por parte de ésta sobre los principales parámetros a mejorar (costes, fiabilidades, etc.)”. (Moubray, 2004, p.83)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés, Reliability Centred Maintenance) se puede conceptualizar como un procedimiento empleado para identificar las acciones necesarias con el fin de garantizar que cualquier activo físico siga desempeñando las funciones deseadas por sus usuarios durante su operación normal actual.

2.3.4. Preguntas del RCM

Para una planificación adecuada según RCM, se debe responder las siguientes preguntas:

- 1.- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- 2.- ¿De qué manera puede fallar al cumplir sus funciones?
- 3.- ¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?
- 4.- ¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo?
- 5.- ¿De qué manera afecta cada fallo?
- 6.- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada fallo?

7.- ¿Qué debe hacerse sino se encuentra una tarea proactiva adecuada?

2.3.5. Tipos de Mantenimiento

- a) **Mantenimiento Correctivo:** Este mantenimiento correctivo se aplica cuando la máquina deja de operar, porque se presenta la falla o avería y su objetivo es poner en marcha su funcionamiento, afectando lo menos posible la productividad; generalmente se repara o se reemplaza el componente del equipo o de la máquina, haciéndolo en el menor tiempo posible. (Rondón, 2021, p.37).

- b) **Mantenimiento Preventivo:** El mantenimiento preventivo se fundamenta en una serie de labores o actividades planificadas que se llevan a cabo dentro de periodos definidos, se diseña con el objetivo de garantizar que los activos de las compañías cumplan con las funciones requeridas dentro del entorno de operaciones para optimizar la eficiencia de los procesos; para prevenir y adelantarse a las fallas de los elementos, componentes, máquinas o equipos; como también hace referencia a diferentes acciones, como cambios o reemplazos, adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, etc., realizadas en períodos de tiempos por calendario o uso de estos (tiempos dirigidos) (Rondón, 2021, p.39).

- c) **Mantenimiento Predictivo:** físicos con el desgaste o estado de una máquina. En el mantenimiento predictivo se tiene en cuenta la medición, el seguimiento y el monitoreo de parámetros y las circunstancias de operación de un equipo-máquina o una instalación. A tal producto, se precisa y se gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todas aquellas variables que se contemplan relevantes de medir y gestionar. (Rondón, 2021, p.48).

2.3.6. Desarrollo de la metodología RCM

Figura 19
Pasos adicionales propuestos



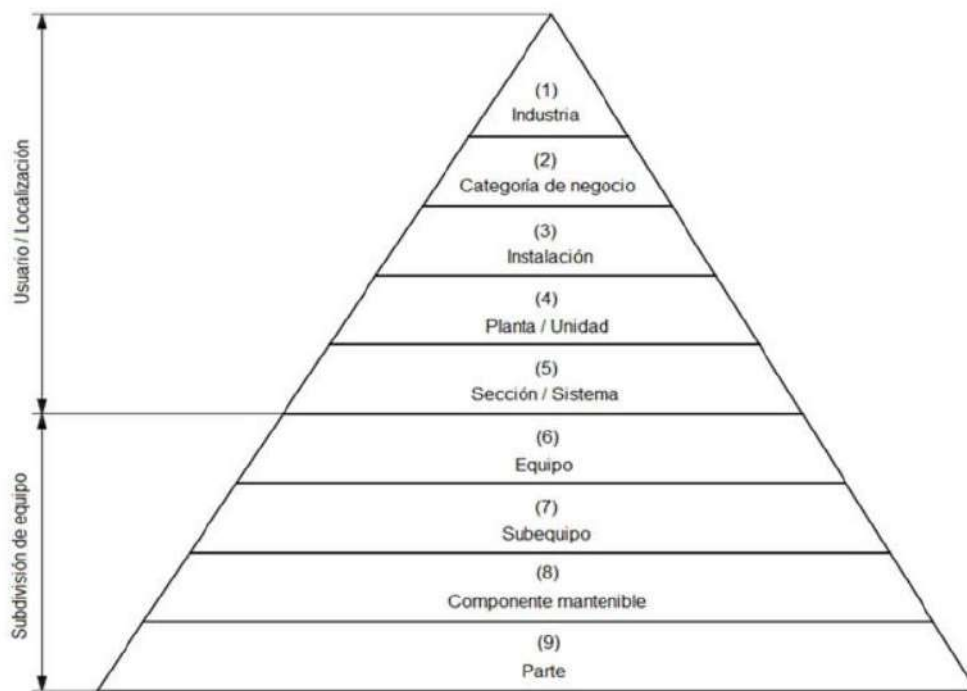
Fuente: (Campos,2019, p.4)

a) Antes de aplicar RCM

La norma SAE JA1011, propone recopilar información y analizarla con respecto al activo que se utilizará. Para la elaboración de la taxonomía, la norma ISO 14224, nos da una clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos.

En el presente estudio nuestro activo son los tableros eléctricos de distribución, por lo tanto, se aplica la norma SAE JA1011, y analizaremos la taxonomía de los tableros, subdividiendo en sistemas para el estudio de cada uno de ellos.

Figura 20
Taxonomía de equipos



Fuente: (Campos,2019, p. 5)

b) Durante el análisis

Determinar modos y causas de falla, categorizando los efectos de falla. La norma ISO 14224, define el modo de falla como un efecto a través del cual una falla es observada, es decir el modo de falla puede ser el síntoma cuantificable o evento que indica la ocurrencia de una falla. (Pérez, 2019, p.5)

Las herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad son los siguientes:

- i. Análisis de estructura de los activos físicos
 - ii. Análisis de criticidad
- ✓ AMEF (Análisis de Modos y Fallas):

Es una técnica aplicada al estudio Metódico de las consecuencias que provocan las fallas de cada componente (ítem mantenible para la norma ISO 14224) de un equipo. Sus objetivos principales son:

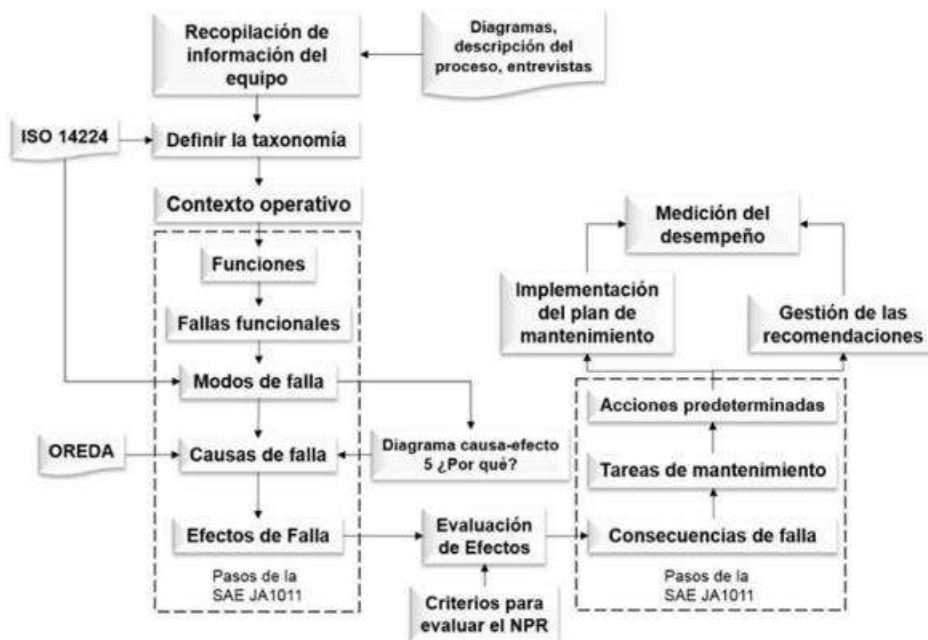
- Reconocer y evaluar los Modos de Fallas Potenciales y las causas asociadas con el diseño y montaje, Operación y Mantenimiento de un equipo, a partir de los Componentes.
- Determinar los Efectos de las Fallas Potenciales en el desempeño del Sistema.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la Falla Potencial.
- Analizar la Confiabilidad del Sistema
- Cuantificar Riesgos y Confiabilidad.
- Documentar el proceso
 - ✓ Árbol de decisiones
 - ✓ Análisis probabilístico de fallas
 - ✓ Matriz de decisiones para el mantenimiento centrado en la confiabilidad

c) Después del análisis

Después de obtener los resultados de aplicar la metodología RCM, es imperativo asignar responsabilidades para garantizar la adecuada implementación y ejecución del plan de mantenimiento, así como la aplicación de las recomendaciones obtenidas.

Figura 21

Mantenimiento Centrada en la Confiabilidad ampliada



Fuente:(Campos,2019, p. 8)

2.3.7. Confiabilidad

La probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas. (Pérez, 2019, p.2)

Para Jhon Moubray: Fórmula de la confiabilidad utilizamos:

Co: Confiabilidad Operacional

MTBF = Tiempo Promedio entre Fallas.

MTTR = Tiempo Promedio para Reparar.

$$Co = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \times 100$$

2.3.8. Disponibilidad

Es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (operativo) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo. (Moubray, 2004, p.183).

$$Do = \frac{MUT}{(MUT + MTTR)} \times 100$$

Do: Confiabilidad Operacional

MUT = Tiempo Promedio en operación o tiempo promedio para fallar.

MTTR = Tiempo Promedio para Reparar.

2.3.9. Eficiencia

Se define como la obtención del mayor beneficio a un mínimo de recursos. Es decir, a medida que disminuya la cantidad de recursos utilizados para producir una misma cantidad, se logra un aumento de la productividad en consecuencia, un aumento de la eficiencia. (Fried, et al., 2008)

2.3.10. Eficacia

Es el nivel de obtención de metas y objetivos. (Gestion, 2023). Capacidad de lograr los objetivos y metas establecidos en términos de confiabilidad y disponibilidad de los activos. En el contexto del RCM, la eficacia se traduce en la capacidad del mantenimiento para prevenir o

mitigar de manera efectiva las fallas, maximizando la vida útil de los activos y garantizando un rendimiento confiable.

2.4. Marco Normativo

2.4.1. Normativa

- La norma SAE JA1011, publicada en agosto de 1999, establece los requisitos mínimos que debe cumplir cualquier metodología para ser reconocida como RCM. Se destaca la importancia de que cualquier proceso de RCM responda de manera efectiva siguiendo una secuencia específica.

Es de gran importancia tener en cuenta esto durante el estudio. La presente norma SAE sobre Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) está diseñada para ser aplicada en cualquier entidad que posea o utilice recursos o sistemas físicos, exigiendo responsabilidad en su gestión.

- **La norma SAE JA1012**, publicada en agosto de 1999, la norma SAE JA1012 define el modo de falla como un incidente específico que ocasiona una disfunción (actuando como la causa principal de la falla) y lo diferencia de la causa-raíz (la causa subyacente).

Estas normas establecen criterios que satisfacen una metodología para que pueda llamarse RCM.

- **Norma ISO 14224:** Esta norma internacional, publicada el 15 de julio de 1999 y posteriormente modificada en varias ocasiones, proporciona una base para la recopilación de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para

las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural, con criterios aplicables a otras industrias y actividades. Sus definiciones se derivan del RCM. La norma establece directrices para la especificación, recopilación y aseguramiento de la calidad de los datos, permitiendo cuantificar la confiabilidad de los equipos y compararla con la de otros equipos de características similares. (**Troffé, 2013, p.2**). La versión modificada de la ISO 14224:2016 detalla las áreas donde se utilizan estos datos:

- ✓ Fiabilidad, en la identificación de fallas y mecanismos de falla presentes en el ítem.
 - ✓ Disponibilidad / eficiencia, de equipos, disponibilidad del sistema y capacidad de producción de la planta.
 - ✓ Mantenimiento de los equipos, ya sea correctivo o preventivo, incluyendo el plan de mantenimiento y la capacidad de realizar mantenimiento, entre otros.
 - ✓ Seguridad y medio ambiente, relacionado con fallas en los equipos que puedan tener consecuencias negativas para la seguridad y/o el entorno.
- **Código Nacional de Electricidad (CNE) – Utilización:** Esta norma nacional nos permitirá analizar los interruptores y tableros eléctricos, como los criterios de diseño, conexiones, trabajos en ambiente mojados y requisitos de fabricación. Por lo tanto se efectuará un buen análisis para el desarrollo de la propuesta del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Capítulo III

DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DEL MANTENIMIENTO ACTUAL DE LOS TABLEROS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN

3. Situación actual de mantenimiento de tableros eléctricos en la Unidad Minera Inmaculada

La problemática en la Unidad Minera Inmaculada radica en la ausencia de una gestión de mantenimiento adecuadamente planificada de los tableros eléctricos. Actualmente, el enfoque predominante consiste en llevar a cabo intervenciones de mantenimiento únicamente cuando los tableros ya han experimentado fallas. Esta práctica reactiva no solo aumenta los tiempos de inactividad y los costos asociados a las reparaciones, sino que también compromete la integridad y la eficiencia de los equipos eléctricos, afectando negativamente la continuidad operativa y la seguridad en la unidad minera. La falta de un enfoque proactivo en la gestión de mantenimiento ha generado un ciclo de reparaciones imprevistas, subutilización de recursos y un mayor riesgo de pérdida de producción, destacando la necesidad urgente de proponer estrategias de mantenimiento centradas en la confiabilidad para optimizar la operación y salvaguardar la integridad de los tableros eléctricos.

Para el diagnóstico de la operación de los tableros eléctricos en mina, se tomó en cuenta los reportes realizados diariamente por el grupo que ingresa a interior mina, tomando en cuenta que los reportes son enviados por ambos turnos (día, noche).

Así mismo para este diagnóstico se utilizó los informes desarrollados por el personal de mantenimiento, cuya medición se realizó entre los meses de enero a noviembre del 2023.

Figura 22
Tablero inoperativo



Fuente: Elaboración propia.

El departamento de mantenimiento dispone de un formulario específico para llevar a cabo la revisión de los tableros eléctricos. Aquellos tableros que controlan ventiladores o bombas son enviados a empresas externas para su reparación, ya que no se cuenta con el personal adecuado para realizar el mantenimiento de estos equipos internamente. Este formulario actúa como un indicador para identificar y analizar las fallas en los tableros y es archivado por el jefe de mantenimiento eléctrico, quien luego elabora un informe que se remite al departamento de planeamiento.

Figura 23
Formato para la revisión de Tableros eléctricos

MANTTO ELECTRICO MINA	SHEET LIST TABLERO ELECTRICO DE EQUIPO	U.O CIA	INMACULADA ARES
FABRICANTE		CORRIENTE	
NOMBRE		VOLTAJE	
SERIE		NUM FASES	
UBICACION		FRECUENCIA	
	FECHA		

ITEM	DESCRIPCIÓN	ESTADO				OBSERVACIONES
		B	M	NT	NA	
1	Tiene señalización de riesgo eléctrico					
2	Indica el Nivel de tensión de servicio					
3	Indica el número de fases					
4	Estado de Bastidor					
5	Incluye palanca de mando exterior ON/OFF					
6	Palanca de mando exterior esta prevista para instalacion de candado					
7	El gabinete Incluye Conector Hembra tetrapolar para Equipo					
8	El interruptor termomagnético cuenta con relé diferencial hasta 20mA					
9	El tablero cuenta con prensaestopas para ingreso salida de cables					
10	Los cables de Energía indican el sentido de flujo de Corriente					
11	El tablero tiene punto de puesta a tierra					
12	Indique Estado de Bizagras					
13	Indique Estado de puertas					
14	Ajustes Seteo de Corriente Diferencial de falla a tierra					
15	Ajustes Seteo de Tiempo de Disparo Relé Diferencial de falla a tierra					
16	Verificar el estado de los equipos de medición					
17	Verificar si tiene cerrojo para lock-out/tag-out					

.....
Nombre de Inspector

.....
Supervisor Electricista

B BUENO
M MAL
NT NO TIENE

Fuente: Archivos Jefatura Mantenimiento eléctrico.

