



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO:

**IMPLEMENTACIÓN DE TABLEROS ENCENDIDO INALÁMBRICO Y
SEGURIDAD MEJORADA EN EL PROCESO DE MINAS SUBTERRÁNEAS.**

Profesor guía:

Jonathan Agüero Ferrera

Alexis Rodrigo Varas Ochandia

Carlos Santillana Álvarez

Copiapó, Chile 2024



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO:

**IMPLEMENTACIÓN DE TABLEROS ENCENDIDO INALÁMBRICO Y
SEGURIDAD MEJORADA EN EL PROCESO DE MINAS SUBTERRÁNEAS.**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero en Ejecución en Electricidad.

Profesor guía:

Jonathan Agüero Ferrera

Alexis Rodrigo Varas Ochoa

Carlos Santillana Álvarez

Copiapó, Chile 2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi pareja Elizabeth y a mi hija Leah Samantha por su apoyo incondicional.

A mi familia, gracias por estar siempre a mi lado, por sus palabras de aliento y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Su apoyo ha sido fundamental en cada paso de este camino.

A mi compañero de tesis, Alexis Varas, agradezco sinceramente la colaboración y el esfuerzo conjunto. Ha sido un placer trabajar contigo y compartir este viaje académico, enfrentando juntos los retos y celebrando los logros.

Por último, a mi profesor guía, Jonathan Agüero, gracias por su orientación y sabiduría. Su apoyo y consejos han sido cruciales para mi crecimiento académico y personal, y estoy profundamente agradecido por la confianza que ha depositado en mí.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este viaje. Su amor, apoyo y dedicación han hecho posible alcanzar mis metas y sueños. Estoy emocionado por lo que el futuro nos depara y por seguir compartiendo este camino juntos.

De:

Carlos Santillana Álvarez.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi amada esposa Gledy por apoyarme siempre, motivarme y creer siempre en mí, gracias amor te amo, a mis hijos Martin Varas y Vicente Varas, por su apoyo incondicional, mi hijo mayor Martín siempre ayudándome en temas tecnológicos y del computador que muchas veces no recordaba gracias hijo y a mi pequeño hijo Vicente por su enorme amor, risas, abrazos y alegría cada vez que lo necesitaba, gracias hijo.

A mi madre Silvia, por haberme criado y formado siempre como hombre de bien y de grandes valores, gracias mamá.

A mi padre Q.E.P.D. que siempre esperó este momento para entregar mi título.

A mis hermanos Claudia y Richard Varas, por darme siempre una palabra de aliento.

A mi suegra Sofía Araya y mi cuñado Carlos Araya, por el enorme cariño y siempre confiar en mi desde que saque a mi esposa de su familia para vivir conmigo, gracias.

A mi compañero de trabajo y de tesis Carlos Álvarez, agradezco sinceramente el apoyo y todo el trabajo en conjunto, para lograr nuestro anhelado objetivo de ser profesionales, ha sido un placer amigo, gracias.

A mi jefe y amigo Caryl Igor, agradezco su incondicional apoyo, todo el material brindado de su parte, todo el tiempo dedicado a resolver mis dudas, su empatía, sencillez y calidad humana que hace la diferencia entre sus pares, gracias.

Por último, a mi profesor guía, Jonathan Agüero, gracias por su disposición, consejos, ayudas y ser el guía en mis últimos pasos de este camino, estoy muy agradecido por la confianza depositada en mí.

A todos los mencionados, gracias por haber sido parte de mí, de mis proyectos y metas, en los momentos cruciales de esta aventura, espero tenerlos siempre conmigo.

De:

Alexis Varas Ochandía.

DEDICATORIA

A mi querida Elizabeth y a nuestra hermosa Leah Samantha,

Dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud a ustedes, que son la luz de mi vida. Elizabeth, tu apoyo incondicional y tu amor me han dado la fuerza para enfrentar cada desafío en este camino. Eres mi compañera, mi inspiración y mi refugio.

Leah Samantha, tu risa y curiosidad llenan mis días de alegría y esperanza. Eres el motivo por el que siempre busco ser mejor y alcanzar mis sueños.

Este proyecto refleja no solo mi esfuerzo, sino también el amor y la motivación que ustedes me brindan cada día. Gracias por ser mi razón de ser y por acompañarme en cada paso de esta aventura.

Con todo mi amor,
Carlos Santillana Álvarez

DEDICATORIA

A mi querida esposa y nuestros hijos.

Dedico esta tesis con mucho esfuerzo, con todo mi amor y gratitud hacia ustedes, ya que, son el pilar de mi vida, ustedes son por quien me levanto cada mañana para dar lo mejor de mí, para que ustedes no les falten nada, son la razón de mi existir, todo lo que hago es pensando en el bienestar de ustedes mis seres más amados, su amor y su apoyo me dieron las herramientas necesarias para superar este desafío, mi amada esposa Gledy, tu amor, tu apoyo y todo el incentivo que me brindaste fueron clave para mí, eres mi mujer, mi compañera de vida, hasta que dios decida lo contrario como nos dijo la jueza en nuestro matrimonio “hasta que la muerte nos separe”, te amo.

Martín hijo, tu edad es compleja (14años), entiendo la mayoría de tus cambios, sé que es complejo, ya que pasé por lo mismo, hijo te dedico esta tesis, tu papá pudo no importando la edad, nunca es tarde hijo mío, espero te motives para un próximo futuro seas mucho más que yo y me llenes de orgullo, creo en ti hijo.

Vicente hijo, te dedico esta tesis mi rey, eres nuestra alegría de la casa con tus 7 añitos, tu inocencia y ternura me motivan a cada día a más, para poder brindarte todas las herramientas necesarias mediante tu crecimiento, daría mi vida por ti hijo mío, junto a tu hermano los amo con todo mi corazón.

Esta tesis, la hice con mucho empeño y todo mi corazón, demostrando todo mi esfuerzo y amor hacia ustedes mi familia, agradecido de dios y la vida por tenerlos, los amo mucho, gracias por todo.

Con todo mi amor.

Alexis Varas Ochandía.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Planteamiento del problema.....	2
1.4 Alcances	3
1.5 Antecedentes	3
1.6 Justificación	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Distribución de la energía eléctrica.....	6
2.2 Tablero eléctrico.....	6
2.2.1 Componentes clave de un tablero eléctrico.....	7
2.2.2 Normativas	7
2.2.3 Utilización	7
2.3 Tablero eléctrico jumbo (TEJ)	8
2.3.1 Características	8
2.3.2 Aplicaciones en minería.....	8
2.3.3 Instalación y mantenimiento	8
2.4 Información técnica de componentes eléctricos	9
2.4.1 Armario compacto de acero inoxidable	9

2.4.2 Fusible ch 10x38 gg	10
2.4.3 Contactor 3 polos – 330A - 110vAC	10
2.4.4 Interruptor caja moldeada compact nsx400 regulable 400 A 3p.....	11
2.4.5 Bloque de monitoreo de aislamiento Mb conexión para 4p en interruptor 3p	11
2.4.6 Relé auxiliar - 230 vAC - 12 A	12
2.4.7 Receptor programable 2 relés 24-240V AC/DC (ZBRRRA)	12
2.4.8 Conexionado	13
2.4.10 Relé de tiempo on delay 24-240V AC/DC	14
2.4.11 Enchufe hembra/macho Wümkhaus línea 225 A	15
2.4.12 Línea de enchufes H/M Wümkhaus x20 420 A. 1.1 kV	16
2.5 Equipo de perforación boomer (jumbo) S1 y S2	17
2.5.1 Equipo boomer (jumbo) S1	17
2.5.2 Equipo boomer (jumbo) S2.....	18
2.5.3 Equipo Simba S7.....	19
2.5.4 Perforación de realce.....	19
2.5.5 Equipo Simba 1354 (ITH).....	20
2.5.6 Perforación de Banqueo	20
2.5.7 Perforación de Sublevel Stopping.....	20
2.5.8 Perforación de VCR.....	21
2.6 Pliegos técnicos y normas que aplican en el proyecto	21
2.6.1 RIC-N02-Tableros-Elctricos	21
2.6.2 RIC-N04-Conductores-y-Canalizaciones	22
2.6.3 RIC-N05-Medidas de protección contra tensiones peligrosas y descargas eléctricas.....	22
2.6.4 RIC-017-Operación y mantenimiento.....	22

2.6.5 RIC-N19-Puesta en servicio.....	22
2.6.6 Norma NFPA 70E.....	23
2.6.7 Decreto Supremo 132.....	23
CAPÍTULO III.....	24
METODOLOGÍA Y SEGURIDAD.....	24
3.1 Tej antiguo 130kW.....	24
3.2 Instalación de Tej antiguo.....	26
3.3 Tej nuevo 220kW.....	27
3.3.1 Mejoras en seguridad eléctrica.....	27
3.3.2 Detalle de mejoras punto a punto.....	28
3.4 Instalación de Tej nuevo.....	30
3.4.1 Generalidades.....	30
3.4.2 Instalación de tableros eléctricos.....	30
3.4.3 Instalación de tablero eléctrico en B.T.....	31
3.5 Método de uso de Tej nuevo.....	32
3.5.1 Proceso de capacitación de personal operador de equipos.....	32
3.5.2 Proceso de conexión y desconexión de equipos.....	33
3.6 Impacto en tiempo de operación y ciclo minero.....	34
3.7 Seguridad eléctrica del proyecto.....	36
3.7.1 Riesgos asociados en el tablero antiguo.....	36
3.7.2 Mejoras aplicadas en el nuevo tablero.....	37
CAPÍTULO IV.....	38
ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO.....	38
4.1 Costos del tablero anterior.....	38
4.2 Costos del tablero actual.....	38

4.3 Costos adicionales.....	39
4.4Análisis de costos y beneficios	39
4.4.1 Beneficios operativos	39
4.4.2 Valor del tiempo.....	40
4.4.3 Valores de tronaduras de desarrollo y producción.....	41
4.5 Comparativa de seguridad.....	43
4.5.1 Datos sobre seguridad	43
4.5.2 Costos de los accidentes.....	45
4.6 Presentación de resultados	46
4.6.1 Detalle de la inversión.....	47
CAPÍTULO V	49
RESULTADOS.....	49
5.1 Planos de mejoras realizadas mediante su confección	49
5.2 Modificación estructural o exterior	50
5.3 Modificación interior o de circuito	50
5.4 Planos de control y fuerza del tablero Tej nuevo.....	51
5.5 Comparación de datos antes y después de la modernización.....	52
5.6 Evaluación de rendimiento de los tableros nuevos	53
5.7 Análisis de eficiencia y confiabilidad.	54
5.7.1 MTBF (Mean time between failures. Tiempo medio entre fallas).....	54
5.7.2 MTTR (Mean time to repair, tiempo medio de reparacion)	54
5.7.3 Disponibilidad	55
5.8 Cálculo de indicadores de mantención.....	55
5.8.1 MTBF y MTTR TEJ antiguo	55
5.8.2 Disponibilidad TEJ antiguo.....	55

5.8.3 MTBF y MTTR TEJ nuevo	56
5.8.4 Disponibilidad.....	56
5.9 Confiabilidad.....	57
5.9.1 Confiabilidad del equipo en día, semana y mes TEJ antiguo	57
5.9.2 Confiabilidad del equipo en día, semana y mes TEJ nuevo.....	57
CAPITULO VI.....	59
CONCLUSIÓN	59
BIBLIOGRAFIA	61

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Ciclo minero actual	4
Tabla 1.2 Ciclo minero con criterio adicional malla a la frente.....	4
Tabla 3.1 Requisitos y documentación para la autorización.....	32
Tabla 3.2 Tiempo de ciclo minero actual.....	34
Tabla 3.3 Comparación de tiempo con nuevo tablero.....	35
Tabla 4.1 Mejora de la producción y desarrollos en relación a la confiabilidad.	40
Tabla 4.2 Comparativa costos de mantenimiento, eficiencia y confiabilidad.....	44
Tabla 4.3 Análisis de costos de accidentes de trabajo.	45
Tabla 4.4 Ganancias económicas y porcentuales, para el desarrollo y producción Mina Santos en periodo de 1 año.....	46
Tabla 4.5 Detalle de la inversión.....	47
Tabla 5.1 Comparativa final tablero antiguo y nuevo.....	53

INDICES DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Armario con contratapa acero inoxidable desde cero.....	9
Figura 2.2 Fusible CH 10X38 Gg.	10
Figura 2.3 Contactor 3 polos 330 A.....	10
Figura 2.4 INT CAJA MOLD NSX400.....	11
Figura 2.5 VIGI.....	11
Figura 2.6 Relé auxiliar - 230 V AC.....	12
Figura 2.7 Relé receptor programable ZBRRA.....	13
Figura 2.8 Conexión de relé receptor programable ZBRRA.....	13
Figura 2.9 Relé de asimetría.....	14
Figura 2.10 Relé de tiempo.....	15
Figura 2.11 Enchufe hembra/macho wümkhaus línea 225 A.....	16
Figura 2.12 Línea de enchufes h/m Wümkhaus x20 420 A. 1,1 kV.....	16
Figura 2.13 Equipo Jumbo S1 (01 Brazo).....	18
Figura 2.14 Equipo Jumbo S2 (02 brazos).....	18
Figura 2.15 Equipo Simba S7.....	19
Figura 2.16 Equipo Simba 1354 (ITH).....	20
Figura 3.1 Interior Tej antiguo.....	25
Figura 3.2 Exterior Tej antiguo.....	26
Figura 3.3 Interior TEJ nuevo.....	27
Figura 3.4 Exterior TEJ nuevo.....	28
Figura 3.5 Grúa Maxilift en operación.....	32

Figura 3.6 Autorización de personal operador.....	33
Figura 3.1 Límites aproximación NFPA 70E.	36
Figura 4.1 Laboratorio.	39
Figura 4.2 Perforación de frente de desarrollo o avance de túnel.....	41
Figura 4.3 Diagrama de disparo frente de desarrollo.....	41
Figura 4.4 Perforación de banqueo hacia abajo del cuerpo mineralizado.....	42
Figura 4.5 Perforación de realce hacia arriba del cuerpo mineralizado.....	43
Figura 5.1 Mejoras planteadas y realizadas mediante su confección.....	49
Figura 5.2 Plano de circuito de control de Tej.....	51
Figura 5.3 Plano de circuito de fuerza TEJ	52

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo general la modernización de los tableros eléctricos de equipos de perforación, para mejorar la eficiencia energética, la seguridad eléctrica, el desempeño operativo y productividad en minería subterránea, bajo el D.S. N°8/2019 del Ministerio de Energía.