3.1. Tableros en mina

Los tableros de distribución que son utilizados en mina son los siguientes:

Tabla 4

Tableros en mina

Tablero de distribución 480VAC 3 ITM
Tablero de distribución 480VAC 2 ITM
Tablero de distribución 480VAC 1 ITM
Tablero para bomba 25 HP
Tablero estrella triángulo 58 HP
Tablero de iluminación

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Tensiones de los tableros

Voltaje Nominal	Fases	Capacidad de ruptura
480 VAC-60hz	3 ϕ	65 kA en 480 VAC
230 VAC-60hz	3 ϕ	18 kA en 230 VAC
120 VAC-60hz	1 ϕ	10 kA en 120 VAC

Fuente: Informe Confección de Tableros de Distribución 207-MEM-SPC-031.

La ausencia de verificación y mantenimiento preventivo en los tableros eléctricos de la unidad minera Inmaculada puede generar consecuencias significativas y potencialmente peligrosas. Estos tableros son elementos esenciales de la infraestructura eléctrica necesaria para las operaciones mineras, y su correcto funcionamiento es vital para garantizar tanto la seguridad de los trabajadores como la integridad de los equipos.

En primer lugar, la falta de inspecciones periódicas puede provocar un deterioro gradual de los componentes eléctricos. Los cables, interruptores, fusibles y otros elementos pueden desgastarse con el tiempo debido a la exposición a condiciones adversas, como humedad, polvo y vibraciones. Esto incrementa el riesgo de cortocircuitos, fallos en el sistema y, en última instancia, la posibilidad de incendios eléctricos.

Asimismo, la falta de mantenimiento preventivo puede ocasionar la acumulación de suciedad y polvo en los tableros, lo cual podría afectar la disipación de calor y elevar la temperatura interna. El sobrecalentamiento de los componentes eléctricos puede llevar a un rendimiento deficiente, pérdida de eficiencia energética y, en casos extremos, a la degradación o fallo completo de los equipos. Un ejemplo claro, como se muestra en la figura 13, es la falta de supervisión adecuada que resultó en un incendio en un tablero de equipo, llegando a fundirse los terminales, lo que podría haber generado incidentes fatales.

Figura 25

Tableros con terminales fundidos



Fuente: Informe Confección de Tableros de Distribución 207-MEM-SPC-031.

Además, la ausencia de verificaciones periódicas puede provocar que los dispositivos de protección y control se vuelvan obsoletos. Con el tiempo, los interruptores de circuito, relés y otros dispositivos de seguridad pueden dejar de funcionar adecuadamente, lo que compromete la capacidad del sistema para responder eficazmente a situaciones de emergencia, como sobrecargas o cortocircuitos. Desde una perspectiva de seguridad laboral, la negligencia en la verificación y mantenimiento de los tableros eléctricos puede exponer a los trabajadores a riesgos innecesarios. Un sistema eléctrico defectuoso puede causar descargas eléctricas, electrocuciones o lesiones graves. Además, las interrupciones no planificadas en el suministro eléctrico pueden afectar la continuidad de las operaciones mineras y causar pérdidas económicas.

Por lo tanto, la falta de verificación y mantenimiento en los tableros eléctricos de una unidad minera, o cualquier otra industria, no solo compromete la seguridad de los trabajadores, sino que también aumenta el riesgo de fallos en el sistema que podrían resultar en daños a la infraestructura, pérdida de productividad y, en el peor de los casos, eventos catastróficos. Es crucial establecer un programa regular de inspección y mantenimiento para asegurar el funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas eléctricos en entornos mineros.

3.2. Identificación de tableros con actual necesidad de mantenimiento preventivo

Dentro de la mina, hay equipos que dependen de la energía eléctrica, y el incumplimiento de los objetivos establecidos puede causar retrasos y afectar las cuotas de extracción diaria de mineral. Por ello, es fundamental llevar a cabo un mantenimiento preventivo y correctivo adecuado de los tableros eléctricos, ya que son esenciales para el funcionamiento de equipos como el equipo de perforación T1D, ventiladores, bombas y el robot lanzador de shotcrete.

La siguiente tabla muestra la cantidad de tableros que requieren mantenimiento, según los informes mensuales enviados por el personal de mantenimiento:

Tabla 5
Resumen de reportes

N°	MES	Tableros que requieren mantenimiento
1	Enero	36
2	Febrero	27
3	Marzo	26
4	Abril	26
5	Mayo	27
6	Junio	24
7	Julio	25
8	Agosto	21
9	Septiembre	22
10	Octubre	22
11	Noviembre	23

Fuente: Elaboración propia.

Taller de mantenimiento eléctrico NV 4700, supervisión y mantenimiento a los tableros extraídos de mina:

Figura 26
Taller Nv. 4700 Mantenimiento Mina



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Evaluación de la confiabilidad y disponibilidad de los tableros eléctricos

Se realiza el cálculo de confiabilidad y disponibilidad, en el registro indicado se detalla las fórmulas a usar, los resultados adquiridos de los reportes diarios de los meses de enero, febrero y marzo:

Tabla 6

Registro de Confiabilidad y Disponibilidad – enero 2023

REGISTRO DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD							
DATOS:				FECHA:			
FABRICANTE				CORRIENTE			
NOMBRE				VOLTAJE			
SERIE				NUM. FASES			
Confiabilidad= $MTBF/(MTBF+MTTR)$ $MTBF= (Horas funcionamiento*días por semana)$ /Número de Fallas $MTTR= Sumatoria del$ $tiempo/Número de fallas$				Disponibilidad= $MUT/(MUT+MTTR)$ $MUT= (Horas disponibles*Días por semana) /Número de fallas$			
ENERO							
Fecha	N° de Fallas	Horas	MTBF	MTTR	Confiabilidad	MUT	Disponibilidad
1/01/2023	1	4					
2/01/2023	1	2					
3/01/2023	1	2					
4/01/2023	1	3	20	2.71	88.05	8	74.67
5/01/2023	1	2					
6/01/2023	1	4					
7/01/2023	1	2					
8/01/2023	1	2					
9/01/2023	-	-					
10/01/2023	4	8	18	2	89.74	7	77.78
11/01/2023	-	-					
12/01/2023	-	-					
13/01/2023	3	6					
14/01/2023	-	-					
15/01/2023	1	2					
16/01/2023	2	2					
17/01/2023	1	3	16	2.89	84.34	6.22	68.29
18/01/2023	2	9					
19/01/2023	-	-					
20/01/2023	2	6					
21/01/2023	1	4					
22/01/2023	3	6					
23/01/2023	-	-					
24/01/2023	1	2	18	2.375	88.05	7	74.67
25/01/2023	2	5					
26/01/2023	1	4					
27/01/2023	-	-					
28/01/2023	1	2					
29/01/2023							
30/01/2023							
31/01/2023							

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de confiabilidad y disponibilidad tienen valores bajos, este resultado es un indicio que los tableros no tienen la capacidad de cumplir con sus funciones adecuadamente a falta de un adecuado mantenimiento.

Tabla 7
Registro de Confiabilidad y Disponibilidad-febrero 2023

REGISTRO DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD							
DATOS:				FECHA:			
FABRICANTE				CORRIENTE			
NOMBRE				VOLTAJE			
SERIE				NUM. FASES			
Confiabilidad= $MTBF/(MTBF+MTTR)$ MTBF= (Horas funcionamiento*días por semana) /Número de Fallas MTTR= Sumatoria del tiempo/Número de fallas				Disponibilidad= $MUT/(MUT+MTTR)$ MUT= (Horas disponibles*Días por semana) /Número de fallas			
CONTROL							
FEBRERO							
Fecha	N° de Fallas	Horas	MTBF	MTTR	Confiabilidad	MUT	Disponibilidad
1/02/2023	1	9	20	3	86.15	8	71.34
2/02/2023	1	6					
3/02/2023	-	-					
4/02/2023	2	3.5					
5/02/2023	2	4					
6/02/2023	1	-					
7/02/2023	2	8	20	4	82.11	8.00	64.74
8/02/2023	1	6					
9/02/2023	1	3					
10/02/2023	1	5.5					
11/02/2023	1	4					
12/02/2023	1	4					
13/02/2023	-	-	28	8.1	77.56	11.2	58.03
14/02/2023	1	5					
15/02/2023	1	15					
16/02/2023	-	-					
17/02/2023	-	-					
18/02/2023	1	4.5					
19/02/2023	1	9	23	4.75	83.09	9.33	66.27
20/02/2023	1	7					
21/02/2023	1	4					
22/02/2023	1	5					
23/02/2023	-	-					
24/02/2023	1	6.5					
25/02/2023	1	5					
26/02/2023	-	-					
27/02/2023	2	8					
28/02/2023							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8*Registro de Confiabilidad y Disponibilidad-marzo 2023*

REGISTRO DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD							
DATOS:				FECHA:			
FABRICANTE				CORRIENTE			
NOMBRE				VOLTAJE			
SERIE				NUM. FASES			
Confiabilidad= $MTBF/(MTBF+MTTR)$ MTBF= (Horas funcionamiento*días por semana) /Número de Fallas MTTR= Sumatoria del tiempo/Número de fallas				Disponibilidad= $MUT/(MUT+MTTR)$ MUT= (Horas disponibles*Días por semana) /Número de fallas			
CONTROL							
MARZO							
Fecha	N° de Fallas	Horas	MTBF	MTTR	Confiabilidad	MUT	Disponibilidad
1/03/2023	1	5	20	4.71	80.92	8	62.92
2/03/2023	-	-					
3/03/2023	2	10					
4/03/2023	1	8					
5/03/2023	-	-					
6/03/2023	2	6	20	5.43	78.65	8	59.57
7/03/2023	1	4					
8/03/2023	1	8					
9/03/2023	-	-					
10/03/2023	2	11					
11/03/2023	1	7	28	8.2	77.35	11.2	57.73
12/03/2023	1	2					
13/03/2023	1	8					
14/03/2023	1	2					
15/03/2023	1	2					
16/03/2023	1	8	28	5.6	83.33	11.2	66.67
17/03/2023	-	-					
18/03/2023	1	13					
19/03/2023	1	9					
20/03/2023	1	9					
21/03/2023	-	-					
22/03/2023	1	8					
23/03/2023	1	10					
24/03/2023	-	-					
25/03/2023	-	-					
26/03/2023	2	8					
27/03/2023	-	-					
28/03/2023	1	2					
29/03/2023							
30/03/2023							
31/03/2023							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9*Registro promedio mensual (enero/febrero/marzo)*

MES	CONFIABILIDAD	DISPONIBILIDAD
ENERO	88.05%	74.67%
	89.74%	77.78%
	84.34%	68.29%
	88.05%	74.67%
FEBRERO	86.15%	71.34%
	82.11%	64.74%
	77.56%	58.03%
	83.09%	66.27%
MARZO	80.92%	62.92%
	78.65%	59.57%
	77.35%	57.73%
	83.33%	66.67%

Fuente: Elaboración propia.

Los tableros deben funcionar tanto de día como de noche debido a la naturaleza continua y dinámica del trabajo en la mina, siendo óptimo el resultado de confiabilidad y disponibilidad mayor a 90%. Estos datos se recopilieron antes de implementar la propuesta del plan de mantenimiento. Según los informes de confiabilidad y disponibilidad de enero, febrero y marzo, se observa lo siguiente:

La disponibilidad promedio de los tableros es del 66.89% en relación con el tiempo total de funcionamiento, lo que indica que los tableros eléctricos no pueden operar de manera continua debido a la falta de un mantenimiento preventivo adecuado. El promedio de confiabilidad es del 83.28%, reflejando la capacidad del tablero para cumplir su función durante un periodo de tres meses. Sin embargo, la calidad del suministro eléctrico de los tableros no garantiza continuidad. Las interrupciones en los tableros impiden que los equipos cumplan con las metas diarias establecidas. Estos retrasos se informan en las reuniones de

reparto de guardia, tanto dentro como fuera de la mina, evidenciando bajos niveles de confiabilidad y disponibilidad en los tableros de distribución.

Capítulo IV

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO

4. Metodología RCM adaptada a las necesidades de la Unidad Minera Inmaculada

El plan de mantenimiento RCM de los tableros de alimentación eléctrico propuesto, contempla los siguientes aspectos, según la norma SAE JA1011, que establece criterios para cumplir el proceso de RCM:

- a) Reunión con jefatura y definir el responsable del mantenimiento.
- b) Análisis y descripción del contexto operacional
- c) Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)
- d) Recopilación de datos
- e) Revisión de los resultados y mejora continua

Los dos primeros aspectos del proceso de implementación se desarrollan en colaboración con la jefatura de mantenimiento eléctrico, definiendo conjuntamente las tareas del personal de mantenimiento. El tercer aspecto, el Análisis de Modo y Efecto de Fallos (AMEF), incluye un sistema de análisis que registra los datos necesarios para el análisis respectivo y procesa nueva información que será crucial para la elaboración del plan de mantenimiento. Se examinan los resultados del plan de mantenimiento para identificar nuevos modos de falla y mejorar las tareas o funciones de los componentes que fallaron en los tableros eléctricos. Finalmente, se revisan los resultados para fomentar una mejora continua.

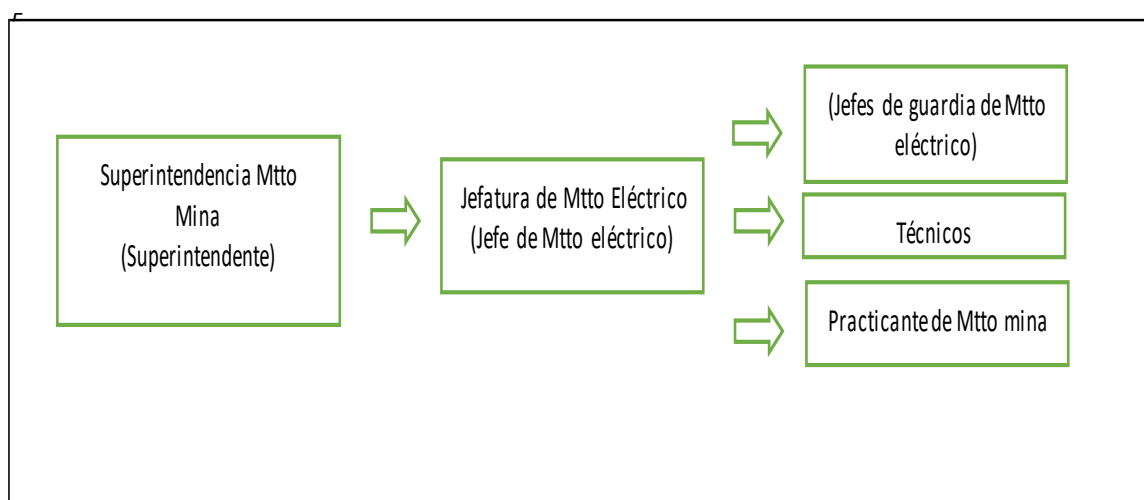
Para desarrollar el plan de mantenimiento, se requiere un programa de ejecución de actividades que permita seguir un cronograma estricto según los tiempos establecidos. Este

programa puede modificarse durante el desarrollo de la propuesta del plan de mantenimiento, ya que las labores en la mina cambian constantemente y dependerá del personal necesario para todo el análisis, desarrollo y mejora continua del plan de mantenimiento.