El uso de las tecnologías emergentes tiene gran relevancia en la minería subterránea, la fiabilidad del nuevo tablero sumado a la energización oportuna del equipo de perforación impacta en el ciclo minero, subrayando la importancia del personal electricista en esta tarea.

El proyecto se realizó en seis capítulos, los cuales fueron:

- Capítulo I Introducción, este capítulo nos indicó el proceso de la minería actual, el objetivo general, los objetivos específicos, el planteamiento del problema o problemática, los alcances, los antecedentes y la justificación del proyecto.
- Capítulo II Marco teórico, se explicó la distribución eléctrica en la mina, normativas como el D.S. N°8/2019 del Ministerio de Energía, Norma NFPA70E y D.S. N°132/2004, información técnica de los componentes eléctricos, información de los equipos de perforación, entre otras definiciones.
- Capítulo III Metodología y seguridad, se describió el tablero antiguo y el nuevo, su forma de instalación, seguridad eléctrica, capacitación del personal e impacto en tiempos del ciclo minero.
- Capítulo IV Estudio económico del proyecto, se expuso todo lo correspondiente a costos del proyecto, el impacto económico que generó el cambio de tableros en el ciclo minero.
- Capítulo V Resultados, se presentaron los resultados obtenidos luego del cambio de los tableros.
- Capítulo VI Conclusiones, se concluyó que el proyecto de modernización de tableros eléctricos para equipos de perforación ha demostrado ser una inversión altamente rentable y estratégica, generando un impacto significativo en la seguridad, eficiencia y rentabilidad de las operaciones mineras.

ABSTRACT

The main objective of this project was the modernization of the electrical panels for drilling equipment, aimed at improving energy efficiency, electrical safety, operational performance, and productivity in underground mining, under D.S. N°8/2019 from the Ministry of Energy.

The use of emerging technologies is highly relevant in underground mining; the reliability of the new panel, coupled with the timely energization of the drilling equipment, impacts the mining cycle, highlighting the importance of electricians in this task.

The project was divided into six chapters, which were:

- Chapter I: Introduction, this chapter outlined the current mining process, the general objective, specific objectives, the problem statement, the scope, the background, and the justification for the project.
- Chapter II: Theoretical Framework, it explained electrical distribution in the mine, regulations such as D.S. N°8/2019 from the Ministry of Energy, NFPA 70E standard, and D.S. N°132/2004, technical information about electrical components, information about drilling equipment, among other definitions.
- Chapter III: Methodology and Safety, it described the old and new panels, their installation process, electrical safety, training of personnel, and impact on mining cycle times.
- Chapter IV: Economic Study of the Project, it covered all regarding the project costs and the economic impact generated by the switch of panels in the mining cycle.
- Chapter V: Results, it presented the results obtained after the replacement of the panels.
- Chapter VI: Conclusions, it concluded that the project for the modernization of electrical panels for drilling equipment has proven to be a highly profitable and strategic investment, generating a significant impact on safety, efficiency, and profitability of mining operations.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la minería actual el proceso de perforación y fortificación se realiza con equipos electrohidráulicos que requieren ser conectados a una fuente de energía de baja tensión. Dentro de este proceso es necesario que el equipo sea conectado y desconectado de la red eléctrica cada vez que sea requerido, aquí es clave que el electricista del turno se anticipe a este hecho ya que el ciclo minero que tiene un tiempo definido podría extenderse si no se cumplen los tiempos y por ende retrasara el subproceso de perforación y fortificación. Es por eso que este documento tiene como fin estimar el impacto de la interacción eléctrica y mostrar cual sería el efecto si esta actividad fuera ejecuta por el mismo operador de equipos. Un gran porcentaje de accidentes y de carácter fatal inclusive asociados a la electricidad tienen que ver netamente con el estado de las instalaciones y los equipos y por esto, es clave considerar una correcta evaluación de los riesgos eléctricos, por ello el proceso de autorizar a personal operador de equipos, para energizarlos, es crucial que este alineado con la pirámide de la jerarquía de método de control de riesgos , en donde esta autorización particular para el personal, corresponde a un control administrativo, el concepto de persona autorizada , corresponde a la persona calificada que la empresa ha dado autoridad y responsabilidad de ejecutar cierta actividad en particular y una persona calificada es aquella que ha demostrado habilidades y conocimientos relacionados con una tarea afín. Implica capacitación y entrenamiento para evitar peligros y los riesgos asociados. Todo este concepto enmarcado en el concepto de uso seguro y eficiente de la energía, seguro para las personas y eficiente operacionalmente, que es lo buscado en este estudio.

1.1 Objetivo general

Modernizar los tableros eléctricos de equipos de perforación para la mejora de la seguridad eléctrica y productividad en minería subterránea, bajo el D.S. N°8/2019 del Ministerio de Energía.

1.2 Objetivos específicos

- Cambio de tableros eléctricos para equipos de perforación.
- Mejorar la seguridad eléctrica, bajo el D.S. N°8/2019 del Ministerio de Energía en Chile.
- Aumento de la eficiencia y productividad en el desarrollo y producción de la mina.
- Generar un impacto económico positivo.
- Aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los tableros.

1.3 Planteamiento del problema

El anterior sistema de tableros, presentaba un gran problema en seguridad eléctrica, el electricista debía acudir a cada postura de los equipos, que requerirían del tablero para lo siguiente:

- Instalar el tablero empotrado al cerro de forma manual, entre 2 o más personas.
- Energizar de manera manual como especialista, debido al riesgo que conlleva desde un mando rotatorio conectado desde el exterior al break principal 250(A), otro al enchufe Wüinkhaus 225(A) y otro para el enchufe de 5x32(A). esto presentaba un retardo considerable en la operatividad de los equipos, ya que se dependía al 100% del electricista.

El riesgo eléctrico y el retraso en los tiempos de energización de los equipos de perforación es clave en el ciclo minero completo. Sumado a eso particularmente hoy existe otra problemática debido a una mejora del proceso de fortificación por indicaciones de la empresa mandante (Lundin Mining) se ha considerado actualizar la instalación de malla en las labores mineras llegando hasta la frente misma, lo que implica un impacto directo en los tiempos del ciclo minero, con el consiguiente aumento del tiempo del ciclo de las excavaciones.

1.4 Alcances

El presente proyecto no contará con flujo de caja, debido a la hermeticidad de la información por parte de la empresa, sólo se realizará un estudio económico con los valores de perforación y costos entregados por la empresa Geovita S.A, sumado a la información extraída del departamento eléctrico.

Al implementar este cambio de la flota de tableros para equipos de perforación, la mejora va a marcar un antes y un después en seguridad, sumado a la optimización de los tiempos para el ciclo minero, ya que los nuevos tableros cuentan con un sistema de energización a distancia, con un mando inalámbrico energizando el equipo, donde además se va a capacitar a cada operador de equipos de perforación para conectar y energizar su equipo, así el electricista de turno solo instalará el tablero, lo dejará con energía y quedará probado, haciendo entrega al operador de la botonera inalámbrica para que se pueda energizar.

Generando un impacto fundamental en el proceso minero completo que a continuación se detalla:

- Perforación y drenaje de frentes.
- Carguío de frentes.
- Ventilación.
- Extracción de marina de disparo.
- Inspección topográfica.
- Acuñaadura de las frentes.
- Proyección de shotcrete primera capa.
- Perforación para pernos de fortificación.
- Instalación de pernos lechados.
- Instalación de mallas romboidales en capa de techos y cajas.

1.5 Antecedentes

Este capítulo explica la disyuntiva que existe en un ciclo minero actual, versus ciclo minero con criterio adicional malla a la frente que a continuación de detalla.

La problemática que originó el estudio, tiene lugar Mina Subterránea Santos, perteneciente a los distritos de Candelaria, perteneciente a la Compañía minera Ojos del Salado, ubicada en la comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama.

Las faenas de Ojos del Salado iniciaron su producción comercial en 1929 bajo el nombre de Planta Punta del Cobre. En 2014, la operación pasó a formar parte de los activos de Lundin Mining. El proceso de excavaciones mineras es llevado por nuestra empresa Contratista Geovita S.A para la Empresa Mandante (Lundin Mining). Para la ejecución del presente estudio, se analizó la información que fue recopilada a través del Departamento Eléctrico y Operaciones Mina, documentación guardada en bitácora de los trabajos y procesos mineros con el fin comparar los tiempos críticos, se revisó el ciclo de minería indicado inicialmente con el cual se están ejecutando las actividades hoy día, indicado en la tabla N°1.1. Además, conforme al análisis de la planificación minera se hicieron los cambios respectivos para ajustar el nuevo ciclo de minería conforme al nuevo escenario de fortificación solicitado por el mandante, esto queda en la tabla N°1.2, contando con esta información es relevante indicar cuál es impacto que tiene la ejecución de personal eléctrico en esto.

Tabla 1.1 Ciclo minero actual

Ciclo desfase 1 disparo		
Extracción marina	1,3	Horas
Ventilación post extracción	0,5	Horas
Acuñadura	1,0	Horas
Instalación de malla	0,6	Horas
Adose de malla	0,5	Horas
Fortificación base	0,9	Horas
Perforar disparo	1,5	Horas
Cargar y quemar	1,5	Horas
Horas efectivas por turno	5,5	Horas/Turno
Turnos por ciclo	1,4	Turno

Tabla 1.2 Ciclo minero con criterio adicional malla a la frente

Ciclo malla a la frente		
Extracción marina	1,3	Horas
Ventilación post extracción	0,5	Horas
Acuñadura	1,0	Horas
Fortificación base	1,2	Horas
Instalación de malla	0,9	Horas
Adose de malla	0,8	Horas
Perforar disparo	1,5	Horas

Cargar y quemar	1,5	Horas
Horas efectivas por turno	5,5	Horas/Turno
Turnos por ciclo	1,6	Turno

Nota: La información anteriormente entregada de las tablas 1.1 y 1.2 está basada en un mismo análisis con desfase de 1 disparo en la frente y considera instalar malla hasta la frente misma. Para el análisis de la problemática se ha considerado, además estudiar que implica la calificación del personal operador de equipos para que puedan particularmente ejecutar una actividad crucial dentro del ciclo minero considerando que goza de una práctica en auge la polifuncionalidad de la mano de obra.

1.6 Justificación

El porqué de este proyecto, se toma y se lleva a cabo debido a la poca eficiencia, confiabilidad y seguridad eléctrica del tablero anterior, no se justificaba tener un equipo de presenta diversas fallas, que retrasa el ciclo minero y no da confianza al usuario, además de no cumplir con los desarrollos y producción de la mina, el actual tablero nuevo viene a mejorar todos estos aspectos y más, por eso su justificación.

En el aspecto teórico de este estudio sobre el cambio de toda la flota de tableros para equipos de perforación, se otorga la confección, diseño y método de explotación que se utilizan en este tipo de faenas mineras, por lo tanto, este cambio brindará todas las medidas de seguridad bajo el D.S. N°8/2019 del Ministerio de Energía de Chile, a su vez, rapidez al proceso minero completo, mayor operatividad de los equipos, cumplimiento de los avances según contrato y otros. Respecto del punto de vista práctico, este cambio se está aplicando, teniendo resultados positivos y esperados, tanto para el desarrollo y producción en la mina subterránea.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Este capítulo describe de la distribución eléctrica de la mina, tableros eléctricos, componentes internos de los tableros, equipos de perforación, enchufes para los equipos, normas y pliegos vigentes.

2.1 Distribución de la energía eléctrica

La distribución eléctrica de la mina comienza en una SS/EE reductora, ubicada en superficie, que recibe en alta tensión (23 kV) y entrega en media tensión (4160V) , la cual se encarga de ingresar energía a la mina a los diferentes niveles en donde exista una Subestación eléctrica unitaria (SEU), estas están distribuidas de manera que en cada nivel requerido llegue la misma tensión y misma calidad de energía, recibiendo en media tensión mediante celdas, interruptores, etc., los cuales energizan los diferentes transformadores de cada (SEU), de diversas potencias, siendo los más comunes de 500 kVA por nivel en explotación.

Una vez conectado el transformador se deriva mediante conductores de 3x240+1x120mm² hacia tableros de distribución de fuerza nivel industrial (TDF) para su uso. Estos TDF tiene como objetivo obtener la energía directamente desde la SEU para su uso, con divisiones de circuitos (hasta 3 circuitos) que alimentaran a los tableros eléctricos de jumbo (TEJ), tableros de control de ventiladores y/o bombas.

Las TEJ reciben un nivel de energía en baja tensión trifásica (400V) que entregan a través del enchufe de fuerza de tipo Wümkhaus X20 y que se energizan a través del personal eléctrico de la mina, o mediante operador autorizado de equipo de perforación, mediante botonera inalámbrica.

2.2 Tablero eléctrico

Un tablero eléctrico en Chile es un dispositivo que alberga componentes eléctricos que permiten la distribución y control de la energía eléctrica dentro de un sistema o instalación. Su función principal es proteger los circuitos eléctricos y facilitar la gestión de la electricidad, asegurando que se distribuya de manera segura y eficiente.

2.2.1 Componentes clave de un tablero eléctrico

- Interruptores Automáticos: Protegen los circuitos contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Disyuntores: Desconectan el suministro eléctrico en caso de fallas.
- Fusibles: Actúan como un dispositivo de protección, fundiéndose en caso de sobrecorriente.
- Contactores: Permiten controlar circuitos de mayor potencia de forma remota.
- Barrales de Distribución: Distribuyen la corriente a diferentes circuitos.
- Medidores de Energía: Miden el consumo eléctrico.

2.2.2 Normativas

En Chile, los tableros eléctricos deben cumplir con normativas específicas de seguridad eléctrica que garantizan su correcto funcionamiento y seguridad, la cuales se indicaran en el punto 2.5 de este proyecto.

2.2.3 Utilización

Los tableros eléctricos se utilizan en diversas aplicaciones, desde residencias hasta instalaciones comerciales e industriales, asegurando que la energía se administre adecuadamente y se minimicen los riesgos de accidentes eléctricos. En este sentido, los tableros eléctricos utilizados en la mina son variados:

- Tableros de distribución fuerza.
- Tableros de control.
- Tableros para ventiladores 125HP.
- Tableros iluminación.
- Tableros enchufe de equipos de perforación como jumbo, ITH y Simba.

Para el caso específico de este proyecto nos referiremos de manera exclusiva a los tableros eléctrico para equipos jumbo (TEJ), los cuales son energizados desde los TDF ubicados en todas las labores en exploración.

2.3 Tablero eléctrico jumbo (TEJ)

Los tableros eléctricos Jumbo en minería son fundamentales para el desarrollo y explotación en operaciones mineras. Estos tableros están diseñados para enfrentar las exigencias de un entorno industrial, ofreciendo eficacia y seguridad en la operación de equipos pesados y maquinaria específica.

2.3.1 Características

- Resistencia mecánica: Construidos con materiales robustos para soportar condiciones adversas (polvo, humedad, vibraciones).
- Seguridad: Equipados con dispositivos de protección como interruptores automáticos, fusibles, circuito de protección contra fuga de tierra, materiales diseñados para prevenir sobrecargas y cortocircuitos, recalca en este tablero que sólo se energiza cuando detecta que tiene un enchufe de equipo de perforación conectado.
- Diversidad de circuitos: Capacidad para gestionar múltiples circuitos eléctricos, necesarios para diferentes equipos, tanto para el equipo de perforación como el sistema de drenaje, circuito de monitoreo y demás.
- Control de Automatización: Integración con sistemas de monitoreo y control para una gestión más eficiente.

2.3.2 Aplicaciones en minería

- Suministro de Energía: Alimentan maquinaria pesada como equipos Jumbos de 01 y 02 brazos para el desarrollo, exploración y fortificación de la mina, a su vez para equipo Simba, equipo Ith para la producción de la mina.
- Iluminación: Proporcionan energía a sistemas de iluminación en galerías y áreas de trabajo.
- Operaciones de Soporte: Suministran energía para herramientas eléctricas y otros equipos de apoyo.

2.3.3 Instalación y mantenimiento

- Requerimientos: Deben ser instalados por personal eléctrico calificado para

cumplir con las normativas de seguridad específicas en minería, bajo DS N° 132/2004 del Ministerio de Minería de Chile.

- **Mantenimiento Regular:** Es crucial realizar mantenimientos periódicos para asegurar el buen funcionamiento, así como la seguridad de los usuarios del tablero.

2.4 Información técnica de componentes eléctricos

Para comprender de mejor manera lo descrito en este estudio, es necesario conocer previamente los materiales y complementos involucrados en la reformulación de los tableros para equipos de perforación, se debe entender que cada componente tiene una finalidad dentro del funcionamiento de estos. A continuación, se describen los principales elementos que conforman el tablero eléctrico estudiado;

2.4.1 Armario compacto de acero inoxidable

Los armarios compactos de acero inoxidable son mobiliarios diseñados para ofrecer soluciones de almacenamiento eficientes en espacios reducidos. Fabricados en acero inoxidable, son resistentes a la corrosión, fáciles de limpiar y altamente duraderos. Ideal para entornos como cocinas comerciales, laboratorios y áreas industriales, estos armarios suelen contar con estantes ajustables y pueden incluir opciones de cerradura para mayor seguridad. Su diseño moderno también aporta un aspecto profesional a cualquier espacio.

Figura 2.1 Armario con contratapa acero inoxidable desde cero.



2.4.2 Fusible ch 10x38 gg

Los fusibles CH 10x38 gG son dispositivos de protección eléctrica diseñados para interrumpir el flujo de corriente en circuitos eléctricos en caso de sobrecarga o cortocircuito. Su tamaño es de 10 mm de diámetro y 38 mm de longitud. La "gG" indica que son fusibles de tipo general, adecuados para proteger equipos y circuitos de potencia tanto en aplicaciones industriales como domésticas. Estos fusibles son ideales para la protección de motores, transformadores y otros dispositivos eléctricos.

Figura 2.2 Fusible CH 10X38 Gg.



2.4.3 Contactor 3 polos – 330A - 110vAC

Dispositivo electromecánico utilizado para controlar la conexión y desconexión de circuitos eléctricos de alta potencia. Este contactor tiene tres polos, lo que le permite controlar tres fases de corriente alterna (AC). Su capacidad de corriente nominal es de 330 amperios, lo que lo hace adecuado para aplicaciones industriales que requieren el control de motores, iluminaciones y otros equipos eléctricos. El voltaje de bobina es de 110 V AC, lo que significa que necesita este voltaje para energizar y activar el contactor. Es fundamental para la automatización y seguridad en sistemas eléctricos.

Figura 2.3 Contactor 3 polos 330 A.



2.4.4 Interruptor caja moldeada compact nsx400 regulable 400 A 3p

El interruptor de caja moldeada es un dispositivo de protección eléctrica diseñado para interrumpir la corriente en circuitos de alta potencia. Con una capacidad de 400 amperios, es ideal para aplicaciones industriales y comerciales. Este interruptor ofrece protección contra sobrecargas, cortocircuitos y, en algunos modelos, protección diferencial. Su diseño compacto permite un fácil montaje y conexión en paneles eléctricos. En este proyecto se utilizará el modelo compact nsx400 regulable 400 A 3p el cual se puede apreciar en la figura N°2.4.

Figura 2.4 INT CAJA MOLD NSX400 .



2.4.5 Bloque de monitoreo de aislamiento Mb conexión para 4p en interruptor 3p

El bloque de monitoreo de aislamiento MB permite la conexión de un interruptor de 3 polos a un sistema de monitoreo. Su función principal es supervisar el estado de aislamiento del circuito, detectando fallos o condiciones de riesgo. Este dispositivo se utiliza en instalaciones eléctricas para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento, proporcionando una señal de alerta en caso de fallos en el aislamiento.

Figura 2.5 VIGI.



2.4.6 Relé auxiliar - 230 vAC - 12 A

Dispositivo electromecánico que actúa como un interruptor controlado por una señal eléctrica. Diseñado para manejar cargas de corriente alterna (AC) de hasta 12 amperios, este relé se energiza con una tensión de 230 V, permitiendo controlar circuitos eléctricos de manera eficiente. Su tamaño compacto lo hace ideal para aplicaciones en sistemas de automatización, control de electrodomésticos y otras instalaciones donde se requiera un control fiable de la corriente.

Figura 2.6 Relé auxiliar - 230 V AC.



2.4.7 Receptor programable 2 relés 24-240V AC/DC (ZBRR)

Dispositivo utilizado en sistemas de automatización y control. Este receptor, que se integra en un panel o caja eléctrica de 22 mm de diámetro de plástico autoextinguible, permite la recepción de señales de control, como las de interruptores o mandos a distancia. Su funcionalidad programable proporciona flexibilidad en la configuración, permitiendo ajustar automáticamente a las necesidades del usuario, lo que se refleja en los estados de sus luces led que a continuación se detalla:

- 1 LED Verde encendido fijo, señala alimentación conectada.
- 2 LED Verde luego de presionar alguna de sus entradas para programación (Q1 o Q2),
- 2 LED Verde parpadeando, señala modo de función para programar botonera inalámbrica.
- 1 LED verde y amarillo, señala recepción de señal de parte de la botonera inalámbrica programado para ese relé.

Figura 2.7 Relé receptor programable ZBRR.

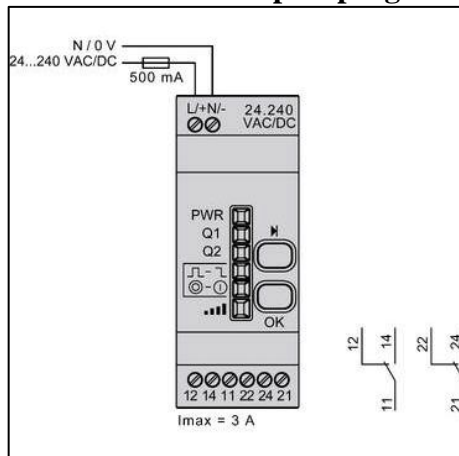


Nota: Su diseño en plástico asegura ligereza y resistencia, siendo adecuado para diversas aplicaciones en entornos domésticos e industriales como la minería. Por otra parte, su durabilidad eléctrica como mecánica es de 1.000.000 de ciclos.

2.4.8 Conexionado

Su conexionado es alimentando sus entradas tanto en voltaje alterno como continuo, con rango de 24VDC a 240VAC, teniendo 2 salidas para el control de más de un circuito, el cual en ambas salidas tiene un punto común (11 y 21).

Figura 2.8 Conexión de relé receptor programable ZBRR.



2.4.9 Relé de asimetría Rhona

Este dispositivo sirve para utilizarlo en la supervisión de la secuencia de fases, fallo de fase y asimetría con asimetrías ajustables y conexión de cable neutro opcional. Para nuestro proyecto se utiliza para que la alimentación del tablero sea con la secuencia de fases correcta, si viene con secuencia errónea no energiza de ninguna manera la salida del enchufe X20 hembra, a continuación, algunas características:

- La tensión de alimentación es igual a la tensión de medición
- Diseño de la instalación.
- Un contacto de conmutación.
- 17.5mm anchura.
- Monitoreo de asimetría, secuencia y falla.

Figura 2.9 Relé de asimetría.



2.4.10 Relé de tiempo on delay 24-240V AC/DC

Este dispositivo se utiliza para programar un tiempo determinado en diversas funciones eléctricas, genera un retraso en la energización de los circuitos, para nuestro proyecto al momento de estar todo listo, es decir conectado el equipo de perforación, correcta la secuencia de fase, etc., al pulsar la energización mediante la botonera inalámbrica retrasa según el tiempo programado la energización hacia el equipo, es decir genera un tiempo más de seguridad al usuario, para que conecte y se aparte del tablero ante cualquier eventualidad, algunas características de este dispositivo:

- On delay (retardo a la conexión).
- 10 rangos de tiempo.
- Tensión de alimentación 24-240V AC / DC.
- 1 contacto de conmutación.
- Ancho 22,5mm.

Figura 2.10 Relé de tiempo.