4.1. Organigrama de la Unidad de mantenimiento

Selección de equipo experto que se ocupará de recolectar, analizar y procesar los datos.

Figura 27
Organización administrativa



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Análisis y descripción del contexto operacional

El tablero eléctrico se divide en dispositivos para el análisis de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Estos son los que mayormente presentan fallas:

- Interruptor Termomagnético
- Interruptor diferencial
- Contactor
- Temporizador

- Lámparas de señalización
- Relés
- Transformador

4.2.1. Causas más frecuentes de fallas en tableros eléctricos

- a) Soltura de cables, se debe al constante movimiento del tablero.

Consecuencia: Recalentamiento de contactores, desgaste prematuro de los componentes eléctricos, reducir su vida útil y aumentar el riesgo de fallos eléctricos.

- b) Humedad presente en el ambiente dentro de la mina.

Consecuencia: Corrosión de contactos en dispositivos como contactores, relés e interruptores.

- c) Falta de mantenimiento técnico adecuado, la ausencia de un mantenimiento sistemático y regular contribuye a la degradación y deterioro de los componentes eléctricos.

Consecuencia: Cortocircuitos y fallas a tierra, debido a la corrosión y otros factores, interrumpe las operaciones y compromete la seguridad.

- d) Conexión apresurada, cuando el personal realiza conexiones de manera apresurada, sin seguir los procedimientos adecuados, aumenta el riesgo de fallos y problemas eléctricos.

Consecuencia: Riesgos para la seguridad laboral, todas estas condiciones generan situaciones peligrosas para los trabajadores, aumentando el riesgo de accidentes eléctricos y comprometiendo la seguridad en el lugar de trabajo.

4.3. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

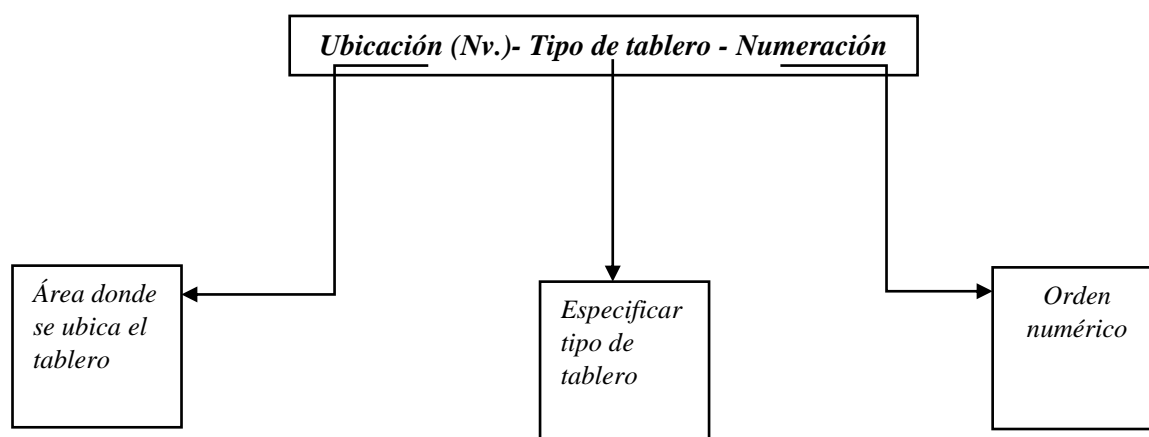
Luego de definir los dos primeros aspectos, se procede con la recolección de datos y su consiguiente sistematización e identificar las fallas específicas en los tableros:

- Codificación de equipos

La codificación de los tableros permite una sencilla identificación y un control programado para el mantenimiento. Por lo tanto, se utiliza un sistema alfanumérico. Se coloca primero la ubicación de los tableros; posteriormente, se identifica el tipo de equipo y se asigna una numeración correlacional a cada equipo.

Figura 28

Esquema de Codificación de Tableros



Fuente: Elaboración propia.

La ubicación dependerá en qué nivel de la mina está ubicado el tablero, o qué proyecto se desarrollará, por lo tanto, se deberá tener registrado el tablero antes del ingreso a mina y designar la ubicación. La especificación de tipo de tablero será designada según la función que cumple, ya sea tablero de equipo, bomba, ventilador, para no confundir y tener organizado los tableros. El orden numérico es la designación correlativa de tableros que serán ingresados a mina, llevando un control de la cantidad de tableros que son adquiridos al año.

Figura 29
Codificación de los tableros



Fuente: Elaboración propia.

- Registro de Fallas en los tableros

Se detalla en la siguiente tabla el registro de tableros que fallaron durante el mes de enero, e indicando la falla y la fecha de retiro de mina para su correcto mantenimiento. El control es realizado durante el periodo de tres meses.

Tabla 10
Control mensual de tableros-enero

MTTO ELÉCTRICO MINA		CONTROL MENSUAL DE TABLEROS			
Supervisión Mtto eléctrico:					MES: ENERO
N°	FECHA	PROCESO	CÓDIGO DE TABLERO	FALLA	TIEMPO (h)
1	1/01/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 001	Se encontró con sobrecarga	4
2	2/01/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 004	Realizar cambio de 03 fusibles de 630 A	2
3	3/01/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 009	Realizar cambio de tablero	2
4	4/01/2023	Mantenimiento	4280 - TD - 006	Realizar cambio de Softstart	3
5	5/01/2023	Mantenimiento	4235 - TD - 003	Realizar cambio de ITM, dañado por recalentamiento	2
6	6/01/2023	Mantenimiento	4235 - TD - 001	Realizar cambio de Protección diferencial	4
7	7/01/2023	Mantenimiento	4440 - TD - 004	Realizar cambio de Protección diferencial	2
8	8/01/2023	Mantenimiento	4330 - TD - 007	Realizar cambio de contactor LCD 95, bobina 220V.	2
9	10/01/2023	Mantenimiento	4235 - TD - 008	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín	8
10	13/01/2023	Mantenimiento	4200 - TD - 011	Realizar cambio de conector tetrapolar	6
11	15/01/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 001	Realizar cambio de relé, no encaja a tierra y apertura VIGI.	2
12	16/01/2023	Mantenimiento	4245 - TD - 004	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.	2
13	17/01/2023	Mantenimiento	4280 - TD - 001	Se encontró tripeado el interruptor de 250A	3
14	18/01/2023	Mantenimiento	4340 - TD - 007	Se encontró tripeado el interruptor de 250A	9
15	20/01/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 005	Realizar cambio de interruptor de 25A.	6
16	21/01/2023	Mantenimiento	4265 - TD - 009	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.	4
17	22/01/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 001	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín	6
18	24/01/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 004	Se encontró tripeado por sobrecarga	2
19	25/01/2023	Mantenimiento	4200 - TD - 007	Se encontró falla en ITM de 250A	5
20	26/01/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 001	Se encontró falla en componentes de tablero	4
21	28/01/2023	Mantenimiento	4200 - TD - 008	Realizar cambio de Protección diferencial	2
22	29/01/2023	Mantenimiento	4290 - TD - 002	Realizar cambio de Softstart, no mantiene el arrancado del motor	6
23	30/01/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 006	Realizar cambio de Softstart, no mantiene el arrancado del motor	2.5
24	31/01/2023	Mantenimiento	4245 - TD - 001	Realizar cambio de conector tetrapolar	1.5

Fuente: Elaboración propia.

Registro tomado en el mes de febrero, antes de aplicar la propuesta de plan de mantenimiento centrada en la confiabilidad.

Tabla 11
Control mensual de tableros-febrero

MTTO ELÉCTRICO MINA		CONTROL MENSUAL DE TABLEROS			
Supervisión Mto eléctrico:			MES: FEBRERO		
N°	FECHA	PROCESO	CÓDIGO DE TABLERO	FALLA	TIEMPO (h)
1	1/02/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 003	Realizar cambio de fusibles de 4A	9
2	2/02/2023	Mantenimiento	4200 - TD - 006	Recalentamiento de terminales de salida de ViGi.	6
3	4/02/2023	Mantenimiento	4265 - TD - 009	Sobrecarga	3.5
4	5/02/2023	Mantenimiento	4280 - TD - 004	Fusible aperturado	4
5	6/02/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 009	Falla de interruptor	3
6	7/02/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 001	Realizar mantenimiento por concentración de hollín	8
7	8/02/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 009	Tarjeta dañada	6
8	9/02/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 007	Componentes fallando	3
9	10/02/2023	Mantenimiento	4265 - TD - 010	Revisar se encuentra en falla.	5.5
10	11/02/2023	Mantenimiento	4220 - TD - 008	Revisar se encuentra falla.	4
11	12/02/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 004	Contactador en falla.	4
12	14/02/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 007	Se encontró tripeado por sobrecarga	5
13	15/02/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 008	Realizar cambio de VIGI	15
14	18/02/2023	Mantenimiento	4315 - TD - 001	Se encontró falla en componentes de tablero	4.5
15	19/02/2023	Mantenimiento	4225 - TD - 005	Realizar cambio de Relés 440V	9
16	20/02/2023	Mantenimiento	4130 - TD - 006	Realizar cambio de VIGI	7
17	21/02/2023	Mantenimiento	4290 - TD - 011	Falla protección diferencial	4
18	22/02/2023	Mantenimiento	4360 - TD - 004	Realizar cambio de fusibles	5
19	24/02/2023	Mantenimiento	4220 - TD - 010	Realizar cambio de ITM, dañado por recalentamiento	6.5
20	25/02/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 003	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín	5
21	27/02/2023	Mantenimiento	4200 - TD - 001	Realizar cambio de ITM superficie	8
22	28/02/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 002	Realizar cambio de ITM de 250A	3

Fuente: Elaboración propia.

Registro tomado en el mes de marzo.

Tabla 12

Control mensual de tableros – marzo

MTTO ELÉCTRICO MINA		CONTROL MENSUAL DE TABLEROS			
Supervisión Mtto eléctrico:					MES: MARZO
N°	FECHA	PROCESO	CÓDIGO DE TABLERO	FALLA	TIEMPO (h)
1	1/03/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 005	Realizar cambio de ViGi.	5
2	3/03/2023	Mantenimiento	4235 - TD - 001	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín	10
3	4/03/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 008	Realizar cambio de relé.	8
4	6/03/2023	Mantenimiento	4315 - TD - 006	Realizar cambio de Protección diferencial	6
5	7/03/2023	Mantenimiento	4275 - TD - 003	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.	4
6	8/03/2023	Mantenimiento	4235- TD - 007	Realizar cambio de relé.	8
7	10/03/2023	Mantenimiento	4330 - TD - 010	Se encontró tripeado el interruptor	11
8	11/03/2023	Mantenimiento	4500 - TD - 003	Realizar cambio de interruptor de 25A.	7
9	12/03/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 009	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.	2
10	13/03/2023	Mantenimiento	4480 - TD - 002	Realizar cambio de un fusible	8
11	14/03/2023	Mantenimiento	4290 - TD - 004	Falla en los relés	2
12	15/03/2023	Mantenimiento	4190 - TD - 004	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín	2
13	16/03/2023	Mantenimiento	4200 - TD - 007	Se encontró falla en ITM de 250A	8
14	18/03/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 009	Se encontró falla en componentes de tablero	13
15	19/03/2023	Mantenimiento	4130 - TD - 007	Realizar cambio de Protección diferencial ViGi.	9
16	20/03/2023	Mantenimiento	4280 - TD - 003	Realizar cambio de Protección diferencial	9
17	22/03/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 001	Realizar cambio de Protección diferencial	8
18	23/03/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 006	Realizar cambio de Softstart, no mantiene el arrancado del motor	10
19	26/03/2023	Mantenimiento	4245 - TD - 009	Realizar cambio de 03 fusibles de 630A	8
20	28/03/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 002	Realizar cambio de fuente	2
21	30/03/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 003	Realizar cambio de relé	4

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 12, 13 y 14 se registran las fallas de los tableros, junto con su respectiva codificación. Este control basado en los reportes enviados por el especialista técnico nos permite analizar lo siguiente: se obtiene el promedio de las fallas registradas en los meses de

enero, febrero y marzo estos resultados demuestran que no se está realizando un mantenimiento adecuado para cumplir la meta de trabajos planeados en mina.

Tabla 13
Total de fallas

TOTAL DE FALLAS EN TABLEROS			
TABLEROS	ENE	FEB	MAR
	36	27	26
HORAS PROMEDIO	4.2		
PROMEDIO	30		

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de mantenimiento para los tableros de distribución se calculó a partir del promedio de las horas registradas. En consecuencia, se determinó que el tiempo requerido para el mantenimiento de cada tablero afectado por falla de interior es de 4.2 horas. Cabe destacar que cada tablero que es retirado debido a una falla interna o agentes externos, estos se trasladan al taller de mantenimiento Nv 4700. Es importante tener en cuenta que el mantenimiento es llevado a cabo por el personal de la guardia diurna. Por lo tanto, el tiempo promedio entre fallas será el siguiente:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Numero de fallas}}$$

El tiempo total de funcionamiento será los días laborales por las horas de funcionamiento de los tableros, entonces el tiempo promedio entre fallas es:

$$MTBF = 20$$

El resultado obtenido indica que cada 20 horas de funcionamiento de los tableros se produce fallos, por lo tanto, no es un buen indicio de la confiabilidad del tablero e indica que el mantenimiento preventivo no es efectivo.

- Modos de falla: Para el análisis del modo de falla, según Lean Solutions, el cálculo del índice NPR (Número Prioritario de Riesgo) es:

$$\text{NPR} = \text{Severidad} * \text{Ocurrencia} * \text{Detección}$$

Por lo tanto, el resultado establecerá una jerarquización de las fallas en los tableros eléctricos de distribución.

Figura 30

Numero Prioritario de Riesgo (rango)

NPR = Ocurrencia * Severidad * Detección	
500 – 1000	Alto riesgo de falla
125 – 499	Riesgo de falla medio
1 – 124	Riesgo de falla bajo
0	No existe riesgo de falla

Fuente: Tomada de Lean Solutions

Grado de Severidad: a mayor valor, mayor es la severidad de la falla.

Figura 31

Grado de Severidad

Severidad ASQ (American Society for Quality)		
Clasificación	Efecto	Criterio: Severidad de Efecto Definido (proceso)
10	Crítico Peligroso: Sin Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afectan la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá SIN AVISO.
9	Crítico Peligroso: Con Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá CON AVISO.
8	Muy Alto	Interrupción mayor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea desechado. Ítem inoperable, pérdida de su función primaria. Cliente muy insatisfecho.
7	Alto	Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) desechada. Ítem operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.
6	Moderado	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) probablemente deba ser desechada (no clasificada). Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.
5	Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea retrabajado. Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia operables a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción.
4	Muy Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) retrabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.
3	Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.
2	Muy Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en la línea y en la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.
1	Ninguno	Ningún efecto.

Fuente: Tomada de Lean Solutions

Grado de Ocurrencia: a mayor valor, la falla se presenta con mayor frecuencia.

Figura 32
Grado de Ocurrencia

Ocurrencia (Probabilidad de que pase)				
ASQ (American Society for Quality)				
Clasificación	Ocurrencia	Descripción	Frecuencia	Cpk (índice de capacidad real)
10	Muy Alta	La falla del proceso es casi inevitable	1 en 2	0.33
9			1 en 3	0.51
8	Alta	Procesos similares han presentado fallas	1 en 8	0.67
7			1 en 20	
6	Moderada	Muy pocas fallas ocasionales asociadas a procesos similares	1 en 80	0.83
5			1 en 400	1.00
4			1 en 2,000	1.17
3	Baja	Pocas fallas asociadas con procesos similares	1 en 15,000	1.33
2			1 en 150,000	1.5
1	Remota	Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi idénticos.	< 1 en 1,500,000	> 1.67

Fuente: Tomada de Lean Solutions ¹

Grado de Detección: a mayor valor, la falla es más difícil de detectar.

Figura 33
Grado de Detección

Detección			
ASQ (American Society for Quality)			
Clasificación	Probabilidad de detección	Oportunidad de detección	Criterio: Probabilidad de detección por control de procesos
10	Casi Imposible	Sin oportunidad de detección	no hay controles en el proceso capaz de detectar o prevenir la causa potencial de falla
9	Muy Remota	Es probable que no se detecte en ninguna etapa del proceso	Hay una probabilidad muy remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
8	Remota	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
7	Muy Baja	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad muy Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
6	Baja	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
5	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
4	Altamente Moderada	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad muy moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
3	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
2	Muy Alta	Detección de errores y/o prevención de problemas	Hay muy alta probabilidad de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
1	Casi Seguro	Proceso a prueba de errores	Es casi seguro que el control de proceso es capaz de detectar o de prevenir la causa potencial del modo de falla

Fuente: Tomada de Lean Solutions²

Se utiliza el nivel de riesgo crítico para el análisis de las fallas, estas serán expuestas en el capítulo V, en la propuesta de plan de mantenimiento.

¹<https://leasolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>

- Diagramas: Cada componente en funcionamiento actual es meticulosamente examinado en el marco de la propuesta del plan de mantenimiento. En colaboración con el personal técnico, se planteó la sustitución de los componentes de los tableros que experimentaron fallas, evaluando alternativas con especificaciones mejoradas. Se proporcionan detalles sobre el análisis realizado y se procede a la adquisición de los nuevos componentes.

1. Módulo VIGI NSX250 0.03-10A 220-550V 3P (LV431535)

Figura 34

Módulo diferencial LV431535



Fuente: Tomada de Schneider Electric³

Esta protección diferencial se quemó constantemente en interior mina, se realizó la debida inspección y se realizó el cambio al módulo VIGI 250, 200VAC, 30mA – 30A:

³ <https://www.se.com/pe/es/product/LV429492/earthleakage-addon-protection-module-vigipact-compact-nsx-250-200vac-to-440vac-30ma-to-30a-3-poles/>

Figura 35
Módulo diferencial LV429492



Fuente: Tomada de Schneider Electric⁴

Se incorporó este módulo diferencial que tiene las siguientes características:

- Corriente nominal (I_n): 250A.
- Clase de protección contra fugas a tierra: Clase A (detectan fugas de corriente alterna con componente continua) y Clase AC (corriente continua).
- La sensibilidad ante fugas – tierra:
 - Clase A - 0.03A hasta 3A.
 - Clase AC – 10A hasta 30A.
- Temporización de protección diferencial: De 0ms hasta 4s.
- Tensión: 200 – 400V CA según norma IEC 60947-2.
- Protección frente a descargas eléctricas: Clase II (aislamiento continuo o doble).

⁴ <https://www.se.com/pe/es/product/LV429492/earthleakage-addon-protection-module-vigipact-compact-nsx-250-200vac-to-440vac-30ma-to-30a-3-poles/>

2. Interruptor NSX250H 3X250A 65kA/440V (LV431630)

El interruptor mostrado en la figura 31 (a), también en el análisis de los reportes tiende a fallar, por lo tanto, se realizó el cambio a el interruptor C25F3TM250, que se muestra en la figura 32 (b).

Se incorporó este módulo diferencial que tiene las siguientes características:

- Corriente nominal (I_n): 250A a 40°C.
- Rango de ajuste de captación de protección instantánea: 5 – 10 x I_n .
- Cortocircuito nominal – capacidad de ruptura: 8kA I_{cu} según IEC 60947-2 / 15kA en 600V CA.
- Retardo de protección prolongado - rango de ajuste: De 120 – 400s en 1,5 x I_n / 15s en 6 x I_n .
- Tensión: 690V CA.

Figura 36

(a) Interruptor LV431630



Figura 37
b) Interruptor C25F3TM250



Fuente: Tomada de Schneider Electric⁵

3. Interruptor NSX400N 3X400A (LV432693)

Este interruptor se cambió por otro interruptor de código C40N32D400 que se muestra en la figura 34 (b), como anteriormente se mencionó se eligió este ya que se tomó en cuenta que el interruptor antiguo no trabaja mucho tiempo y también por recomendaciones del proveedor.

Figura 38
(a) Interruptor LV432693



⁵ <https://www.se.com/pe/es/product/LV429492/earthleakage-addon-protection-module-vigipact-compact-nsx-250-200vac-to-440vac-30ma-to-30a-3-poles/>

Figura 39
(b) Interruptor C40N32D400



Fuente: Tomada de Schneider Electric⁶

Se incorporó este módulo diferencial que tiene las siguientes características:

- Corriente nominal (I_n): 400A a 40°C.
- Rango de ajuste de captación de protección instantánea: 1.5 – 10 x I_n .
- Cortocircuito nominal – capacidad de ruptura: 10kA I_{cu} según IEC 60947-2.
- Retardo de protección prolongado - rango de ajuste: De 400s en 1.5 x I_n / 16s en 6 x I_n / 11s en 7.2x I_r .
- Tensión: 800V CA.
- Tensión de resistencia a los choques: 8 kV.
- Potencia disipada polo: 19.2 W.
- grado de protección IP: IP40.

⁶ <https://www.se.com/pe/es/product/LV429492/earthleakage-addon-protection-module-vigipact-compact-nsx-250-200vac-to-440vac-30ma-to-30a-3-poles/>

4. Diferencial NSX400 3X400A (LV429210)

El interruptor representado en la figura 35 (a) será reemplazado por el interruptor de la figura 36 (b) debido a notables diferencias. Se incorporó este módulo diferencial que tiene las siguientes características:

- Corriente nominal (I_n): 100A – 160A.
- Clase de protección contra fugas a tierra: Clase A (detectan fugas de corriente alterna con componente continua) y Clase AC (corriente continua).
- La sensibilidad ante fugas – tierra:

Clase A - 0.03A hasta 3A.

Clase AC – 10A hasta 30A.
- Temporización de protección diferencial: De 0ms-60ms-150ms-300ms-500ms-800ms-1.2s-4s.
- Tensión: 200 – 400V CA según norma IEC 60947-2.
- Protección frente a descargas eléctricas: Clase II (aislamiento continuo o doble).

Figura 40

(a) Módulo diferencial LV429210



Se realizaron pruebas y mediciones durante el mantenimiento, un antes y después de las intervenciones, cabe mencionar que se siguieron las siguientes actividades:

1. Retiro de candado de bloqueo
2. Desenergizar tablero, colocar tarjeta de operativo/no operativo/en mantenimiento según el análisis del personal técnico.
3. Verificar presencia de energía.
4. Verificar estado de componentes.
5. Quitar el polvo del tablero superficie e internamente, ya sea con sopladora o brocha.
6. Realizar mediciones si existe continuidad.
7. Realizar cambio de componentes en falla.
8. Reajustar los tornillos de los componentes.
9. Organizar cableado con cintillo de amarre.
10. Limpiar con solvente dieléctrico los cables, borneras.
11. Realizar prueba de funcionamiento.

Para realizar el trabajo de mantenimiento el personal siempre cuenta con sus respectivos EPPs, y su mochila de herramientas:

Zapatos Dieléctricos, Casco, Guantes anticorte, Lentes de seguridad.

A continuación, se presentan fotografías que documentan los trabajos llevados a cabo durante el mantenimiento de los tableros eléctricos de distribución:

- Medición de tensión

Figura 43

(a) Tensión medida antes del mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

Figura 44

(b) Tensión medida antes del mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

Tablero retirado del Nv. 4130 Rp 7200

Figura 45

(a) Tablero en mantenimiento (antes)



Figura 46

(b) Tablero en mantenimiento (después)



Fuente: Elaboración Propia

Tablero retirado del Nv. 4165 Rp7200

Figura 47

(a) Tablero en mantenimiento sin protección diferencial (antes)



Figura 48

(b) Tablero en mantenimiento sin protección diferencial (después)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 49

Tablero en mantenimiento reemplazo de componentes



Fuente: Elaboración Propia

4.4. Recopilación de datos

Se recopilan todos los datos adquiridos para la formulación de la propuesta del plan de mantenimiento de los tableros de distribución.

Capítulo V

ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

5.1 Control mensual de tableros eléctricos de distribución

Estos resultados son después de la propuesta de plan de mantenimiento en un periodo de tres meses (agosto, septiembre y octubre) aplicando la norma SAE JA1011, estos datos son los reportes por parte del personal técnico después de realizado el trabajo. Las horas representan el periodo en el que el tablero ha estado fuera de funcionamiento

Tabla 14

Control mensual de tableros – agosto

MTTO ELÉCTRICO MINA		CONTROL MENSUAL DE TABLEROS			
Supervisión Mtto eléctrico:		MES: AGOSTO			
N°	FECHA	PROCESO	CÓDIGO DE TABLERO	FALLA	TIEMPO (h)
1	1/08/2023	Mantenimiento	4135 - TD - 010	Realizar cambio de fusibles	3.5
2	2/08/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 005	Realizar cambio de Protección diferencial	2
3	4/08/2023	Mantenimiento	4265 - TD - 008	Realizar cambio de ViGi	3
4	5/08/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 006	Sobrecarga	2
5	6/08/2023	Mantenimiento	4265 - TD - 010	Se encontró falla en ITM de 250A	2.5
6	8/08/2023	Mantenimiento	4235 - TD - 001	Realizar cambio de ViGi	2
7	11/08/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 004	Se encontró falla en ITM de 250A	1
8	12/08/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 002	Relé averiado	2
9	15/08/2023	Mantenimiento	4280 - TD - 009	Realizar cambio de ViGi	2
10	16/08/2023	Mantenimiento	4315 - TD - 011	Sobrecarga	1
11	17/08/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 012	Realizar cambio de Protección diferencial	1
12	19/08/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 008	Sobrecarga	1
13	21/08/2023	Mantenimiento	4235 - TD - 003	Realizar cambio de ViGi	3
14	22/08/2023	Mantenimiento	4340 - TD - 007	Realizar cambio de fusibles	1
15	23/08/2023	Mantenimiento	4400 - TD - 009	Realizar cambio de Protección diferencial	1
16	25/08/2023	Mantenimiento	4200 - TD - 001	Relé averiado	1.5
17	27/08/2023	Mantenimiento	4340 - TD - 009	Realizar cambio de Protección diferencial	1
18	28/08/2023	Mantenimiento	4245 - TD - 002	Relé averiado	1
19	29/08/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 003	Realizar cambio de Protección diferencial	2
20	30/08/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 001	Se encontró falla en ITM de 250A	1
21	31/08/2023	Mantenimiento	4275 - TD - 002	Relé averiado	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15
Control mensual de tableros – septiembre

MTTO ELÉCTRICO MINA		CONTROL MENSUAL DE TABLEROS			
Supervisión Mtto eléctrico:			MES: SEPTIEMBRE		
Nº	FECHA	PROCESO	CÓDIGO DE TABLERO	FALLA	TIEMPO (h)
1	1/09/2023	Mantenimiento	4480 - TD - 001	Realizar cambio de fusibles	4
2	2/09/2023	Mantenimiento	4225 - TD - 009	Realizar cambio de Protección diferencial	2
3	4/09/2023	Mantenimiento	4130 - TD - 003	Realizar cambio de ViGi	3
4	5/09/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 006	Sobrecarga	2
5	7/09/2023	Mantenimiento	4365 - TD - 001	Realizar cambio de componentes	2.5
6	9/09/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 003	Realizar cambio de ViGi	2
7	10/09/2023	Mantenimiento	4480 - TD - 002	Se encontró falla en ITM de 250A	1
8	11/09/2023	Mantenimiento	4440 - TD - 005	Realizar cambio de fusibles	2
9	13/09/2023	Mantenimiento	4460 - TD - 001	Realizar cambio de ViGi	2
10	14/09/2023	Mantenimiento	4220 - TD - 003	Sobrecarga	1
11	15/09/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 004	Realizar cambio de Protección diferencial	1
12	16/09/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 006	Sobrecarga	1
13	18/09/2023	Mantenimiento	4290 - TD - 005	Realizar cambio de ViGi	3
14	21/09/2023	Mantenimiento	4190 - TD - 007	Realizar cambio de componentes	1
15	23/09/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 005	Sin diferenciales	1
16	24/09/2023	Mantenimiento	4420 - TD - 001	Realizar cambio de componentes	2
17	25/09/2023	Mantenimiento	4360 - TD - 001	Realizar cambio de Protección diferencial	1
18	26/09/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 002	Realizar cambio de componentes	1
19	27/09/2023	Mantenimiento	4225 - TD - 007	Realizar cambio de Protección diferencial	1
20	28/09/2023	Mantenimiento	4315 - TD - 001	Sin diferenciales	1.5
21	29/09/2023	Mantenimiento	4265 - TD - 002	Realizar cambio de Protección diferencial	1.5
22	30/09/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 007	Sobrecarga	2

Fuente: Elaboración propia.