2.4.11 Enchufe hembra/macho Wüinkhaus línea 225 A

El enchufe Wüinkhaus de la línea de 225 A es un conector eléctrico diseñado para aplicaciones de alta corriente, específicamente para cargas de hasta 225 amperios. Este tipo de enchufe es ideal para entornos industriales y de construcción, donde se requiere una conexión segura y confiable para maquinaria y equipos eléctricos.

Su diseño robusto garantiza resistencia a condiciones adversas, y muchos modelos incluyen características de seguridad, como protección contra contactos accidentales. Además, su facilidad de uso permite una rápida desconexión y conexión, mejorando la eficiencia en el trabajo. Este tipo de enchufe lo utilizamos para los equipos destinados a la producción de la mina para realizar el método de hundimiento Sub level stoping, dichos equipos de perforación son Simba e Ith, para barrenos largos.

Figura 2.11 Enchufe hembra/macho wümkhaus línea 225 A.



2.4.12 Línea de enchufes H/M Wümkhaus x20 420 A. 1.1 kV

El enchufe Wümkhaus de la línea X20, con capacidad de 420 A y 1.1 kV, es un conector industrial diseñado para aplicaciones de alta potencia. Especialmente adecuado para entornos exigentes, este enchufe garantiza conexiones seguras y confiables para equipos eléctricos de gran tamaño y maquinaria pesada. Su construcción robusta está diseñada para resistir condiciones adversas, y su capacidad de manejo de alta tensión lo hace ideal para sectores como la construcción, minería y manufactura. Además, cuenta con características de seguridad que previenen contactos accidentales, mejorando la seguridad operativa. Este tipo de enchufe usamos para el desarrollo, exploración y fortificación de la mina, especialmente para los equipos Boomer (Jumbo) S1 y S2.

Figura 2.12 Línea de enchufes h/m Wümkhaus x20 420 A. 1,1 kV.



2.5 Equipo de perforación boomer (jumbo) S1 y S2

Los siguientes equipos de perforación se utilizan para el desarrollo, exploración, avance y fortificación de la mina, el S1 el cual es de 01 brazo de 55KW, se utiliza para la fortificación principalmente o bien en labores que por dimensión no se puede perforar con equipo de 02 brazos (S2). Por otra parte, el S2 de 02 brazos 55KW cada uno, se utiliza para el desarrollo de los túneles, el avance de la mina, es decir todas las frentes a realizar tronaduras, abarcando el 95% de dichas perforaciones de avance, en casos excepcionales los avances se realizan con equipo S1, dichos casos suelen ser:

- Caída de tensión en el nivel de trabajo.
- Frentes de menor sección.
- Aperturas de nuevos desarrollos en frentes perpendiculares al túnel.
- Cuando la fortificación es amplia, se aprovecha de dejar mismo equipo para la frente a desarrollar.
- Cuando equipos S2 están fuera de servicio.

2.5.1 Equipo boomer (jumbo) S1

El Boomer S1 es un equipo de perforación frontal hidráulico adecuado para galerías y túneles pequeños con secciones transversales de hasta 31 m². El doble trípode del brazo BUT 29 permite un posicionamiento rápido y preciso con mantenimiento del paralelismo hidráulico en todas las direcciones. El avance controlado por la presión de rotación de la función anti arranque mejora la duración del fungible de perforación con el martillo COP. El motor diésel de bajas emisiones proporciona un potente rendimiento con un menor impacto medioambiental. Si necesita una perforación de alto rendimiento en galerías pequeñas, puede confiar en el Boomer S1.

Figura 2.13 Equipo Jumbo S1 (01 Brazo).



2.5.2 Equipo boomer (jumbo) S2

Dotado de dos potentes brazos BUT S, el Boomer S2 es el equipo de perforación más productivo de su clase. Este compacto equipo de perforación frontal es el más inteligente y duro en galerías pequeñas. Los operadores pueden trabajar cómodamente en la cabina opcional con certificación ROPS y FOPS. Al tener menos mangueras en los brazos, los operadores tienen una excelente visibilidad para maniobrar en espacios reducidos. Al combinar complementos digitales inteligentes con un chasis sólido y un motor diésel potente, el equipo Boomer S2 reducirá sus costes de funcionamiento a la vez que le ayudará a aumentar su productividad.

Figura 2.14 Equipo Jumbo S2 (02 brazos).



2.5.3 Equipo Simba S7

El Simba S7 tiene un moderno diseño que comparte muchos componentes con el exitoso equipo de perforación frontal Boomer S1. El Simba S7 es un equipo de perforación de barrenos largos para galerías de tamaño pequeño o mediano, en el rango de barrenos de 51 a 89 mm. Puede perforar barrenos paralelos ascendentes y descendentes con un espaciado de hasta 5,9 metros. Equipado con un martillo en cabeza de alto rendimiento y una unidad de perforación montada en el brazo, el Simba S7 ofrece una solución sostenible de alta precisión para la perforación de barrenos largos. El mayor nivel de automatización permite añadir la funcionalidad que necesita a este equipo versátil.

Figura 2.15 Equipo Simba S7.



Este equipo se utiliza principalmente para perforaciones de realce.

2.5.4 Perforación de realce

Método ascendente (realce), el mineral es arrancado por franjas horizontales y/o verticales, empezando por la parte inferior de un rajo, avanzando verticalmente. Cuando se ha extraído la franja completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril (relleno), que sirve de piso de trabajo para los demás niveles y al mismo tiempo permite sostener las paredes, y en algunos casos especiales el techo de la labor.

2.5.5 Equipo Simba 1354 (ITH)

El Simba 1354 proporciona una alta velocidad de penetración en galerías de tamaño mediano. Los martillos en cabeza y en fondo para planes de perforación variables hace que este equipo pueda adaptarse fácilmente a sus necesidades. El estabilizador superior e inferior mantiene estabilizada la deslizadera para realizar un emboquillado y una perforación precisas. Para aumentar el tiempo productivo y la vida útil del vehículo, el equipo está diseñado con puntos de servicio de fácil acceso para poder llevar a cabo las tareas de mantenimiento y las comprobaciones diarias de una manera eficiente. Si necesita un equipo potente de alta precisión para la perforación de barrenos largos, puede confiar en el Simba 1354.

Este equipo se utiliza principalmente para perforaciones de Banqueo, Sublevel Stopping y VCR.

Figura 2.16 Equipo Simba 1354 (ITH).



2.5.6 Perforación de Banqueo

Son aquellas perforaciones verticales o inclinadas utilizadas preferentemente en proyectos a cielo abierto y minería subterránea, como por ejemplo en el hundimiento por subniveles.

2.5.7 Perforación de Sublevel Stopping

Es el modo de dividir el cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo y consiste en arrancar el mineral a partir de subniveles de explotación mediante disparos efectuados en planos verticales, con tiros paralelos y radiales, posteriormente quedando vacío el caserón después de la explotación.

2.5.8 Perforación de VCR

Consiste en explotar el mineral comprendido entre dos niveles de espaciamiento vertical de aproximadamente 60 metros, se desarrolla un nivel superior a lo largo y ancho de la estructura mineralizada para preparar una cámara superior de perforación desde la cual opera la perforadora.

2.6 Pliegos técnicos y normas que aplican en el proyecto

Los pliegos técnicos de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC); Estos pliegos establecen las normas y regulaciones para asegurar la seguridad y el correcto funcionamiento de instalaciones eléctricas y de combustibles. Incluyen especificaciones técnicas, procedimientos de instalación, mantenimiento y supervisión, así como también los requisitos de certificación y cumplimiento.

A continuación, se proporciona información respecto de los Pliegos Técnicos Normativos, establecidos por la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), en los cuales se describen los materiales y complementos utilizados en el cambio de toda la flota de tableros.

- RIC-N02-Tableros-Eléctricos.
- RIC-N04-Conductores-y-Canalizaciones.
- RIC-N05-Medidas de protección contra tensiones peligrosas y descargas eléctricas.
- RIC-017-Operación y mantenimiento.
- RIC-N19-Puesta en servicio.

2.6.1 RIC-N02-Tableros-Eléctricos

El RIC Número 2 sobre tableros eléctricos en Chile establece directrices específicas para la instalación, mantenimiento y operación de estos equipos en sistemas eléctricos. Los puntos clave incluyen:

1. Normativas de Diseño: Establece criterios técnicos para el diseño de tableros eléctricos, incluyendo dimensiones, materiales y disposición.

2. Seguridad: Incluye medidas de protección ante sobrecargas, cortocircuitos y otros riesgos eléctricos, asegurando el aislamiento y la accesibilidad.
3. Instalación: Detalla los procedimientos adecuados para la instalación, asegurando la correcta conexión y anclaje de los tableros.
4. Mantenimiento: Provee pautas para el mantenimiento preventivo y correctivo, asegurando la operatividad y la vida útil de los tableros eléctricos.
5. Etiquetado y Señalización: Requiere que los tableros cuenten con etiquetado claro para identificar circuitos y equipos, facilitando su uso y mantenimiento.

Este reglamento busca garantizar tanto la seguridad del personal como la fiabilidad en el suministro eléctrico

2.6.2 RIC-N04-Conductores-y-Canalizaciones

El RIC Número 2 sobre tableros eléctricos en Chile establece directrices específicas para la instalación, mantenimiento y operación de estos equipos en sistemas eléctricos.

Este reglamento busca garantizar tanto la seguridad del personal como la fiabilidad en el suministro eléctrico .

2.6.3 RIC-N05-Medidas de protección contra tensiones peligrosas y descargas eléctricas

El RIC Número 4 sobre conductores y canalizaciones establece normativas y directrices para el uso y la instalación de conductores eléctricos y sus respectivas canalizaciones en Chile. Busca asegurar la eficiencia, la seguridad y la durabilidad en las instalaciones eléctrica

2.6.4 RIC-017-Operación y mantenimiento

El RIC Número 17 aborda la operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas, estableciendo directrices para asegurar su funcionamiento seguro y eficiente.

El RIC 17 busca garantizar la seguridad, la fiabilidad y la eficiencia en la operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas.

2.6.5 RIC-N19-Puesta en servicio

El RIC Número 19 se centra en la puesta en servicio de instalaciones eléctricas,

estableciendo directrices para garantizar que este proceso se realice de manera segura y efectiva.

El RIC 19 busca asegurar que las instalaciones eléctricas se pongan en servicio de forma segura y cumpliendo con las normativas vigentes.

2.6.6 Norma NFPA 70E

La norma NFPA 70E es un estándar esencial para la protección contra riesgos eléctricos en el lugar de trabajo. Establece requisitos y pautas claras para identificar, evaluar y controlar los riesgos eléctricos, y destaca la importancia de utilizar equipos de protección personal y ropa ignífuga certificada. Al cumplir con esta norma, las organizaciones pueden garantizar la seguridad de sus empleados y reducir los riesgos asociados con los incendios repentinos y los arcos eléctricos.

2.6.7 Decreto Supremo 132

Aprueba Reglamento de Seguridad Minera.

Serán aplicables a las instalaciones, equipos, materiales y dispositivos, como asimismo a la operación de sistemas eléctricos de las faenas mineras, las normas nacionales dictadas por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, y las normas específicas que establece el presente reglamento. En caso de conflicto en el alcance de las citadas normas, prevalecerán las más exigentes.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y SEGURIDAD

Este capítulo describe el tablero antiguo y el nuevo, su forma de instalación, seguridad eléctrica, capacitación del personal e impacto en tiempos del ciclo minero.

La decisión de cambiar toda la flota de tableros TEJ por completo, nace desde la necesidad de hacer un tablero mucho más seguro, eficaz, que genere un real impacto en los tiempos del ciclo minero completo, es decir mejorar la operatividad de los diversos equipos de perforación y avance, sumado a eso que sea autónomo, es decir que el electricista lo instale, haga el mantenimiento, energice y haga entrega, de esta manera el operador y ayudante una vez calificados, entrenados y aprobados quedan autorizados a conectar el equipo y energizar con la botonera inalámbrica. El personal electricista de esta manera sólo asistirá en caso de alguna falla en el TEJ, ya sea de control o fuerza, o bien para programar cada botonera inalámbrica, ya que cada vez que se va instalando un tablero nuevo en la mina se deben ir programando las botoneras a ese TEJ, los cuales poseen hasta 64 entradas para programar en modo Q1 y Q2 ambas con 32 entradas.

A continuación, se detalla tablero antiguo y tablero nuevo ya en operación.