La norma SAE JA1011, establece que para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los pasos indicados en el capítulo II, al aplicarla se obtiene los resultados

Tabla 16
Control mensual de tableros – octubre

MTTO ELÉCTRICO MINA		CONTROL MENSUAL DE TABLEROS				
Supervisión Mtto eléctrico:		MES: OCTUBRE				
N°	FECHA	PROCESO	CÓDIGO DE TABLERO	FALLA	TIEMPO (h)	
1	1/10/2023	Mantenimiento	4135 - TD - 010	Realizar cambio de ViGi.	1	
2	2/10/2023	Mantenimiento	4300 - TD - 005	Mantenimiento del tablero	2	
3	4/10/2023	Mantenimiento	4265 - TD - 008	Realizar cambio de diferencial	1	
4	5/10/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 006	Realizar cambio, falla por sobrecarga.	2	
5	6/10/2023	Mantenimiento	4265 - TD - 010	Realizar cambio de relé.	2	
6	7/10/2023	Mantenimiento	4235 - TD - 001	Realizar cambio de ITM de 250A	2	
7	8/10/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 004	Realizar cambio de interruptor de 25A.	1	
8	9/10/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 002	Falla por sobrecarga.	2	
9	12/10/2023	Mantenimiento	4280 - TD - 009	Cambio de componentes en el tablero	2	
10	13/10/2023	Mantenimiento	4315 - TD - 011	Se encontró falla en ITM de 250A	1	
11	14/10/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 012	Se encontró falla en componentes de tablero	1	
12	16/10/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 008	Realizar cambio de ITM 400A	1	
13	17/10/2023	Mantenimiento	4235 - TD - 003	Realizar cambio de Protección diferencial	3	
14	18/10/2023	Mantenimiento	4340 - TD - 007	Realizar cambio de ITM	1	
15	19/10/2023	Mantenimiento	4345 - TD - 010	Sobrecarga	1	
16	21/10/2023	Mantenimiento	4250 - TD - 008	Sobretensión	1	
17	23/10/2023	Mantenimiento	4401 - TD - 009	Realizar cambio de ITM	2	
18	24/10/2023	Mantenimiento	4180 - TD - 010	Sobretensión	1	
19	25/10/2023	Mantenimiento	4130 - TD - 004	Realizar cambio de ITM	1	
20	26/10/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 008	Realizar cambio de componentes	1	
21	27/10/2023	Mantenimiento	4560 - TD - 001	Realizar de relé para jumbo	2	
22	30/11/2023	Mantenimiento	4150 - TD - 001	Realizar cambio de ViGi	3	

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 19, 20 y 21, se registra las fallas de los tableros, con su respectiva codificación.

Este control según los reportes enviados por la parte técnica nos permite analizar los siguientes resultados en los tres meses (agosto, septiembre, octubre). La norma SAE JA1011, establece que para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los pasos indicados en el capítulo II, al aplicarla se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 17
Total de fallas (agosto, septiembre, octubre)

TOTAL DE FALLAS EN TABLEROS			
TABLEROS	AGO	SEP	OCT
	21	22	22
HORAS		1.7	
PROMEDIO		22	

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo promedio de las horas de los tableros 19, 20 y 21 revela que el tiempo requerido para realizar un mantenimiento apropiado en los tableros de distribución es de 1.7 horas. Este resultado exhibe una reducción respecto al tiempo previo a la implementación del plan de mantenimiento propuesto. Es importante señalar que dicho mantenimiento es llevado a cabo por la guardia de día. En consecuencia, el tiempo promedio entre fallas será el siguiente:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Numero de fallas}}$$

El tiempo total de funcionamiento será los días laborales por las horas de funcionamiento de los tableros, entonces el tiempo promedio entre fallas es:

$$MTBF = \frac{30 \times 20}{22} = 27.27 \approx 27$$

El análisis revela que se experimenta un fallo en los tableros cada 27 horas de funcionamiento. Esta cifra se compara con los resultados previos correspondientes a los meses de enero, febrero y marzo, donde se registraba un fallo cada 20 horas. En la actualidad, la frecuencia de fallos ha aumentado a una incidencia cada 27 horas.

5.2 Resultados de confiabilidad y disponibilidad (agosto, septiembre y octubre)

Los resultados de confiabilidad y disponibilidad nos demuestran la mejoría en el mantenimiento de los tableros eléctricos, a diferencia de los primeros meses.

Tabla 18

Registro de Confiabilidad y Disponibilidad – agosto 2023

REGISTRO DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD							
DATOS:				FECHA:			
FABRICANTE				CORRIENTE			
NOMBRE				VOLTAJE			
SERIE				NUM. FASES			
UBICACIÓN				FRECUENCIA			
Confiabilidad= $MTBF/(MTBF+MTTR)$ MTBF= (Horas funcionamiento*días por semana) /Número de Fallas MTTR= Sumatoria del tiempo/Número de fallas				Disponibilidad= $MUT/(MUT+MTTR)$ MUT= (Horas disponibles*Días por semana) /Número de fallas			
CONTROL							
AGOSTO							
Fecha	N° de Fallas	Horas	MTBF	MTTR	Confiabilidad	MUT	Disponibilidad
1/08/2023	1	3.5					
2/08/2023	1	2					
3/08/2023	-	-					
4/08/2023	1	3	28	2.60	91.50	11.20	81.16
5/08/2023	1	2					
6/08/2023	1	2.5					
7/08/2023	-	-					
8/08/2023	1	2					
9/08/2023	-	-					
10/08/2023	-	-					
11/08/2023	1	1	47	1.67	96.55	18.67	91.80
12/08/2023	1	2					
13/08/2023	-	-					
14/08/2023	-	-					
15/08/2023	1	2					
16/08/2023	1	1					
17/08/2023	1	1					
18/08/2023	-	-	28	1.6	94.59	11.2	87.50
19/08/2023	1	1					
20/08/2023	-	-					
21/08/2023	1	3					
22/08/2023	1	1					
23/08/2023	1	1					
24/08/2023	-	-					
25/08/2023	1	1.5	35	1.125	96.89	14	92.56
26/08/2023	-	-					
27/08/2023	1	1					
28/08/2023							
29/08/2023							
30/08/2023							
31/08/2023							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19
Registro de Confiabilidad y Disponibilidad - septiembre

REGISTRO DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD							
DATOS:				FECHA:			
FABRICANTE				CORRIENTE			
NOMBRE				VOLTAJE			
SERIE				NUM. FASES			
UBICACIÓN				FRECUENCIA			
Confiabilidad= $MTBF/(MTBF+MTTR)$ MTBF= (Horas funcionamiento*días por semana) /Número de Fallas MTTR= Sumatoria del tiempo/Número de fallas				Disponibilidad= $MUT/(MUT+MTTR)$ MUT= (Horas disponibles*Días por semana) /Número de fallas			
CONTROL							
SEPTIEMBRE							
Fecha	N° de Fallas	Horas	MTBF	MTRR	Confiabilidad	MUT	Disponibilidad
1/09/2023	1	4	28	2.70	91.21	11.20	80.58
2/09/2023	1	2					
3/09/2023	-	-					
4/09/2023	1	3					
5/09/2023	1	2					
6/09/2023	-	-					
7/09/2023	1	2.5					
8/09/2023	-	-	28	1.6	94.59	11.20	87.50
9/09/2023	1	2					
10/09/2023	1	1					
11/09/2023	1	2					
12/09/2023	-	-					
13/09/2023	1	2					
14/09/2023	1	1					
15/09/2023	1	1	35	1.5	95.89	14	90.32
16/09/2023	1	1					
17/09/2023	-	-					
18/09/2023	1	3					
19/09/2023	-	-					
20/09/2023	-	-					
21/09/2023	1	1					
22/09/2023	-	-	28	1.2	95.89	11.2	90.32
23/09/2023	1	1					
24/09/2023	1	2					
25/09/2023	1	1					
26/09/2023	1	1					
27/09/2023	1	1					
28/09/2023							
29/09/2023							
30/09/2023							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20*Registro de Confiabilidad y Disponibilidad – octubre 2023*

REGISTRO DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD							
DATOS:				FECHA:			
FABRICANTE				CORRIENTE			
NOMBRE				VOLTAJE			
SERIE				NUM. FASES			
UBICACIÓN				FRECUENCIA			
Confiabilidad= $MTBF/(MTBF+MTTR)$ MTBF= (Horas funcionamiento*días por semana) /Número de Fallas MTTR= Sumatoria del tiempo/Número de fallas				Disponibilidad= $MUT/(MUT+MTTR)$ MUT= (Horas disponibles*Días por semana) /Número de fallas			
CONTROL							
OCTUBRE							
Fecha	N° de Fallas	Horas	MTBF	MTTR	Confiabilidad	MUT	Disponibilidad
1/10/2023	1	1	23	1.67	93.33	9.33	84.85
2/10/2023	1	2					
3/10/2023	-	-					
4/10/2023	1	1					
5/10/2023	1	2					
6/10/2023	1	2					
7/10/2023	1	2					
8/10/2023	1	1	28	1.4	95.24	11.20	88.89
9/10/2023	1	2					
10/10/2023	-	-					
11/10/2023	-	-					
12/10/2023	1	2					
13/10/2023	1	1					
14/10/2023	1	1					
15/10/2023	-	-	28	1.4	95.24	11.2	88.89
16/10/2023	1	1					
17/10/2023	1	3					
18/10/2023	1	1					
19/10/2023	1	1					
20/10/2023	-	-					
21/10/2023	1	1					
22/10/2023	-	-	28	1.4	95.24	11.2	88.89
23/10/2023	1	2					
24/10/2023	1	1					
25/10/2023	1	1					
26/10/2023	1	1					
27/10/2023	1	2					
28/10/2023							
29/10/2023							
30/10/2023							
31/10/2023							

Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el promedio de los resultados de confiabilidad y disponibilidad correspondientes a los meses de agosto, septiembre y octubre:

Tabla 21

Registro promedio mensual (agosto/septiembre/octubre)

MES	CONFIABILIDAD	DISPONIBILIDAD
AGOSTO	91.50%	81.16%
	96.55%	91.80%
	94.59%	87.50%
	96.89%	92.56%
SEPTIEMBRE	91.21%	80.58%
	94.59%	87.50%
	95.89%	90.32%
	95.89%	90.32%
OCTUBRE	93.33%	84.85%
	95.24%	88.89%
	95.24%	88.89%
	95.24%	88.89%

Fuente: Elaboración propia.

Basándonos en los informes previos sobre la confiabilidad y disponibilidad de los meses de agosto, septiembre y octubre, se han obtenido los siguientes resultados:

El promedio de disponibilidad revela que los tableros alcanzaron un 87.77% de disponibilidad durante el tiempo total de funcionamiento. Esto indica una mejora en la capacidad operativa en comparación con los meses de enero, febrero y marzo.

En cuanto al promedio de confiabilidad, se registró un porcentaje del 94.68%, señalando una mejor capacidad de los tableros para desempeñar sus funciones. Este resultado sugiere que las mejoras en el mantenimiento han contribuido a una mayor confiabilidad en su operación.

5.3 Análisis de resultados comparativos de la propuesta de plan de mantenimiento

- Los resultados obtenidos durante los primeros meses revelan cifras más bajas en cuanto a confiabilidad y disponibilidad. Estos resultados preceden a la implementación del plan de mantenimiento propuesto. Sin embargo, se observa un incremento en la confiabilidad y disponibilidad de los tableros eléctricos de distribución posterior a la aplicación de dicho plan.

Tabla 22

Cuadro comparativo confiabilidad y disponibilidad

	MES	
	Enero/Febrero/Marzo	Agosto/Septiembre/Octubre
<i>Confiabilidad</i>	83.28%	94.68%
<i>Disponibilidad</i>	66.89%	87.77%

Fuente:

Elaboración propia.

- Adicionalmente, se llevó a cabo el cálculo del tiempo promedio entre fallas. Antes de la implementación del plan de mantenimiento, este indicador se situaba en 20 horas. Tras la aplicación del plan, el tiempo promedio entre fallas experimentó un cambio positivo, aumentando a 27 horas. Este resultado implica que se registra una falla cada 27 horas, indicando una mayor confiabilidad en los tableros eléctricos de distribución. Este incremento en la confiabilidad garantiza la calidad del servicio eléctrico proporcionado por los tableros a los equipos conectados para actividades en la mina.

- Para realizar la verificación de nuestros resultados, ingresamos nuestra información a la base de datos del área de planeamiento, obteniendo los mismos resultados en nuestro desarrollo de la tesis, como se muestra a continuación.

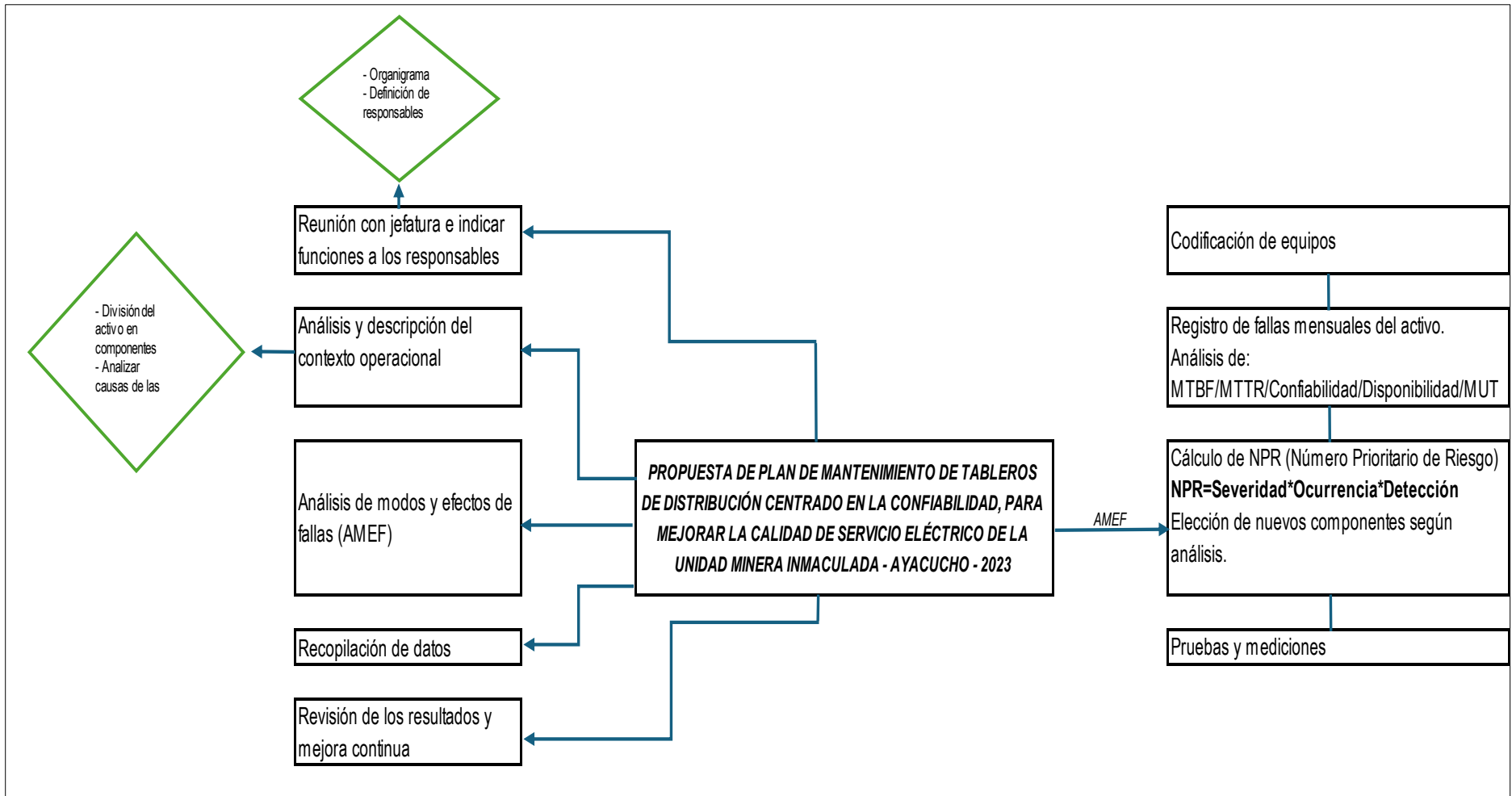
Figura 50
Resultados en base de datos planeamiento

FECHA	FALLA	Ubicación	Año	Mes	Nº DE FALLA	Hr. Parada	MTBF	MTTR	Confiable	MUT	Disponibilidad	Observación
1/08/2023	Realizar cambio de fusibles	Nv 4135 - falla en Tablero arrancador	2023	Agosto	1.00	3.50	28.00	2.60	91.5	11.2	81.2	
2/08/2023	Realizar cambio de Protección diferencial	Nv 4300 - falla en Tablero Iluminación	2023	Agosto	1.00	2.00						
4/08/2023	Realizar cambio de ViGI	Nv 4265 V116 - falla en Tablero Equipo	2023	Agosto	1.00	3.00						
5/08/2023	Sobrecarga	Nv 4180 - falla en Tablero ventilador	2023	Agosto	1.00	2.00						
6/08/2023	Se encontró falla en ITM de 250A	Nv 4265 - falla en Tablero equipo	2023	Agosto	1.00	2.50						
8/08/2023	Realizar cambio de ViGI	Nv 4235 - falla en Tablero de distribución	2023	Agosto	1.00	2.00	46.67	1.67	96.6	18.7	91.8	
11/08/2023	Se encontró falla en ITM de 250A	Nv 4150 - falla en Tablero de ventilador	2023	Agosto	1.00	1.00						
12/08/2023	Relé averiado	Nv 4150 Millet - falla en Tablero de distribución	2023	Agosto	1.00	2.00						
15/08/2023	Realizar cambio de ViGI	Nv 4280 - falla en Tablero de ventilador	2023	Agosto	1.00	2.00	28.00	1.60	94.6	11.2	87.5	
16/08/2023	Sobrecarga	Nv 4315 - falla en Tablero de bomba	2023	Agosto	1.00	1.00						
17/08/2023	Realizar cambio de Protección diferencial	Nv 4345 - falla en Tablero de ventilador	2023	Agosto	1.00	1.00						
19/08/2023	Sobrecarga	Nv 4345 - falla en Tablero de equipo	2023	Agosto	1.00	1.00						
21/08/2023	Realizar cambio de ViGI	Nv 4130 - falla en Tablero de bomba	2023	Agosto	1.00	3.00						
22/08/2023	Realizar cambio de fusibles	Nv 4340 - falla en Tablero arrancador ventilador	2023	Agosto	1.00	1.00	35.00	1.13	96.9	14.0	92.6	
23/08/2023	Realizar cambio de Protección diferencial	Nv 4400 norte y sur - falla en Tablero de distribución	2023	Agosto	1.00	1.00						
25/08/2023	Relé averiado	Nv 4200 - falla en Tablero de iluminación	2023	Agosto	1.00	1.50						
27/08/2023	Realizar cambio de Protección diferencial	Nv 4340 - falla en Tablero de ventilador	2023	Agosto	1.00	1.00						
1/09/2023	Ventilador 32 / RB 21A RP(+) N4300	Nv 4450 - falla en Tablero de distribución	2023	Septiembre	1.00	4.00	28.00	2.70	91.2	11.2	80.6	
2/09/2023	Ventilador 33 / RB 21A _ CX 7186 SE - NV 4300	Nv 4225 - falla en Tablero Iluminación	2023	Septiembre	1.00	2.00						
4/09/2023	Ventilador 35 / N4280 RB24	Nv 4130 V116 - falla en Tablero ventilador	2023	Septiembre	1.00	3.00						
5/09/2023	Ventilador 36 / CX 7186 SE _ ANT REFUGIO	Nv 4250 - falla en Tablero Variador de velocidad	2023	Septiembre	1.00	2.00						
7/09/2023	Ventilador 38/ N4250 RC 17	Nv 4365 Juliana - falla de equipo	2023	Septiembre	1.00	2.00						
9/09/2023	Ventilador 40	Nv 4150 - falla en Tablero arrancador de ventilador de 80 kCFM	2023	Septiembre	1.00	2.00	28.00	1.60	94.6	11.2	87.5	
10/09/2023	Ventilador 41/ N480 CH7000	Nv 4480 - falla en Tablero arrancador de ventilador	2023	Septiembre	1.00	1.00						
11/09/2023	Ventilador 42/ N4280 CH7000	Nv 4440 - falla en Tablero bomba	2023	Septiembre	1.00	2.00						
13/09/2023	Ventilador 44 / N4250 VE 14 Thalia	Nv 4460 - falla en Tablero de distribución	2023	Septiembre	1.00	2.00						
14/09/2023	Ventilador 45 / VE - 18 - NV 4265	Nv 4345 Rc14 - falla en Tablero arrancador	2023	Septiembre	1.00	1.00						
15/09/2023	Ventilador 46	Nv 4220 V117 - falla en Tablero de equipo	2023	Septiembre	1.00	1.00	35.00	1.50	95.9	14.0	90.3	
16/09/2023	Ventilador 47 / RB 21A - N4265	Nv 4250 - falla en Tablero de arrancador	2023	Septiembre	1.00	1.00						
18/09/2023	Ventilador 49/ N4500 v11 RP4480	Nv 4345 - falla en Tablero arrancador de ventilador	2023	Septiembre	1.00	3.00						
21/09/2023	Ventilador 52 /N4300 crucero 7077	Nv 4290 - falla en Tablero de bomba	2023	Septiembre	1.00	1.00						
23/09/2023	Ventilador 54	Nv 4190 norte - falla en Tablero de ventilador	2023	Septiembre	1.00	1.00	28.00	1.20	95.9	11.2	90.3	
24/09/2023	Ventilador 55 / RB12 N4250	Nv 4180 - falla en Tablero de distribución	2023	Septiembre	1.00	2.00						
25/09/2023	Ventilador 56 / CH Barbara - NV 4250	Nv 4420 - falla en Tablero de iluminación	2023	Septiembre	1.00	1.00						
26/09/2023	Ventilador 57 / CH 7000 - NV 4400	Nv 4360 - falla en Tablero de equipo	2023	Septiembre	1.00	1.00						
27/09/2023	Ventilador 58/ NV 4250 CH7000	Nv 4180 - falla en Tablero de bomba	2023	Septiembre	1.00	1.00						
1/10/2023	Realizar cambio de ViGI.	Nv 4300 V16 - falla en Tablero equipo	2023	Octubre	1.00	1.00	23.33	1.67	93.3	9.3	84.8	
2/10/2023	Mantenimiento del tablero	Nv 4235 Rp 6878 - Tablero de Bomba 140 HP	2023	Octubre	1.00	2.00						
4/10/2023	Realizar cambio de diferencial	Nv 4345 Bypass 4390 - falla en Tablero de ventilador	2023	Octubre	1.00	1.00						
5/10/2023	Realizar cambio, falla por sobrecarga.	Rp 6415 - falla en Tablero ventilador	2023	Octubre	1.00	2.00						
6/10/2023	Realizar cambio de relé.	Nv 4200 Norte - falla en Tablero ventilador	2023	Octubre	1.00	2.00						
7/10/2023	Realizar cambio de ITM de 250A	Nv 4265 V115 Bypass 6764 - falla de equipo	2023	Octubre	1.00	2.00						
8/10/2023	Realizar cambio de interruptor de 25A.	Nv 4560 - falla en Tablero arrancador de 30kCFM	2023	Octubre	1.00	1.00	28.00	1.40	95.2	11.2	88.9	
9/10/2023	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.	Nv 4180 - falla en Tablero arrancador de ventilador de 30 kCFM	2023	Octubre	1.00	2.00						
12/10/2023	Cambio de componentes en el tablero	Nv 4200 RC30 - falla en Tablero ventilador de 60kCFM	2023	Octubre	1.00	2.00						
13/10/2023	Se encontró falla en ITM de 250A	Nv 4345 Tj4390 - falla en Tablero de distribución	2023	Octubre	1.00	1.00						
14/10/2023	Se encontró falla en componentes de tablero	Nv 4235 - falla en Tablero bomba 140 HP	2023	Octubre	1.00	1.00						
16/10/2023	Realizar cambio de ITM 400A	Tj 9888 - falla en Tablero de distribución	2023	Octubre	1.00	1.00	28.00	1.40	95.2	11.2	88.9	
17/10/2023	Realizar cambio de Protección diferencial	Rp 4235 RC30 Tj 9781 - falla en Tablero de ventilador 20kCFM	2023	Octubre	1.00	3.00						
18/10/2023	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín	Nv 4265 Rp 4000 - falla en Tablero arrancador de ventilador	2023	Octubre	1.00	1.00						
19/10/2023	Sobrecarga	Nv 4265 Rp 5000 - falla en Tablero arrancador de ventilador	2023	Octubre	1.00	1.00						
21/10/2023	Sobretensión	Nv 4300 - falla en Tablero de equipo	2023	Octubre	1.00	1.00						
23/10/2023	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín	Nv 4180 Tj9884 - falla en Tablero de equipo	2023	Octubre	1.00	2.00	28.00	1.40	95.2	11.2	88.9	
24/10/2023	Sobretensión	Nv 4225 Tj 9870 - falla en Tablero de equipo	2023	Octubre	1.00	1.00						
25/10/2023	Realizar cambio de ITM	Nv 4300 V116 - falla en Tablero de bomba	2023	Octubre	1.00	1.00						
26/10/2023	Realizar cambio de componentes	Nv 4345 Rc14 - VDF 150HP	2023	Octubre	1.00	1.00						
27/10/2023	Realizar de relé para jumbo	Nv 4300 V116 Tj 2432 - falla en Tablero de equipo	2023	Octubre	1.00	2.00						

Fuente: Base de datos Planeamiento (KPIs)

Figura 51

Diagrama de flujo sobre propuesta de plan de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

5.4 Verificación de hipótesis

Tabla 23

Verificación de Hipótesis general y específicas

	HIPÓTESIS	COMPROBACIÓN
G	La implementación de la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad mejorará la calidad de servicio eléctrico de en la Unidad Minera Inmaculada Ayacucho – 2023, garantizando la continuidad de la producción minera.	Con la propuesta de plan de mantenimiento de tableros de distribución determinadas para el año 2023, han sido beneficiosas, se ve reflejada en la aminoración de las fallas de los tableros. Con una confiabilidad de 94.68% y una disponibilidad de 87.77%.
E1	El diagnóstico de la operación actual y del plan de mantenimiento de los tableros eléctricos de distribución de la Unidad Minera Inmaculada Ayacucho – 2023, permitirá proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para superar las deficiencias técnicas y de producción minera.	En el Capítulo III, se indica el análisis realizado en la Unidad Minera Inmaculada, con su respectivo diagnóstico, de fallas, confiabilidad, disponibilidad, y si la calidad de servicio eléctrico es continua. Con una confiabilidad de 83.28%, y disponibilidad de 66.89%,
E2	La recopilación de la información del activo, como insumo contribuirá a la elaboración de la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad del servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho - 2023.	En el Capítulo IV, se realiza la recopilación de la información adaptándola a la metodología RCM, que es el mantenimiento centrado en la confiabilidad, esta propuesta seguirá los pasos de la metodología para llegar a los resultados beneficiosos a la mina.
E3	La taxonomía (clasificación sistemática de los equipos), contribuirá a la elaboración de la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho – 2023.	En el Capítulo IV, también se registra la taxonomía de los tableros eléctricos, detallando cada uno las fallas que sufren cada uno de ellos. Estos son clasificados según las funciones y las tensiones en las que trabajan.
E4	El análisis del contexto operativo como insumo, contribuirá a la elaboración de la propuesta del plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad, para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho – 2023.	En el Capítulo V, se verifica los resultados obtenidos, al aplicar la propuesta de plan de mantenimiento a los tableros de distribución y seguir con la mejora continua, para evitar atrasos o incumplimientos de metas.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La propuesta de un plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad para la Unidad Minera Inmaculada en Ayacucho representa una estrategia clave para mejorar la calidad del servicio eléctrico de los tableros en sus operaciones. Al enfocarse en la confiabilidad, se busca minimizar fallas, optimizar la eficiencia operativa y garantizar la continuidad del suministro eléctrico de los tableros eléctricos, lo que resulta esencial para una actividad minera de alta demanda energética. Este enfoque no solo contribuye a la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico, sino que también puede reducir costos asociados con interrupciones y mantenimientos correctivos, fortaleciendo así la competitividad y sostenibilidad de la operación minera en el largo plazo.
2. El diagnóstico de la operación actual de los tableros eléctricos de distribución en la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho es fundamental para identificar áreas de mejora y optimizar el rendimiento del sistema eléctrico. Este análisis permite evaluar la eficiencia del mantenimiento implementado, así como detectar posibles deficiencias o fallas recurrentes que puedan comprometer la confiabilidad del servicio eléctrico de los tableros. A partir de este diagnóstico, es posible proponer el plan de mantenimiento, alineándolo con las necesidades operativas de la mina y garantizando un suministro eléctrico más confiable, seguro y eficiente para sus operaciones.
3. Se comprobó que la recopilación de información sobre los activos es fundamental para el desarrollo de un plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad en la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho. A través de un análisis

exhaustivo de los datos, se logra identificar las condiciones actuales de los equipos, las áreas de mejora y las estrategias más efectivas para optimizar su rendimiento. Esto no solo permitirá garantizar un suministro eléctrico más confiable y seguro, sino que también contribuirá a la eficiencia operativa y a la reducción de costos asociados a fallas y paradas inesperadas.

4. Se comprobó que el análisis de la taxonomía de los componentes del tablero de distribución es un paso esencial para la elaboración de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho. Al clasificar de manera precisa los diferentes elementos que componen los tableros, se pueden identificar con mayor claridad las necesidades de mantenimiento de cada componente, priorizando aquellos que tienen un impacto más significativo en el desempeño y la seguridad del sistema eléctrico. Este enfoque permite implementar un mantenimiento más eficiente y dirigido, lo que resulta en una mejora continua de la calidad del servicio eléctrico, minimizando riesgos de fallas y asegurando una operación más confiable y segura en el entorno minero.
5. El análisis del contexto operativo es clave para la elaboración de un plan de mantenimiento de tableros de distribución centrado en la confiabilidad en la Unidad Minera Inmaculada-Ayacucho. Al considerar las condiciones específicas de operación, como las demandas energéticas, el entorno ambiental y los ciclos de trabajo de la mina, se puede diseñar un plan de mantenimiento que responda de manera precisa a los desafíos reales que enfrenta el sistema eléctrico. Este enfoque adaptado al contexto no solo mejora la efectividad del mantenimiento, sino que

también optimiza la confiabilidad del suministro eléctrico de los tableros, asegurando una operación más eficiente y reduciendo el riesgo de interrupciones no planificadas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para los tableros de distribución puede ser crucial. Estos sistemas pueden proporcionar alertas tempranas sobre cualquier anomalía o tendencia que pueda indicar un posible fallo en el futuro, permitiendo intervenciones rápidas y eficientes.
2. Capacitación del personal, asegurarse de que el personal encargado del mantenimiento y operación de los tableros esté adecuadamente capacitado. Esto incluye formación sobre las mejores prácticas de mantenimiento, identificación de problemas potenciales y procedimientos de respuesta ante emergencias eléctricas.
3. Establecer un programa de revisión periódica del plan de mantenimiento para evaluar su eficacia y realizar ajustes según sea necesario. Las condiciones operativas pueden cambiar con el tiempo, por lo que es vital adaptar el plan de mantenimiento para satisfacer las necesidades cambiantes y garantizar la continuidad en la calidad del servicio eléctrico de los tableros de distribución.
4. Para asegurar el correcto funcionamiento y maximizar la eficiencia del sistema eléctrico de los tableros eléctricos en la Unidad Minera Inmaculada, se recomienda llevar a cabo un diagnóstico integral de la operación actual y del plan de mantenimiento de los tableros eléctricos de distribución.
5. Implementar estas acciones de la propuesta del plan de mantenimiento permitirá no solo mejorar la confiabilidad de los tableros de distribución, sino también optimizar la disponibilidad del servicio eléctrico de los tableros eléctricos, minimizando interrupciones y garantizando un funcionamiento más seguro y eficiente en la Unidad Minera Inmaculada.