3.1 Tej antiguo 130kW

Este tablero además de más básico en todo ámbito como lo es en seguridad, diseño, estructura, potencia (130KW) peso, etc. Es un tablero que prácticamente obliga la presencia del electricista de turno, ya que posee mandos rotatorios, los cuales por la carga que debe energizar debe ser manipulado por un especialista y con los elementos de protección personal adecuados (EPP), la mayoría de las veces sus mandos sufren desgaste, por lo que era necesario abrir la puerta para poder energizar el equipo de perforación, o bien ajustar sus pernos de fijación al vástago que une con el interruptor termo magnético de 250(A) (ITM 250A) como interruptor general, luego mediante una barra de cobre tripolar para cada fase, se alimenta el ITM 250(A) secundario que se usa exclusivamente para el enchufe Whünkhaus 225(A), también con mando rotatorio, la salida de este ITM pasa por un toroide el cual conectado a un relé de fuga a tierra y bobina de disparo en interior del interruptor hacen que opere la protección de caso de fallos eléctricos, de la

misma barra tripolar se alimenta un automático de 63(A), muy sobredimensionado para su función, también con mando rotatorio para el enchufe 5X32(A), el cual se usa para el sistema de drenaje y conexión de bombas eléctricas desde 2.2KW hasta 5.5KW, extensiones eléctricas y demás.

Otra problemática con este TEJ es que no posee contratapa, cubierta de protección de metacrilato para las conexiones, barra para el neutro muy lejana, lo que incide en tener que abrir más de lo normal el cable al realizar sus puntas con terminales, a su vez no posee transformador para el circuito de control, depende netamente de la alimentación de la red, quedando expuesto a caídas y alzas de tensión. Por otro lado, al momento de conectar el equipo de perforación no siempre el material del armario es de la mejor calidad, ya que, ante tanta conexión y desconexión, suelen ceder o desgastar base de pernos de fijación para tales enchufes Whünkaus 225(A), no posee manilla para conectar de manera sencilla, para la toma de medidas es necesariamente abrir la tapa y medir con todos los EPP, acto muy riesgoso al momento de estar el equipo en plena carga, lo que bordea los 250 a 290(A), fuera del consumo eléctrico de las bombas para el drenaje (3 a 15 A) quedando expuesto a un arco eléctrico, choque eléctrico, contacto directo e indirecto.

Figura 3.1 Interior Tej antiguo.



Figura 3.2 Exterior Tej antiguo.



3.2 Instalación de Tej antiguo

Para la instalación de este tablero, el cual bordea los 75KG, es necesario 2 personas tomando a pulso y fijando con pernos de anclaje 3/8'' al cerro, lo cual leyes actuales como la del saco no se podría instalar, ya que es hasta 25KG en el caso de los hombres y 20KG en las mujeres, toda instalación implica una complejidad, ya que, ante cualquier error humano o mala coordinación puede pasar un accidente, de carácter grave y con tiempo perdido en la operación.

Como se nota apreciar este tablero demanda mucho tiempo desde su instalación, pruebas, conexión de equipo y energización desde mandos rotatorios por parte del especialista, lo que impacta de manera negativa en el ciclo minero completo, a su vez un tablero precario hablando de seguridad eléctrica, exponiendo a sus usuarios a la mayoría de los riesgos eléctricos como lo son:

- Arco o descarga eléctrica.
- Choque eléctrico.
- Incendio eléctrico.
- Contacto directo o indirecto.

- Cortocircuito.
- Sobrecarga.

3.3 Tej nuevo 220kW

Este tablero además de la evidente mayor potencia (220KW), viene a reemplazar el antiguo TEJ en todo ámbito, seguridad, efectividad del ciclo minero completo, diseño, estructura, fácil de instalar, monitoreo en terreno sin mayor riesgo como remoto mediante Scada (futura mejora), moderno, autónomo entre otras que a continuación se detallan.

3.3.1 Mejoras en seguridad eléctrica

Nuestro TEJ viene con mejoras para el circuito eléctrico de control y fuerza, como para los usuarios, aplicando modernos sistemas de energización remoto, con tiempos de espera, indicadores de fase correcta, eliminando los mandos rotatorios del de la energización hacia el equipo de perforación, cuenta con contratapa, protecciones de metacrilato en las conexiones de alimentación y salida hacia las cargas, al momento de conectar el tablero en las barras tetrapolares y energizarlo.

Figura 3.3 Interior TEJ nuevo.



Figura 3.4 Exterior TEJ nuevo.



3.3.2 Detalle de mejoras punto a punto

- Al momento de conectar posee una barra tetrapolar conectada a un ITM 400(A) igualmente tetrapolar, lo que permite al preparar la punta de conexión, evitar abrir en demasía el cable, de esta manera hace mucho más sencillo la conexión de la alimentación.
- Posee protección de metacrilato al concluir la conexión, para proteger en caso de cualquier riesgo eléctrico.
- ITM regulables general como el secundario, en capacidad, curvas, ruptura, temperatura, para 2 modelos uno con viggi integrado y otro modelo con circuito de fuga a tierra con relé de protección, toroide y bobina de disparo en interior de interruptor,
- Barras de cobre en salida de ITM secundario, separadas y aisladas, en caso de sobre carga, mal contacto o algún fallo eléctrico no se genere un arco.
- Posee un transformador de 300vA, para el circuito de control, no dependiendo de la energía de la red como en la versión anterior.
- Posee un relé de asimetría para avisar en caso de alimentación con fase incorrecta, mediante una luz piloto o sirena de sonido.

- Posee un mini relé para el funcionamiento del sistema de seguridad Hilo piloto, el cual comprueba que el enchufe del equipo esté bien conectado, encendiendo la luz Hilo piloto en el tablero, de esta manera cerrando por completo el circuito de control para poder energizar el equipo.
- Posee un relé de tiempo, una vez energizado hacia el enchufe del equipo, permita al operador autorizado se pueda alejar del tablero por precaución.
- Posee una contratapa, con un display Schneider electric easy logic PM 2100, el cual recibe la información detallada en tiempo real de: Voltaje trifásico, monofásico, potencia activa, reactiva y aparente, factor de potencia, amperajes, kW/hR, histórico de variables, entre otras, señal recibida mediante transformadores de corrientes SACI TU 30 400/5 vA ubicados en los cables de la salida de ITM general, lo que permite la toma de parámetros de forma mucho más segura al estar instalado en contratapa, sin necesidad de abrir por completo el tablero y medir a plena carga, no exponiendo a los diversos riesgos eléctricos al personal eléctrico.
- Posee un contactor Schneider electric de 330(A), para energizar el enchufe hembra empotrado Wüinkhaus X20, el cual enclava de forma remota mediante botonera inalámbrica.
- En caso de deterioro de sus pines de conexión de enchufe Hembra X20, es sencillo su cambio, no sacando por completo el enchufe, sino que solo soltando mediante llave Allen 6mm.
- Mejor calidad del material del armario, ante varias conexiones y desconexiones, no se fatiga el acero, lo que impide algún contacto eléctrico de alguna de sus líneas energizadas con la carcasa, ante del desgaste del armario metálico.
- Segunda línea de luces piloto (bajo de luces de presencia de tensión), para señalar que efectivamente esta energizado el enchufe hembra X20, ya que están conectadas aguas abajo del contactor.
- Cuenta con parada de emergencia, su versión anterior no.
- Facilidad en la instalación, no se necesita fuerza, ya que contamos con grúa hidráulica maxilift instalada en camioneta, lo cual es parte de este cambio de la flota de tableros TEJ, debido a su excesivo peso que es de 110KG.

3.4 Instalación de Tej nuevo

3.4.1 Generalidades

Para realizar esta tarea de Instalación, Reparación y Recuperación de Tableros Eléctricos en B.T. se debe planificar, coordinar y seleccionar las herramientas y equipos a ocupar considerando la aplicación del procedimiento de bloqueo y la descripción del paso a paso definidos en este procedimiento.

- Seleccionar personal, equipos, herramientas y EPP adecuado para trabajo.
- Verificar que personal eléctrico conozca a su cabalidad procedimiento de trabajo.
- Entregar una información clara de la Tarea a realizar y verificar entendimiento de la instrucción.
- Coordinar y solicitar autorización a encargado del área donde se trabajara.
- Trasladarse al área de trabajo.
- Revisar área de trabajo.
- Confeccionar PPS.
- Confinar área de trabajo con cenefas.
- Identificar puntos de bloqueo.
- Coordinar desenergización del sector.
- Cortar energía en el sector a intervenir.
- Implementar LOTOTO en los puntos definidos.
- Verificar energía cero, todos los puntos definidos en PPS
- Realizar tarea de acuerdo a lo planificado.

3.4.2 Instalación de tableros eléctricos

Todos los tableros eléctricos deben marcarse en forma legible e indeleble para indicar cuál es su función, los enchufes que contengan, deberán estar claramente definido su objetivo. Cada caja eléctrica estará dotada de aldaba de modo que pueda ser bloqueada con candado. Se usará huincha reflectante de color amarillo en las aristas de cada caja para resaltar su ubicación. En la tapa de cada caja se debe colocar Letrero indicativo de Riesgo de Electricidad además de la tensión empleada en el tablero. Todas las cajas eléctricas deben

estar debidamente unidas a la línea de tierra de su respectiva subestación. Deberán estar afianzadas a la caja a una altura no inferior a 1,00 m. Tomando punto de referencia la base del tablero, el método de afianzado será aquel que no permita el movimiento de estas y otorgue mayor seguridad en especial por movimientos provocados por tronadura.

3.4.3 Instalación de tablero eléctrico en B.T

- Se debe confinar zona de trabajo señalizando con cenefas, con lectura “Precaución Personal Electricista Trabajando”.
- Se coordina corte de energía para sector involucrado.
- Se realiza bloqueo de energía de acuerdo a lo establecido en PPS
- Tomando la caja opuesta a redes de servicio H2O – Aire y drenaje. Una vez el conductor tendido en la labor, se procederá a la realizar la instalación de tablero de la siguiente forma:
- Verificar en forma visual estado del cerro para la instalación del tablero eléctrico. Evitando dejar expuesta a posibles daños por tronaduras o alcance de equipos.
- Ubicar caja eléctrica en el sector asignado de la labor (a no menos de 30 m. de la frente en desarrollo) un lugar adecuado, libre de caída de roca suelta y fortificado para la instalación del tablero.
- Teniendo como medida mínima 1.0 m desde la base del tablero al piso de labor.
- Se procederá a fijar tablero a caja de labor por intermedio solo de pernos anclaje tipo Hilti con medidas entre 3/16 y 3/8” o 5/8” de acuerdo a peso de Tablero, Se procede a instalar golillas y tuercas de sujeción con llave punta corona, llave ajustable o juego de dados, utilizando estos últimos para tableros sobre los 85 kg, dependiendo del tipo de tablero a instalar debiendo quedar a lo menos con 03 fijaciones de las 04 existentes. Utilizar grúa Maxilift (figura 3.5).

Figura 3.5 Grúa Maxilift en operación.



3.5 Método de uso de Tej nuevo

3.5.1 Proceso de capacitación de personal operador de equipos

Considerado el proceso de energizar el equipo como crítico para el ciclo de minería, es crucial poder minimizar estos tiempos, pero alineado con la legislación vigente, por nombrar el artículo 408 D.S. 132 “Reglamento de Seguridad Minera”. Por lo tanto, se propone la siguiente ruta descrita en la tabla N° 3.1 y figura 3.6 para autorizar a personal operador, con 10 puntos que deben ser ruteados y trazables en toda su metodología, cuyo pilar fundamental esté centrado en:

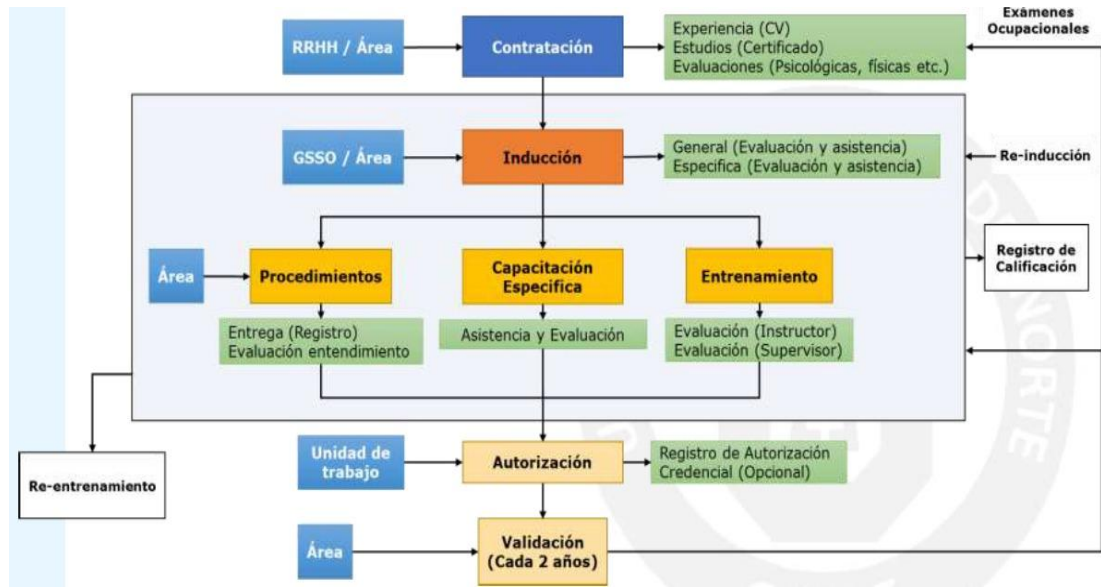
- Identificación y evaluación de riesgos eléctricos.
- Capacitación específica del trabajo y su respectiva evaluación.
- Entrenamiento específico y evaluación en terreno.