Bibliografía

- arias, I. C., & Laura Hernández Rodríguez. (2018). *DISEÑO DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) CASO DE ESTUDIO: SISTEMA ELÉCTRICO EN LOS ACTIVOS INMOBILIARIOS DE TERRANUM* [Tesis de grado, Universidad ECCI]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/2504/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arispe, C., Yangali, J., Guerrero, M., Acuña, L., & Arellano, C. (2020). *La investigación científica*. Universidad Internacional del Ecuador. <https://doi.org/https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4310/1/LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20CIENT%C3%8DFICA.pdf>
- Belli Hesse, O. (2018). *Propuesta de gestión de mantenimiento rcmen plantas de energía a gas natural*. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10757/624416>
- Cala, L., & Hernández, L. (2018). *Diseño de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) caso de estudio: sistema eléctrico en los activos inmobiliarios de terranum*. Universidad ECCI. <https://doi.org/https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/2504/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & René, T. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 51-59. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- Código Nacional de Electricidad - Suministro*. (2011).
- Código Nacional de Electricidad-Utilización*. (2006). Perú.
- Corona, J. (2018). Investigación cualitativa: fundamentos epistemológicos, teóricos y metodológicos. *Vivat Academia*, XXI(144), 69-76. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/5257/525762351005/html/>
- Fried, Harold, Knox, Schmidt, & Shelton. (2008). *The measurement of productive efficiency and productivity growth*.
- Gestion. (2023). Conoce las diferencias entre eficiencia y eficacia. <https://gestion.pe/economia/management-empleo/eficiencia-eficacia-diferencias-eficaz-eficiente-significado-conceptos-nnda-nnlt-249921-noticia/>

- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163-173. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7591592.pdf>
- López, O. C., Eslava, G. T., Velázquez, M. T., & Eslava, R. T. (2018). *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos*. *Revista Científica*. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada. *Ciencia America. Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- M, C. A., Arroyave, J. F., & M., C. E. (2007). *Caso De Aplicación De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad RCM, Previa Existencia De Mantenimiento Preventivo*. *Revista Scientia Et Technica*. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4077>
- Marchena, F. A. (2018). Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) para aumentar la productividad del área de producción de tableros de la empresa Sertes S.A.C, Lima, 2018 [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. *Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) para aumentar la productividad del área de producción de tableros de la empresa Sertes S.A.C, Lima, 2018*. Repositorio Institucional. <https://doi.org/https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22981>
- Montilla, C., Arroya, J., & Silva, C. (2007). Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad rcm, previa existencia de mantenimiento preventivo. *Scientia et Technic*, XIII(57), 273-278. <https://doi.org/https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4077/2237>
- Moubray, J. (2004; p.11). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*.
- Nicho, J. H. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para motores cummins QSK78 en la Minera Antamina [Tesis de grado, Universidad del Callao]*. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/4261>
- Pérez, C. M. (2019, p.5). *CONFIABILIDAD Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO*.
- Rondón, F. A. (2021, p.27). *Conceptos generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial*.
- Saire Chani, R., & Carrillo Beunza, P. S. (2021). *Mejora de la gestión de mantenimiento de tableros de control eléctrico y su influencia en la confiabilidad del área de servicios de una empresa minera [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/11537/28148>

- Sanclemente, J. P., & Alvarado, L. G. (2010). *Mantenimiento de Sistemas Eléctricos de Distribución [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]*. Repositorio Institucional.
- Torres, I. (12 de Abril de 2021). *Mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura ¿por qué es importante hacerlo?* Ive consultores: <https://iveconsultores.com/mantenimiento-preventivo-y-correctivo-iso-9001/>
- Troffé, M. (2013, p.2). *ANÁLISIS ISO 14224 /OREDA RELACIÓN CON RCM-FMEA*.
- Zorrilla, J. A. (2019). Propuesta de Implementación del Plan de Mantenimiento basado en criterios de RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) para una línea de transmisión de 500kV [Pregrado]. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. <https://doi.org/https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/459fcc6f-2b68-42da-a76d-8121ff5881c0/content>

ANEXOS

- Anexo N°1: Formato de Plan de mantenimiento
- Anexo N°2: Reportes de Jefatura Mantenimiento eléctrico
- Anexo N°3: Hojas de Análisis de Tableros

Anexo N°1: Formatos de Plan de Mantenimiento

MTTO ELÉCTRICO MINA		CONTROL MENSUAL DE TABLEROS			
Supervisión Mtto eléctrico:			MES:		
N°	FECHA	PROCESO	CÓDIGO DE TABLERO	FALLA	TIEMPO (h)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					

Anexo N°2: Reportes de Jefatura

Mantenimiento Eléctrico

FECHA	DESCRIPCIÓN	ESTADO
1/01/2023	Nv 4345 By 4390N Cx6385 - falla en Tablero de Equipo	Se encontró tripeado por sobrecarga
2/01/2023	Nv 4300 RB6 - falla en Tablero de electrobomba	Realizar cambio de 03 fusibles de 630A
3/01/2023	Nv4250 RC17 - falla en tablero arrancador motor 300HP	Realizar cambio de tablero
4/01/2023	RB6 - falla en softstar ABB 200 HP	Realizar cambio de Softstart
5/01/2023	Nv 4280 Vt15 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de ITM, dañado por recalentamiento
6/01/2023	Nv 4300 Vt18 y medio - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de Protección diferencial
7/01/2023	Nv 4235 Rc30 - falla en Tablero estrella – triángulo	Realizar cambio de Protección diferencial
8/01/2023	Nv 4460 Vt10 - falla en Tablero Arrancador	Realizar cambio de contactor LCD 95, bobina 220V.
10/01/2023	Nv 4345 Rc14 - falla en Tablero Arrancador - ventilador	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín
10/01/2023	Nv 4700 Taller eléctrico - falla en Tablero Equipo	Realizar cambio de conector tetrapolar
10/01/2023	Nv 4280 Rp7167 - falla en Tablero Equipo	Realizar cambio de relé, no encaja a tierra y apertura VIGI.
10/01/2023	Nv 4250 Rc17 - falla en Tablero Variador de velocidad	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.
13/01/2023	Nv 4330 Vt19 - falla en Tablero Arrancador de 60 kcfm	Se encontró tripeado el interruptor de 250A
13/01/2023	Nv 4400 Vt0 - falla en Tablero Arrancador de 60 kcfm	Se encontró tripeado el interruptor de 250A
13/01/2023	Bocamina 4500 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de interruptor de 25A.
15/01/2023	Nv 4440 Rp(+)5484 - falla en Tablero arrancador de ventilador de 40 kCFM	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.
16/01/2023	Nv 4245 Vt20 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín
16/01/2023	Nv 4345 By 4390N Cx6385 - falla en Tablero de Equipo	Se encontró tripeado por sobrecarga
17/01/2023	Nv 4345 By 4390 - falla en Tablero de distribución	Se encontró falla en ITM de 250A
18/01/2023	Tj 5100 - falla en Tablero arrancador de ventilador 30 kCFM	Se encontró falla en componentes de tablero
18/01/2023	Nv 4235 Vt21 - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de Protección diferencial
20/01/2023	Nv 4345 Vt15 By4390 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Realizar cambio de Softstart, no mantiene el arrancado del motor
20/01/2023	Nv 4200 Vt21 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Realizar cambio de Softstart, no mantiene el arrancado del motor
21/01/2023	Nv 4235 Vt16 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de conector tetrapolar
22/01/2023	Nv 4300 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
22/01/2023	Nv 4345 By4390 norte y sur - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga
22/01/2023	Tj 9076 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga
24/01/2023	Nv 4300 Vt16 - falla en Tablero de iluminación	Realizar cambio de ITM de 250A
25/01/2023	Nv 4345 Vt15 - falla en Tablero de ventilador	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
25/01/2023	Tj 9076 Tula - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga
26/01/2023	Nv 4345 RC14 - falla en Tablero de ventilador	Realizar mantenimiento por concentración de hollín
28/01/2023	Nv4265 - falla en tablero de iluminación	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
29/01/2023	Nv4265 comedor - falla en tablero de iluminación	Realizar cambio de VIGI
29/01/2023	Nv4250 RC17 - falla en tablero	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga, tarjeta interna dañada
30/01/2023	Nv4250 - falla en tablero de distribución	Fuga a tierra, apertura de ITM
31/01/2023	Nv4245 Vt19 - falla en tablero arrancador de ventilador	Realizar mantenimiento por concentración de hollín

FECHA	DESCRIPCIÓN	ESTADO
1/02/2023	Nv 4250 RC 17, Tablero arrancador extractor 180kCFM	Realizar cambio de fusibles de 4A
2/02/2023	Nv 4200 Rp 6878 - falla en Tablero Equipo	Recalentamiento de terminales de salida de ViGi.
4/02/2023	Nv 4265 Vt 15 Millet - falla en Tablero	Sobrecarga
4/02/2023	Nv 4280 - falla en ventilador VOD 41	Fusible aperturado
5/02/2023	Nv 4150 Rp 7300 - falla en Tablero de bomba	Falla de interruptor
5/02/2023	Nv 4250 Rb17 - Tablero arrancador de ventilador 200kCFM	Realizar mantenimiento por concentración de hollín
6/02/2023	Nv 4345 Rc 14 - Tablero arrancador de ventilador 80kCFM	Tarjeta dañada
7/02/2023	Nv 4345 Vt2 1/2 - Tablero de equipo	Componentes fallando
7/02/2023	Nv 4345 Vt21 A - tablero arrancador	Revisar se encuentra en falla.
8/02/2023	Nv 4360 Rp 6400 - falla en Tablero Arrancador de ventilador 30kCFM	Revisar se encuentra falla.
9/02/2023	Nv 4300 Rb06- falla en Tablero bomba	Contactador en falla.
10/02/2023	Nv 4200 Rp 7292 - falla en Tablero arrancador de ventilador de 20 kCFM	Se encontró tripeado por sobrecarga
11/02/2023	Nv 4235 RC31- falla en Tablero arrancador de 40 Kcfm	Realizar cambio de VIGI
12/02/2023	Nv 4220 Rp7878- falla en Tablero arrancador de ventilador 30 kCFM	Se encontró falla en componentes de tablero
14/02/2023	Nv 4265 Rp5000, arrancador de ventilador de 30 Kcfm	Realizar cambio de Relés 440V
15/02/2023	Nv 4200 Vt21, arrancador de 40 Kcfm	Realizar cambio de VIGI
18/02/2023	Nv 4265 Vt15 - falla en Tablero bomba 9HP	Falla protección diferencial
19/02/2023	Nv 4250 Rb12 - extractor 80kCFM	Realizar cambio de fusibles
20/02/2023	Nv 4180 Ch 7000, arrancador de ventilador de 40 Kcfm	Realizar cambio de ITM, dañado por recalentamiento
21/02/2023	Nv 4300 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
22/02/2023	Nv 4265 Vt15 Splay - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM superficie
24/02/2023	Nv 4130 - falla en Tablero de iluminación	Realizar cambio de ITM de 250A
25/02/2023	Nv 4245 Vt20 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de ITM
27/02/2023	Nv 4290 Vt16 Thalia - falla en Tablero de equipo	Realizar mantenimiento por concentración de hollín
27/02/2023	Nv 4315 Vt11 - falla en Tablero ventilador 10 Kcfm	Falla en componentes
28/02/2023	Nv 4225 7218 - falla en Tablero de equipo	Falta tetrapolar
28/02/2023	Nv 4130 - falla en Tablero de arrancador bomba 10HP	Realizar cambio de relé 12A a 15A

FECHA	DESCRIPCIÓN	ESTADO
1/03/2023	Tj 4300 - falla en Tablero equipo	Realizar cambio de ViGi.
3/03/2023	Nv 4235 - falla en Tablero Iluminación	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín
3/03/2023	Nv 4345V t16 Juliana - falla en Tablero Ventilador	Realizar cambio de relé.
4/03/2023	Nv 4315 Vt16 - falla en Tablero Equipo	Realizar cambio de Protección diferencial
6/03/2023	Nv 4275 Tj4729 - falla en Tablero Variador de velocidad	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.
6/03/2023	Nv 4235 Vt21 - falla en Tablero Iluminación	Realizar cambio de relé.
7/03/2023	Nv 4330 Vt16 Juliana - falla de equipo	Se encontró tripeado el interruptor
8/03/2023	Bocamina 4500 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de interruptor de 25A.
10/03/2023	Nv 4180 - falla en Tablero arrancador de ventilador de 30 kCFM	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.
10/03/2023	Nv 4180 RC31B - falla en Tablero arrancador de ventilador 60kCFM	Realizar cambio de un fusible
11/03/2023	Nv 4480 Vt12 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Falla en los relés
12/03/2023	Nv 4345 Millet - falla en Tablero de Equipo	Mantenimiento del tablero de ventilador por hollín
13/03/2023	Nv 4290 Vt16 Millet - falla en Tablero de distribución	Se encontró falla en ITM de 250A
14/03/2023	Nv 4345 Rc14 - falla en Tablero arrancador	Se encontró falla en componentes de tablero
15/03/2023	Nv 4190 Vt17 - falla en Tablero de ventilador	Realizar cambio de Protección diferencial ViGi.
16/03/2023	Nv 4300 - falla en Tablero de arrancador	Realizar cambio de Protección diferencial
18/03/2023	Rp 6235 - falla en Tablero de ventilador	Realizar cambio de Protección diferencial
19/03/2023	Nv 4200 Vt21 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Realizar cambio de Softstart, no mantiene el arrancado del motor
20/03/2023	Nv 4300 RB6 - falla en Tablero de electrobomba	Realizar cambio de 03 fusibles de 630A
20/03/2023	Nv 4250 Rp6878- falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de fuente
22/03/2023	Nv 4130 - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de relé
23/03/2023	Nv 4300 Rb6 - falla en Tablero arrancador	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
26/03/2023	Nv 4345 By4390 norte y sur - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga
26/03/2023	Nv 4280 Vt15 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM, dañado por sobrecarga
28/03/2023	Nv 4300 Vt16 - falla en Tablero de iluminación	Realizar cambio de ITM de 250A
30/03/2023	Nv 4130 Tj9868 - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de ITM