Tabla 3.1 Requisitos y documentación para la autorización.

Ítem	Detalle	Duración
1	Firma del responsable de la solicitud de autorización	
2	Anexo en el contrato del trabajo individual	
3	Recepción de procedimiento específico de la tarea (energizar equipos)	
4	Certificado de curso primeros auxilios RCP	8hr
5	Curso de riesgos eléctricos basados en NFPA 70E y orientado en la operación específica	8hr
6	Curso de manejo de extintores	8hr

7	Curso de bloqueo de energías eléctricas	8hr
8	Difusión y evaluación de procedimiento específico	4hr
9	Entrenamiento evaluado en terreno de procedimiento específico energizar equipos	4hr
10	Programa de re instrucción/evaluación asociado a estas actividades	

Figura 3.6 Autorización de personal operador.



3.5.2 Proceso de conexión y desconexión de equipos

El procedimiento para la conexión y desconexión de un equipo de perforación eléctrico, enfatizando la necesidad de que el operador esté autorizado, calificado y equipado con el equipo de protección personal (EPP) adecuado. Antes de iniciar la tarea, el operador debe coordinar con el Jefe de Turno Operaciones Mina y asegurar que el área esté debidamente autorizada para el ingreso.

Al conectar el equipo, el operador debe realizar una serie de verificaciones de seguridad en el tablero eléctrico, como el correcto anclaje y señalización, y asegurar que no haya humedad cerca del cableado. Debe desenrollar el cable con cuidado para evitar daños y seguir protocolos de comunicación con un ayudante. El equipo solo se debe enchufar si se han cumplido todos los requisitos de seguridad, y se debe verificar que el tablero indique energía antes de continuar.

Para la desconexión, el operador debe asegurarse de que el equipo esté completamente detenido y utilizar un control remoto para desenergizarlo antes de desenchufar. También debe seguir procedimientos de comunicación y manejo del conductor eléctrico para evitar humedades y daños. Si hay alguna irregularidad, es necesario contactar al personal electricista, y en ambos casos (conexión y desconexión), sin la debida autorización, debe esperar a que el electricista realice los procedimientos correspondientes.

3.6 Impacto en tiempo de operación y ciclo minero

Los nuevos tableros y su implementación han generado un efecto positivo en el tiempo efectivo de trabajo de los equipos y por ende ha mejorado la fluidez del ciclo minero antes expuesto. La implementación del nuevo procedimiento conlleva un tiempo de respuesta más ágil a las diferentes solicitudes que recibe el personal eléctrico durante el turno, el hecho de que ya no sea necesario que el personal electricista tenga que estar para la conexión y posterior energización, propone ya una mejora en el tiempo de trabajo tanto de personal especialista como operadores,

Considerando que el turno por jornada es de 12 horas, notamos una baja eficiencia en cuanto al tiempo de trabajo efectivo y se resalta el tiempo del electricista parte del proceso (Tabla N° 3.2).

Tabla 3.2 Tiempo de ciclo minero con tablero antiguo.

Actividad	Ciclo desfase 1 disparo		Ciclo malla a la frente	
Extracción marina	1,5	Horas	1,5	Horas
Ventilación post extracción	0,5	Horas	0,5	Horas
Acuñadura	1	Horas	1	Horas
Instalación de mallas	0,6	Horas	0,9	Horas
Conexión personal electricista	0,25	Horas	0,25	Horas
Adose de mallas	1	Horas	1,5	Horas
Fortificación base	1,2	Horas	1,2	Horas
Perforar disparo	2,5	Horas	2,5	Horas
Desconexión personal electricista	0,25	Horas	0,25	Horas
Cargar y quemar	1,5	Horas	1,5	Horas
Total tiempo	10,3	Horas	11,1	Horas
Hrs efectivas por turno	8,3	Horas/Turno	9,1	Horas/Turno
Turnos por ciclo	1,24	Turno	1,22	Turno

Nota: Como se puede apreciar en Tabla 3.2, el nuevo ciclo requiere de más trabajo por parte de los equipos de perforación de frente, por ende, se necesitaba disminuir el tiempo de inicio de perforaciones para que pudieran cumplir con los requerimientos de la empresa mandante. Todo esto disponiendo del mismo tiempo que se tenía con las actividades anteriores, entonces se generó el desafío de cumplir con más desarrollo y producción en el menor tiempo posible.

En comparación con los ciclos anteriores, la implementación de estos modelos de tableros ha demostrado una reducción significativa en la eficiencia del proceso minero. La Tabla N° 3.3 muestra la disminución del tiempo necesario para llevar a cabo las mismas tareas que se realizaban en los formatos de ciclos previos.

Tabla 3.3 Comparación de tiempo con nuevo tablero.

Actividad	Ciclo desfase 1 disparo	Ciclo malla a la frente	Tiempos con uso del nuevo tablero
Extracción marina	1,5 horas	1,5 horas	1,5 horas
Ventilación post extracción	0,5 horas	0,5 horas	0,5 horas
Acuñadura	1 horas	1 horas	1 horas
Instalación de mallas	0,6 horas	0,9 horas	0,5 horas
Conexión personal electricista	0,25 horas	0,25 horas	0,0 horas
Adose de mallas	1 horas	1,5 horas	0,7 horas
Fortificación base	1,2 horas	1,2 horas	0,5 horas
Perforar disparo	2,5 horas	2,5 horas	1,5 horas
Desconexión personal electricista	0,25 horas	0,25 horas	0,0 horas
Cargar y quemar	1,5 horas	1,5 horas	1,5 horas
Total tiempo	10,3 horas	11,1 horas	7,7 horas
Hrs efectivas por turno	8,3 horas	9,1 horas	6,2 horas
Turnos por ciclo	1,24 Turno	1,22 Turno	1,24 turno

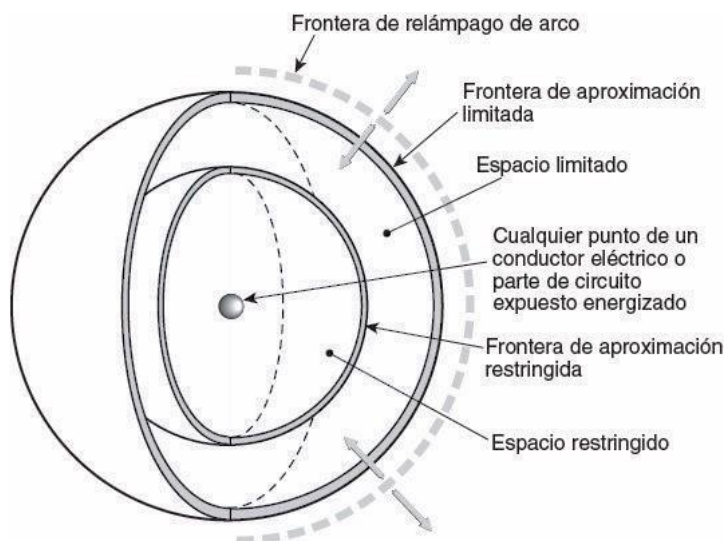
En ambas tablas las horas efectivas por turno es el tiempo total menos las horas que no hay trabajos, es decir la hora de colación más la media hora de charla de seguridad de inicio de turno, lo que conlleva al cociente entre el total del tiempo dividido en las horas efectivas por turno, dando como resultado los turnos por ciclo.

3.7 Seguridad eléctrica del proyecto

En este estudio se evidencia el cambio radical en cuanto a seguridad eléctrica, tanto en el proceso de instalación como en su uso, además de las constantes capacitaciones al personal operador y electricista, quienes son los que interactúan turno a turno con el tablero.

Los incisos 4 y 5 del artículo 130 de la NFPA 70E se centran en la evaluación de riesgos de descarga eléctrica y de arco eléctrico, respectivamente. En estos incisos, se establecen límites específicos destinados a proteger a los empleados que trabajan en o cerca de equipos energizados. Además, se enfatiza la importancia de utilizar equipos de protección personal (EPP) adecuados, diseñados para salvaguardar a los trabajadores según los diversos niveles de peligro presentes.

Figura 3.1 Límites aproximación NFPA 70E.



3.7.1 Riesgos asociados en el tablero antiguo

El antiguo tablero eléctrico jumbo (TEJ) contaba con protecciones térmica y de fuga a tierra. Sin embargo, el principal riesgo asociado a este sistema era la interacción directa entre el ser humano y la energía eléctrica durante los procedimientos anteriores (Véase Figura N° 3.1). Los peligros más significativos eran el choque eléctrico y el arco eléctrico, ya que la manipulación directa del tablero aumentaba la posibilidad de accidentes.

El personal operador carecía de conocimiento sobre cómo y dónde conectar y energizar el equipo, lo que hacía necesario contar con un electricista que se encargara de enchufar, verificar que todo estuviera en óptimas condiciones y energizar manualmente el equipo jumbo.

La modificación de este sistema es esencial, dado el alto riesgo asociado a esta interacción. Sin duda, las mejoras implementadas en el nuevo tablero optimizan considerablemente estas condiciones

3.7.2 Mejoras aplicadas en el nuevo tablero

El tablero eléctrico jumbo (TEJ) actual nos proporciona una mejor confiabilidad en cuanto a la seguridad del personal que interactuará con este dispositivo.

Como primer ítem nombraremos el conexionado y energización hacia el equipo de perforación, contando con una mejor conexión del enchufe (Figura 2.11) y una distancia segura para energizar el sistema, las luces de presencia de energía de energización, sistema que el tablero antiguo no tenía, nos proporcionan una mayor visibilidad y resguardo respecto de la energía involucrada en la operación.

También los sistemas de seguridad que cuenta el equipo, empezando por el hilo piloto, el cual (como se explicaba en capítulo II) nos obliga a que los equipos están bien enchufados para recién poder permitir la energización. Los elementos de protección en cuanto al tablero, nos entregan la seguridad necesaria que se necesitaba en algún tipo de falla o descarga. Todo esto va de la mano con una buena mantención al momento de instalar los tableros para entregar un equipo en buenas condiciones tanto en su infraestructura y los diferentes elementos de seguridad que contiene el mismo.

Con lo anterior expuesto se puede inferir que contamos con un tablero que contiene un sistema y una infraestructura confiable y por sobre todo segura tanto para el personal especialista, el personal operador y para el ciclo de trabajo

CAPÍTULO IV

ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

Este capítulo se enfoca en todo lo correspondiente a costos de nuestro proyecto, es decir del cambio de tablero para equipos de perforación, sumado al impacto económico que genera en el proceso minero tanto para el avance de la mina (desarrollos), como producción (sub level stoping). Por otra parte cabe señalar que no cuenta con flujo de caja, debido a la hermeticidad de la empresa para con sus gastos.

Se comparará el tablero antiguo con el tablero nuevo, desde los aspectos de seguridad, eficiencia y costos.

4.1 Costos del tablero anterior

El tablero antiguo su valor era de \$3.000.000 (año 2006), el cual contaba con un sistema eléctrico básico (descrito en el capítulo 3.1), el costo de este tablero abarca la confección, diseño, mano de obra y traslado. Geovita S.A realizó el diseño del circuito tanto de control como de fuerza, mediante un sub contrato lo mandó a realizar con la empresa Voltta Ingeniería Eléctrica, bajo los estándares de seguridad del año 2006. De acuerdo al IPC (variación julio 2006 a octubre 2024 de un 110,8%) al mes de octubre año 2024, el valor actual de este tablero sería de \$6.324.000 (Calculadora IPC, INE, 2024).

4.2 Costos del tablero actual

Nuestro tablero actual su valor es de \$6.300.000, cuenta con mayor seguridad, circuito sofisticado, moderno, versátil, instalación rápida, componentes eléctricos de buena calidad, etc. (descrito en capítulo 3.3 y 3.4), al igual que su antecesor abarca la confección, diseño, mano de obra y traslado. El diseño del circuito de control y fuerza fue realizado por nuestro departamento eléctrico con nuestra participación clave, en conjunto a nuestra jefatura, confeccionando de principio el tablero en nuestras dependencias, con materiales reciclados como armarios, componentes eléctricos, sólo realizando la compra de componentes que no teníamos, concretando con ello el diseño y la funcionabilidad. Al tener la aprobación de nuestra empresa y la mandante, se derivó su confección en cantidades nuevamente mediante sub contrato a empresa Voltta Ingeniería Eléctrica.

4.3 Costos adicionales

Sumado a la renovación de los tableros para equipos de perforación, se confecciona un laboratorio de pruebas y capacitación con todas las comodidades, desde aire acondicionado, TV led, computadores y demás para todo el personal electricista de nuestro contrato mina santos, de esta manera capacitar con respecto a la nueva flota de tableros, por un valor de \$8.000.000. El laboratorio se utiliza también para nuevos proyectos para el departamento eléctrico, mejoras, capacitaciones, charlas, innovaciones, etc.

Por otra parte el costo de la capacitación al personal operador y ayudante de los equipos a conectar y energizar en el nuevo tablero Tej (descrito en punto 3.4.4), el cual es de \$608.000 (4uf x 4hrs que duró el curso) por un solo día.

Para finalizar se suma además el costo de la mini grúa Maxilift 500 (descrito en capítulo 3.4.3), para la inslación del nuevo tablero, ante su considerable peso, monto que asciende a \$5.500.000.

Figura 4.1 Laboratorio.



4.4Análisis de costos y beneficios

4.4.1 Beneficios operativos

Los beneficios que ofrece nuestro nuevo tablero, son esencialmente menor riesgo de accidentes, apuntamos a la seguridad eléctrica, ya que en ningún momento el operador o usuario queda expuesto algún tipo de riesgo eléctrico, mayor eficiencia operativa de los

equipos de perforación, cumplimiento en los metrajes acordados bajo contrato con empresa mandante, mediante una pronta energización de los equipos de perforación.

4.4.2 Valor del tiempo

En este punto en términos económicos se refiere a la noción de que el dinero disponible en el presente, tiene un valor mayor que la misma cantidad de dinero en el futuro, esto se debe a la capacidad de ganar intereses o rendimientos sobre el capital invertido, para nuestro caso se obtienen ganancias en rendimientos, como a su vez en utilidad, ya que, mientras más avances en perforaciones se logren, mayores tronaduras serán realizadas.

Tabla 4.1 Mejora de la producción y desarrollos en relación a la confiabilidad.

	Incremento ciclo vida de los equipos	Reducción HH costo de mantenimiento	Reducción costos mantenimiento	Incremento de los desarrollos 1 año (ML)	Incremento de la producción 1 año (MB)	Atenciones eléctricas ante fallas por turno
Tablero antiguo	Se mantiene no hay aumento	\$3.000.000	\$0	\$2.368.800.000	\$3.645.993.960	80%
Tablero nuevo	50%	\$300.000	\$2.700.000	\$4.737.600.000	\$7.291.987.920	10%

En esta tabla 4.1 se evidencia el incremento de la vida útil de los equipos de perforación, la reducción de los costos de mantenimiento antes casi nulas fallas y desgaste o fatiga de materiales, el incremento del 50% de las ganancias en producción y los desarrollos, y lo más importante para nosotros como departamento eléctrico la cual es la reducción abismante de las atenciones por fallas en cada turno, cumpliendo con nuestras expectativas. Por turno con el anterior tablero normalmente se atendían fallas de cada conexión y energización por diversas causales, desde vástagos de mandos rotatorios, bobinas de disparo quemadas, ITM defectuosos, entre otras. Todos estos valores nos confirman haber realizado un nuevo tablero muy confiable.

4.4.3 Valores de tronaduras de desarrollo y producción

- Desarrollo de frente 6.0 x 5.0 MT, cuya unidad es metros lineales (ML), su valor es de \$940.000, lo normal que se viene desarrollando desde el cambio de tablero es de 4 frentes por día, cada frente avanza de promedio 3.5 metros lineales, donde; $940.000 \times 3.5 = 3.290.000 \times 4 = \$13.160.000$ día, mencionados en tabla 4.1. Con el tablero antiguo se lograban 2 frentes por día.

Figura 4.2 Perforación de frente de desarrollo o avance de túnel.



Figura 4.3 Diagrama de disparo frente de desarrollo.



- Perforación de producción, tanto para banqueo como realce, cuya unidad son los metros barrenados (MB), estas perforaciones en el caso de banqueo son verticales, oblicuo o diagonal hacia abajo, por el caso del realce son verticales, oblicuo o diagonal hacia arriba.
- el valor por metro barrenado para banqueo es de \$16.850, mientras que para realce es de \$12.947, la producción de estas perforaciones son por 21 corridas paralelas de normalmente 20 pozos con una profundidad promedio de 49 metros, en ocasiones puntuales de mayor profundidad, donde; para banqueo es $21 \times 20 \times 49 \times 16.580 = \$341.216.400$ mes y para realce es $21 \times 20 \times 49 \times 12.947 = 266.449.260$ mes.

Figura 4.4 Perforación de banqueo hacia abajo del cuerpo mineralizado.

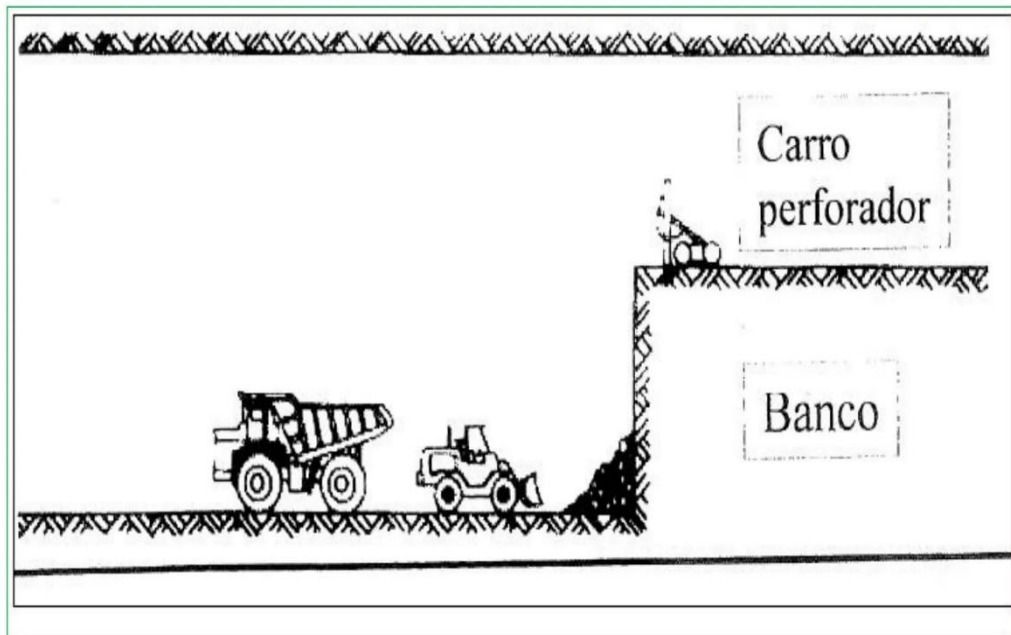
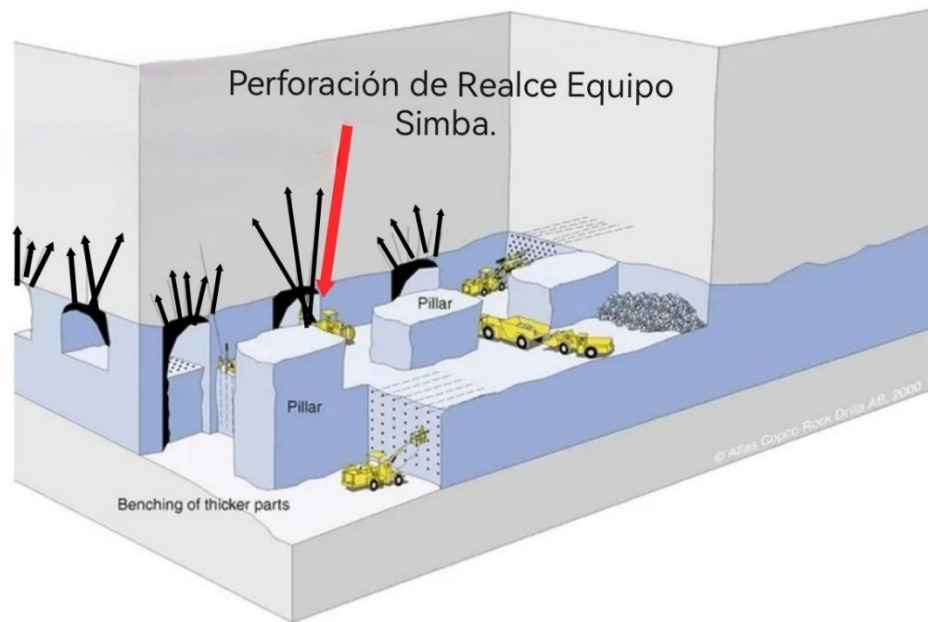


Figura 4.5 Perforación de realce hacia arriba del cuerpo mineralizado.



4.5 Comparativa de seguridad

4.5.1 Datos sobre seguridad

Las diferencias en seguridad entre el tablero anterior y el nuevo, es claramente amplia su diferencia, ya que, en seguridad eléctrica se disminuyeron en gran porcentaje los riesgos de accidentes eléctricos, riesgos eléctricos e incendio eléctrico mencionados en este proyecto. En el anterior tablero prácticamente todo era manual, precario, riesgoso, con alto potencial de accidente, un tablero sin contratapa, con mandos giratorios o rotamandos para energizar los circuitos de fuerza, que cuando se salían sus vástagos obligaba al personal eléctrico a abrir el tablero para energizar, muchas veces ante la mala calidad de los materiales se deterioraban las aldabas y quedaba sin candado, donde el mismo operador bajo su responsabilidad energizaba su equipo, acto sumamente peligroso, a su vez no quedaba sellado de buena manera al cerrar la tapa, la mayoría de las veces nos encontrábamos con el tablero lleno de polvo minero en su interior, polvo que es altamente conductor debido a sus características minerales, lo que podía evidentemente generar un arco eléctrico ante cualquier mala maniobra. Por otra parte y por el contrario, en nuestro

nuevo tablero, nos encargamos de mejorar en todos los aspectos mencionados del anterior tablero, es un tablero seguro, versatil, eficiente, con confiabilidad eléctrica, bajo todos los estándares actuales, innovador, inalámbrico, con protecciones en todos sus ITM para el circuito de fuerza, protecciones para el circuito de control contra fugas, fase incorrecta, no energiza e menos que tenga conectado un quipo de perforación, además una vez conectado entrega un margen de tiempo más de seguridad para que el operador al presionar la botonera inalámbrica ya no esté frente al tablero, un tablero con muchas indicaciones como las luces piloto de la segunda corrida que indican que efectivamente está energizado el circuito trifásico hacia el enchufe empotrado X20, un tablero con un display en su contratapa que indica muchas variables eléctricas sin riesgo alguno, que futuramente pretendemos enviar dicha información por un sistema Scada o fibra óptica a nuestro laboratorio en superficie, en resumen un tablero que sumadas a las ganancias que logró generar con respecto a los tiempos óptimos de perforación, está cumpliendo su objetivo desde el plano de la seguridad eléctrica. En la tabla 4.2 se aprecia la comparativa en costos de mantenimiento, eficiencia y confiabilidad.

Tabla 4.2 Comparativa costos de mantenimiento, eficiencia y confiabilidad.

	Mantenimiento	Fallas	Tipos de fallas	Seguridad Eléctrica
Tablero antiguo	Costos diversos componentes eléctricos \$3.000.000	Más de 30 mensual.	Control, fuerza, fugas, rotamandos, vástagos, enchufe empotrado, bobinas.	30% no confiable, no teniendo mejoras, tablero obsoleto.
Tablero nuevo	Costos en su gran mayoría luces piloto o paradas de emergencia \$300.000	1 cada 3 meses, normalmente de control no fuerza.	Cambio de luces piloto y paradas de emergencias rotas por equipos, manilla de enchufe empotrado.	90% confiable, en constantes innovaciones y mejoras más aún.

Como indica la tabla 4.2, el costo por mantener los tableros antiguos era muy alto ante tanta falla y desgaste, por el contrario el tablero nuevo gasta sólo el 10% en fallas o cambio de piezas pequeñas y siempre en constantes mejoras aún mas en nuestro laboratorio.

4.5.2 Costos de los accidentes

Al hablar de estos costos ,o llegar a esto, quiere decir que algo se dejó de hacer o algo no funcionó correctamante, por lo mismo no queremos algún día como profesionales de la electricidad tener que llevar un trabajador accidentado a las diversas mutualidades que existen o bien al hospital, clínica, etc. Ya que, es un proceso delicado, triste, de informar a la familia del trabajador, la incertidumbre que genera, el dolor y demás, por otra parte los costos asociados a un accidente especialmente eléctrico, la mayoría de estos accidentes son de carácter grave, desde quemaduras de distintos grados, hasta amputaciones, quemaduras de órganos hasta la muerte.

Los costos por accidentes dependen de la gravedad, de la institución donde se lleva al accidentado, el procedimiento a realizar, la recuperación y las terapias, ya sean de carácter físico o mental. Ante un accidente para la empresa de igual manera es pérdida, ya que , se detiene la producción, se comienza la investigación, es decir un accidente eléctrico para nuestro caso o cualquier tipo de accidente laboral de carácter grave, es con tiempo perdido en todos los casos. La tabla 4.3 nos indica un resumen de lo hablado en este punto.