FECHA	DESCRIPCIÓN	ESTADO
1/08/2023	Nv 4135 - falla en Tablero arrancador	Realizar cambio de fusibles
2/08/2023	Nv 4300 - falla en Tablero Iluminación	Realizar cambio de Protección diferencial
4/08/2023	Nv 4265 Vt16 - falla en Tablero Equipo	Realizar cambio de ViGi
5/08/2023	Nv 4180 - falla en Tablero ventilador	Sobrecarga
6/08/2023	Nv 4265 - falla en Tablero equipo	Se encontró falla en ITM de 250A
8/08/2023	Nv 4235 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ViGi
11/08/2023	Nv 4150 - falla en Tablero de ventilador	Se encontró falla en ITM de 250A
12/08/2023	Nv 4150 Millet - falla en Tablero de distribución	Relé averiado
15/08/2023	Nv 4280 - falla en Tablero de ventilador	Realizar cambio de ViGi
16/08/2023	Nv 4315 - falla en Tablero de bomba	Sobrecarga
17/08/2023	Nv 4345 - falla en Tablero de ventilador	Realizar cambio de Protección diferencial
19/08/2023	Nv 4345 - falla en Tablero de equipo	Sobrecarga
21/08/2023	Nv 4130 - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de ViGi
22/08/2023	Nv 4340 - falla en Tablero arrancador ventilador	Realizar cambio de fusibles
23/08/2023	Nv 4400 norte y sur - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de Protección diferencial
25/08/2023	Nv 4200- falla en Tablero de iluminación	Relé averiado
27/08/2023	Nv 4340 - falla en Tablero de ventilador	Realizar cambio de Protección diferencial
28/08/2023	Nv 4245 - falla en Tablero de bomba	Relé averiado
29/08/2023	Nv 4300 - falla en Tablero equipo	Realizar cambio de Protección diferencial
30/08/2023	Nv 4180 - falla en Tablero de distribución	Se encontró falla en ITM de 250A
31/08/2023	Nv 4275 - falla en Tablero de bomba	Relé averiado

FECHA	DESCRIPCIÓN	ESTADO
1/09/2023	Nv 4480 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de fusibles
2/09/2023	Nv 4225 - falla en Tablero Iluminación	Realizar cambio de Protección diferencial
4/09/2023	Nv 4130 Vt16 - falla en Tablero ventilador	Realizar cambio de ViGi
5/09/2023	Nv 4250 - falla en Tablero Variador de velocidad	Sobrecarga
7/09/2023	Nv 4365 Juliana - falla de equipo	Realizar cambio de componentes
9/09/2023	Nv 4150 - falla en Tablero arrancador de ventilador de 80 kCFM	Realizar cambio de ViGi
10/09/2023	Nv 4480 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Se encontró falla en ITM de 250A
11/09/2023	Nv 4440 - falla en Tablero bomba	Realizar cambio de fusibles
13/09/2023	Nv 4460- falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ViGi
14/09/2023	Nv 4345 Rc14 - falla en Tablero arrancador	Sobrecarga
15/09/2023	Nv 4220 Vt17 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de Protección diferencial
16/09/2023	Nv 4250 - falla en Tablero de arrancador	Sobrecarga
18/09/2023	Nv 4345 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Realizar cambio de ViGi
21/09/2023	Nv 4290 - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de componentes
23/09/2023	Nv 4190 norte - falla en Tablero de ventilador	Sin diferenciales
24/09/2023	Nv 4180 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de componentes
25/09/2023	Nv 4420 - falla en Tablero de iluminación	Realizar cambio de Protección diferencial
26/09/2023	Nv 4360 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de componentes
27/09/2023	Nv 4180 - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de Protección diferencial
28/09/2023	Nv 4225 - falla en Tablero iluminación	Sin diferenciales
29/09/2023	Nv 4315 - falla en Tablero distribución	Realizar cambio de Protección diferencial
30/09/2023	Nv 4180 - falla en Tablero de equipo	Sobrecarga

FECHA	DESCRIPCIÓN	ESTADO
1/10/2023	Nv 4300 Vt9 - falla en Tablero equipo	Realizar cambio de ViGi.
2/10/2023	Nv 4235 Rp 6878 - Tablero de Bomba 140 HP	Mantenimiento del tablero
4/10/2023	Nv 4345 Bypass 4390 - falla en Tablero de ventilador	Realizar cambio de diferencial
5/10/2023	Rp 6415 - falla en Tablero ventilador	Realizar cambio, falla por sobrecarga.
6/10/2023	Nv 4200 Norte - falla en Tablero ventilador	Realizar cambio de relé.
7/10/2023	Nv 4265 Vt15 Bypass 6764 - falla de equipo	Realizar cambio de ITM de 250A
8/10/2023	Nv 4560 - falla en Tablero arrancador de 30kCFM	Realizar cambio de interruptor de 25A.
9/10/2023	Nv 4180 - falla en Tablero arrancador de ventilador de 30 kCFM	Realizar cambio por acumulación de hollín, falla por sobrecarga.
12/10/2023	Nv 4200 RC30 - falla en Tablero ventilador de 60kCFM	Cambio de componentes en el tablero
13/10/2023	Nv 4345 Tj4390 - falla en Tablero de distribución	Se encontró falla en ITM de 250A
14/10/2023	Nv 4235 - falla en Tablero bomba 140 HP	Se encontró falla en componentes de tablero
16/10/2023	Tj 9888 - falla en Tablero de distribución	Realizar cambio de ITM 400A
17/10/2023	Rp 4235 RC30 Tj 9781 - falla en Tablero de ventilador 20kCFM	Realizar cambio de Protección diferencial
18/10/2023	Nv 4265 Rp 4000 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
19/10/2023	Nv 4265 Rp 5000 - falla en Tablero arrancador de ventilador	Sobrecarga
21/10/2023	Nv 4300 - falla en Tablero de equipo	Sobretensión
23/10/2023	Nv 4180 Tj9864 - falla en Tablero de equipo	Realizar cambio de ITM, dañado por bastante hollín
24/10/2023	Nv 4225 Tj 9870 - falla en Tablero de equipo	Sobretensión
25/10/2023	Nv 4300 Vt16 - falla en Tablero de bomba	Realizar cambio de ITM
26/10/2023	Nv 4345 Rc14 - VDF 150HP	Realizar cambio de componentes
27/10/2023	Nv 4300 Vt16 Tj 2432 - falla en Tablero de equipo	Realizar de relé para jumbo
30/11/2023	Tj 5100 - falla en Tablero de iluminación	Realizar cambio de ViGi

Anexo N°3: Hojas de Análisis de Tableros

MANTTO ELECTRICO MINA	SHEET LIST TABLERO ELECTRICO DE EQUIPO	U.O CIA	INMACULADA ARES
-----------------------	--	---------	-----------------

FABRICANTE	DETEC	CORRIENTE	220 A.
NOMBRE	A LANZADOR 30AVE SOFT STARTER ABB 200HP	VOLTAJE	460 V
SERIE		NUM FASES	3~ H'
UBICACIÓN	4300 RB06	FRECUENCIA	60 Hz.
		FECHA	20.10.21.23

ITEM	DESCRIPCION	ESTADO				OBSERVACIONES
		B	M	NT	NA	
1	Tiene señalizacion de riesgo eléctrico	✓				
2	Indica el Nivel de tension de servicio	✓				
3	Indica el número de fases	✓				
4	Estado de Bastidor	✓				
5	Incluye palanca de mando exterior ON/OFF	✓				
6	Palanca de mando exterior esta prevista para instalacion de candado					
7	El gabinete Incluye aldaba u orejas para instalacion de candado			✓		Implementos
8	El tablero tiene candado Master de Bloqueo			✓		Implementos
9	El Gabinete Incluye Conector Hembra tetrapolar para Equipo				✓	
10	El interruptor termomagnético cuenta con relé diferencial hasta 20mA			✓		Estándar tipo I tm 400 A
11	El tablero cuenta con prensaestopas para ingreso salida de cables			✓		Implementos
12	Los cables de Energía indican el sentido de flujo de Corriente			✓		Implementos
13	El tablero tiene punto de puesta a tierra	✓				
14	Indique Estado de Bizagras	✓				
15	Indique Estado de puertas	✓				
16	Ajustes Seteo de Corriente Diferencial de falla a tierra			✓		Implementos
17	Ajustes Seteo de Tiempo de Disparo Relé Diferencial de falla a tierra			✓		Implementos

[Signature]
 Nombre de Inspector
 M. Hooden 4

[Signature]
 Supervisor Electricista



- * SOFT Starter 200HP ABB TRISTORES FASE "T", con tu circuito.
- * TRISTORES FASE "S" APERTURA inicio ranpa enrgia.
- * PLACAS modelo Central Componentes derivados.
- * Es estándar I tm 400 A ABB - Implementos I tm 400 SCHEMIED
- * Implementos - no auto protección diferencial a tierra.

B BUENO
 M MAL
 NT NO TIENE

MANTTO ELECTRICO MINA	SHEET LIST TABLERO ELECTRICO DE EQUIPO	U.O CIA	INMACULADA ARES
-----------------------	---	---------	-----------------

FABRICANTE	POWER ELECTRONICS	CORRIENTE	
NOMBRE	VARIADOR FRECUENCIA	VOLTAJE	460
SERIE	30021028	NUM FASES	3φ
UBICACIÓN	Nº 4560	FRECUENCIA	60Hz
		FECHA	17.10.2023

ITEM	DESCRIPCION	ESTADO				OBSERVACIONES
		B	M	NT	NA	
1	Tiene señalización de riesgo eléctrico	✓				
2	Indica el Nivel de tension de servicio	✓				
3	Indica el número de fases	✓				
4	Estado de Bastidor		✓			Risoginas / rotas
5	Incluye palanca de mando exterior ON/OFF					
6	Palanca de mando exterior esta prevista para instalacion de candado	✓				rotas
7	El gabinete Incluye aldaba u orejas para instalacion de candado	✓	✓			No cuenta
8	El tablero tiene candado Master de Bloqueo	✓				rotas
9	El Gabinete Incluye Conector Hembra tetrapolar para Equipo				✓	
10	El interruptor termomagnético cuenta con relé diferencial hasta 20mA	✓				Falta instalacion
11	El tablero cuenta con prensaestopas para ingreso salida de cables			✓		Falta instalacion
12	Los cables de Energia indican el sentido de flujo de Corriente			✓		Falta instalacion
13	El tablero tiene punto de puesta a tierra	✓				
14	Indique Estado de Bizagras		✓			rotas
15	Indique Estado de puertas		✓			rotas
16	Ajustes Seteo de Corriente Diferencial de falla a tierra			✓		Falta instalacion
17	Ajustes Seteo de Tiempo de Disparo Relé Diferencial de falla a tierra			✓		Falta instalacion

[Signature]
 Nombre de inspector



VDF = ZITRON
 Serie = 1325-02-2015
 Potencia = 315 HP - 230 kW
 Voltaje = 460
 frecuencia 60 Hz.

[Signature]
 Supervisor Electricista

B BUENO ✓
 M MAL ✓
 NT NO TIENE

- Corto circuitos TIESTORES FASE T.
- Corto circuito Diodos rectificadores Fase S.
- Tiristores abiertos fase S - T - Solido motor.
- No cuenta deaters / Eliminacion Humedad.
- Tarjetas DPC Fases S - T Componentes dañados
- Tarjetas conexion gate Drive dual Verificacion Componentes Fase R-S
- Tarjeta conexion Gate Drive dual Fase T - Componentes dañados

MANTTO ELECTRICO MINA	SHEET LIST TABLERO ELECTRICO DE EQUIPO	U.O CIA	INMACULADA ARES
-----------------------------	---	------------	--------------------

FABRICANTE		CORRIENTE	250A
NOMBRE	1300 - TE - 0013	VOLTAJE	460V
SERIE		NUM FASES	3
UBICACION	NU4280 TJ 4275 PP 6000 FECHA / /	FRECUENCIA	60Hz

ITEM	DESCRIPCION	ESTADO				OBSERVACIONES
		B	M	NT	NA	
1	Tiene señalizacion de riesgo eléctrico	/				Pedir más señaléticas
2	Indica el Nivel de tension de servicio	/				
3	Indica el número de fases	/				
4	Estado de Bastidor	/				
5	Incluye palanca de mando exterior ON/OFF	/				
6	Palanca de mando exterior esta prevista para instalacion de candado	/				
7	El gabinete Incluye aidaba u orejas para instalacion de candado	/				
8	El tablero tiene candado Master de Bloqueo	/				
9	El Gabinete Incluye Conector Hembra tetrapolar para Equipo	/				
10	El interruptor termomagnético cuenta con relé diferencial hasta 20mA	/				30 mA
11	El tablero cuenta con prensaestopas para ingreso salida de cables			/		Pedir más señaléticas
12	Los cables de Energía indican el sentido de flujo de Corriente	/				
13	El tablero tiene punto de puesta a tierra	/				
14	Indique Estado de Bizagras	/				
15	Indique Estado de puertas	/				
16	Ajustes Seteo de Corriente Diferencial de falla a tierra	/				
17	Ajustes Seteo de Tiempo de Disparo Relé Diferencial de falla a tierra	/				30 mA

Nombre de inspector

Antonio H.

Supervisor Electricista

B BUENO
M MAL
NT NO TIENE



MANTTO ELECTRICO MINA	SHEET LIST TABLERO ELECTRICO DE EQUIPO	U.O CIA	INMACULADA ARES
-----------------------	--	---------	-----------------

1300-TE-0074

FABRICANTE	Proveedor Minero	CORRIENTE	
NOMBRE	Reynaldo Vilchay Galardo	VOLTAJE	440 V
SERIE	TABLERO DE EQUIPO N° 6	NUM FASES	3 FASES LL-L2-L3
UBICACION	TABLERA 4700 superficial	FECHA	25.1.08/2022
		FRECUENCIA	

ITEM	DESCRIPCION	ESTADO				OBSERVACIONES
		B	M	NT	NA	
1	Tiene señalización de riesgo eléctrico	/				
2	Indica el Nivel de tension de servicio	/				
3	Indica el número de fases	/				
4	Estado de Bastidor	/				
5	Incluye palanca de mando exterior ON/OFF	/				
6	Palanca de mando exterior esta prevista para instalacion de candado	/				
7	El gabinete Incluye aldaba u orejas para instalacion de candado	/				
8	El tablero tiene candado Master de Bloqueo	/				
9	El Gabinete Incluye Conector Hembra tetrapolar para Equipo	/				
10	El interruptor termomagnético cuenta con relé diferencial hasta 20mA	/				
11	El tablero cuenta con prensaestopas para ingreso salida de cables	/				
12	Los cables de Energía indican el sentido de flujo de Corriente	/				
13	El tablero tiene punto de puesta a tierra	/				
14	Indique Estado de Bizagras	/				
15	Indique Estado de puertas	/				
16	Ajustes Seteo de Corriente Diferencial de falla a tierra	/				
17	Ajustes Seteo de Tiempo de Disparo Relé Diferencial de falla a tierra					


Nombre de Inspector


Supervisor Electricista

B BUENO ✓
M MAL
NT NO TIENE



- Se Cambia ITM de 250 As Vgi de 250.
- El vgi este Recalibrado. Se Cambia.
- Conector tetrapolar Rojedo Se Cambia.
- Se Cambia Cables de Conexión.
- Se Reubica al medio ITM.