Tabla 4.3 Análisis de costos de accidentes de trabajo.

Análisis de costos de accidentes de trabajo		
	Costo Humano	Costo Económico
Costos para el accidentado	<ul style="list-style-type: none"> - Dolor y sufrimiento físico. - Pérdida de capacidad de trabajo. - Sufrimiento de la familia. - Marginación social del incapacitado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de ingresos. - Gastos adicionales.
Costos para la empresa	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de recursos humanos. - Problemas para el equipo. de trabajo. - Presiones sociales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Primas de seguros. - Tiempo perdido. - Primeros auxilios. - Interferencias en la producción. - Gastos fijos no compensados. - Pérdida de imagen. - Etc.

Costos para la sociedad	<ul style="list-style-type: none"> - Muertes. - Minusvalías. - Lesiones. - Deterioro de la calidad de vida. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prestaciones económicas. de la seguridad. - Gastos sanitarios.
-------------------------	---	---

4.6 Presentación de resultados

En este punto vamos a reflejar los resultados obtenidos con respecto a ganancias en costos monetarios, confiabilidad, seguridad eléctrica, eficiencia operacional, luego de la implementación de los nuevos tableros para equipos de perforación.

En la tabla 4.4 se logra apreciar las ganancias económicas luego de la implementación de los nuevos tableros por un periodo de un año.

Tabla 4.4 Ganancias económicas y porcentuales, para el desarrollo y producción Mina Santos en periodo de 1 año.

	Tronadura de desarrollo diaria	Tronadura de desarrollo mensual	Tronadura de producción mensual banqueo	Tronadura de producción mensual realce	Incremento de los desarrollos año 1	Incremento de la producción año 1	Incremento de porcentaje metros lineales y de barrenado
Tablero antiguo	\$6.580.000	\$197.400.000	\$170.608.200	\$133.224.630	\$2.368.800.000	\$3.645.993.960	50%
Tablero nuevo	\$13.160.000	\$394.800.000	\$341.216.400	\$266.449.260	\$4.737.600.000	\$7.291.987.920	100%

Como se logra apreciar en la tabla 4.4, el impacto generado por el cambio de tableros es de un 50% en el ámbito de tronaduras realizadas, lo que conlleva una excelente ganancia monetaria. Por otra parte, mencionar que las tronaduras de desarrollo son de manera diaria, ya que es avance del túnel, mientras que las tronaduras de producción son mensuales, debido a la complejidad de la perforación en un cuerpo mineralizado, mediante diversas corridas y pozos en un mismo sector, que posteriormente será hundido mediante método sub level stoping explicado en capítulos anteriores.

La eficiencia operacional queda reflejada también en esta tabla 4.4, ya que, al no presentar fallas eléctricas los tableros, permite un tiempo óptimo para el desarrollo de las perforaciones de un 50% más, finalizando con la extracción del mineral tronado.

4.6.1 Detalle de la inversión

A continuación, mediante la tabla 4.5, se detalla el costo de la inversión con el antiguo tablero año 2006 y del tablero nuevo año 2023, los cuales en ambos casos la compra fue de 15 unidades, para satisfacer las necesidades de nuestro cliente como nuestras propias expectativas monetariamente hablando como un proyecto atractivo, conveniente, con amplia seguridad.

Se aprecia un costo de adquisición muy elevado, se nota una gran inversión, lo cual a lo largo de este proyecto se ha ido detallado todas sus aristas, como lo es principalmente la seguridad de las personas, los equipos, la eficiencia, la confiabilidad y lo principal para nosotros como departamento eléctrico y empresa que es **el respeto absoluto por la vida.**

Tabla 4.5 Detalle de la inversión.

Inversión	V. Unitario	Cantidad	Tablero nuevo
Diseño y confección	\$3.000.000	15	\$6.300.000
Laboratorio Depto. Eléctrico	\$0		\$8.000.000
Capacitación Operador y ayudante	\$0		\$608.000
Grúa Maxilift	\$0		\$5.500.000
Materiales para mantención mensual	\$3.000.000		\$100.000
Total	\$48.000.000		\$108.708.000

Como se logra apreciar en la tabla 4.5, el costo del nuevo tablero es prácticamente el doble con respecto a su antecesor, sumado a los agregados como son el laboratorio, capacitación del personal operador y grúa maxilift para facilitar su instalación debido a su gran peso. Esta inversión se ve recuperada en un mes de desarrollos o producción, ya que aumentando

en un 50% la operatividad de los equipos de perforación, aumenta exponencialmente el carguío de frentes de avance y producción, los valores mencionados en la tabla 4.4 son \$394.800.000 por el lado de los desarrollos, \$341.216.400 por el lado de producción banqueo y \$266.449.260 por el lado de producción realce. Al hablar del aumento de la operatividad de los equipos de perforación, **nos referimos exclusivamente al impacto que genera nuestro nuevo tablero Tej en la operación**, a su vez existen fallas de los equipos que son de carácter mecánico que no seran consideradas en este informe, dichas fallas pueden ser roturas de flexibles, desgaste de aceros, aceites, filtros, cambio de piezas, etc, todo de carácter mecánico.

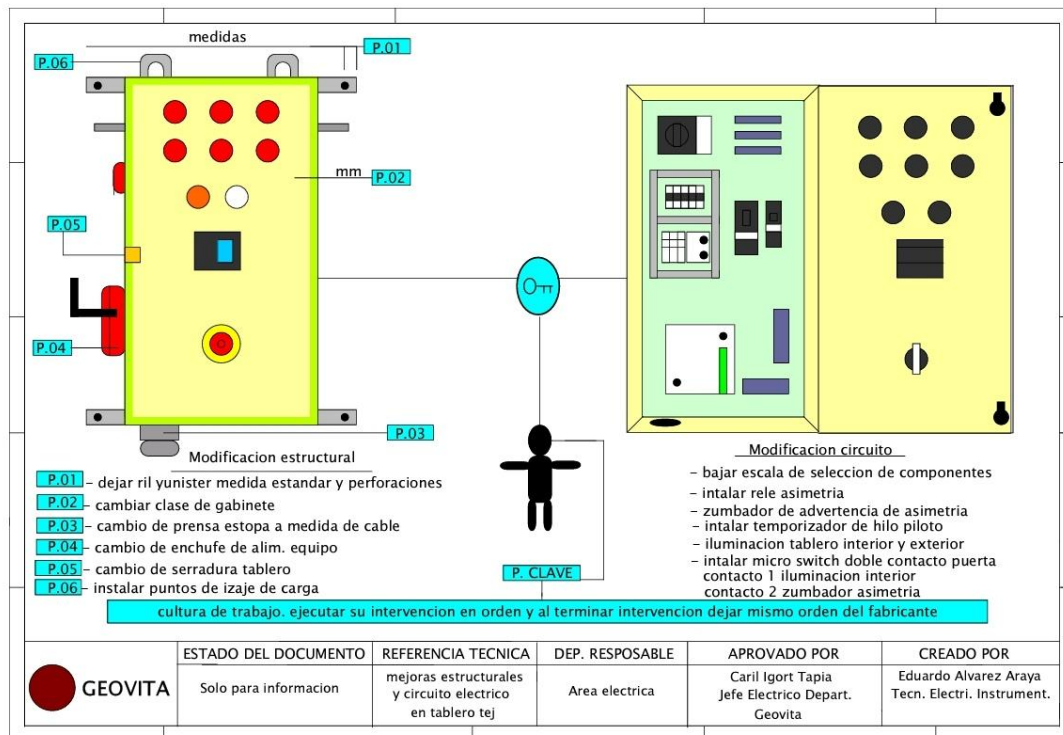
La tabla 4.5 a su vez se refleja la considerable baja en materiales para las mantenciones mensuales, que practicamente en el nuevo tablero son componentes como luces piloto, manillas de enchufes X20, paradas de emergencias, todos ellos por ser pasados a llevar o bien por deterioro de sus usuarios, ya que al tener nuestras mantenciones al dia el tablero tiene muy alta eficiencia.

CAPÍTULO V RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras la implementación del nuevo sistema, se mostrarán diagramas con mejoras realizadas, planos ya concluidos de el tablero nuevo, los cuales están documentados en la carpeta de archivos de nuestro departamento eléctrico y en la tapa de cada tablero en un buzón diseñado para transportarlos,

5.1 Planos de mejoras realizadas mediante su confección

Figura 5.1 Mejoras planteadas y realizadas mediante su confección.



La figura 5.1, describe las modificaciones realizadas en el exterior e interior del tablero, los cuales se detallan en los siguientes apartados.

5.2 Modificación estructural o exterior

En este punto todas las modificaciones fueron concluidas.

- P.01, es un riel que se usa para poder empotrar el tablero al cerro, tiene en sus cuatro extremos perforaciones para poder instalar los pernos de anclaje de la marca Hilti, los cuales sus medidas son de 5/8x8”.
- P.02, Se refiere al cambio realizado del gabinete o armario por uno de mayor dimensión, calidad y resistividad.
- P.03, se refiere a la instalación de prensa estopa, de acuerdo a la medida de los cables utilizados.
- P.04, indica el cambio de enchufe realizado, es decir del antiguo wüinkhaus línea 225 (A), por el actual X20 420 (A).
- P.05, es el cambio de cerradura realizado, el antiguo tablero contaba con aldaba muy vulnerable, ahora la cerradura es parte del tablero.
- P.06, son los puntos de izaje para la carga del tablero, de esta manera maniobrar con grúa maxilift.

5.3 Modificación interior o de circuito

En este punto no todas las modificaciones fueron concluidas, algunas quedan propuestas como futuras mejoras.

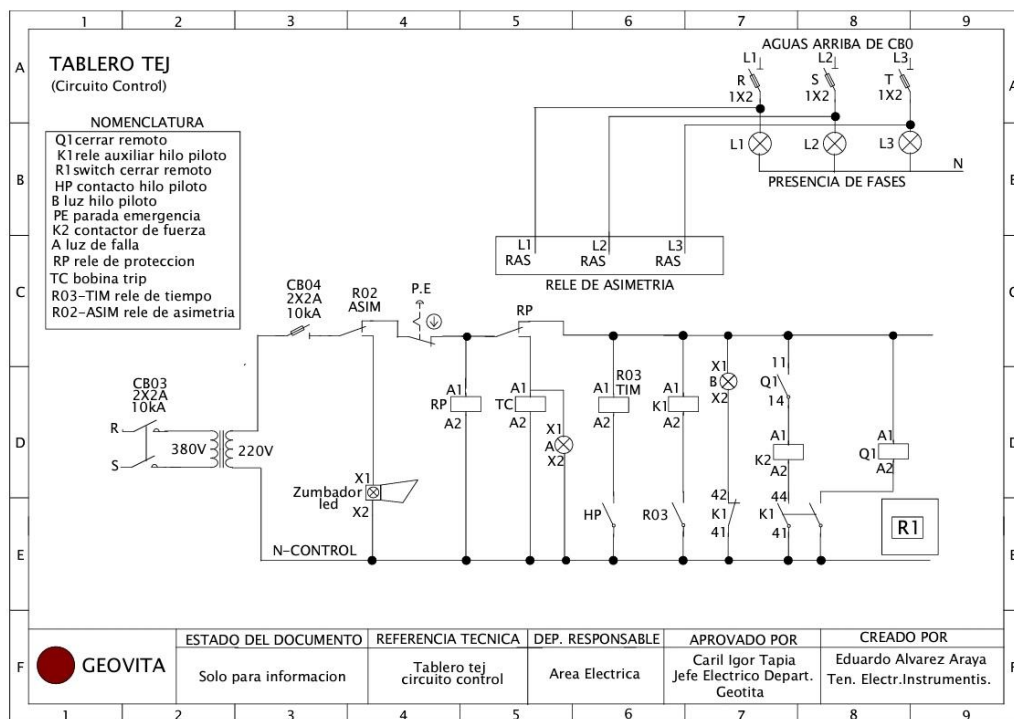
- Bajar escala de selección de componentes, se refiere a la eliminación de componentes de mayor tamaño como lo es el contactor de 330 (A), y algunos ITM. Es una mejora propuesta.
- Instalar relé de asimetría, el cual fue concretado y en funcionamiento.
- Instalación de zumbador tipo alarma para cuando la fase de alimentación no sea la correcta, mejora en funcionamiento.
- Instalación de temporizador de hilo piloto, mejora en funcionamiento.
- Iluminación tablero interior y exterior, mejora propuesta.

- Instalación de micro switch doble contacto puerta, contacto 1 para iluminación interior y contacto 2 para zumbador de asimetría.

La persona clave en todas estas modificaciones, para velar por su correcto funcionamiento, mantenimiento y energización del tablero es el electricista, luego la persona clave una vez conectado el equipo de perforación es el usuario.

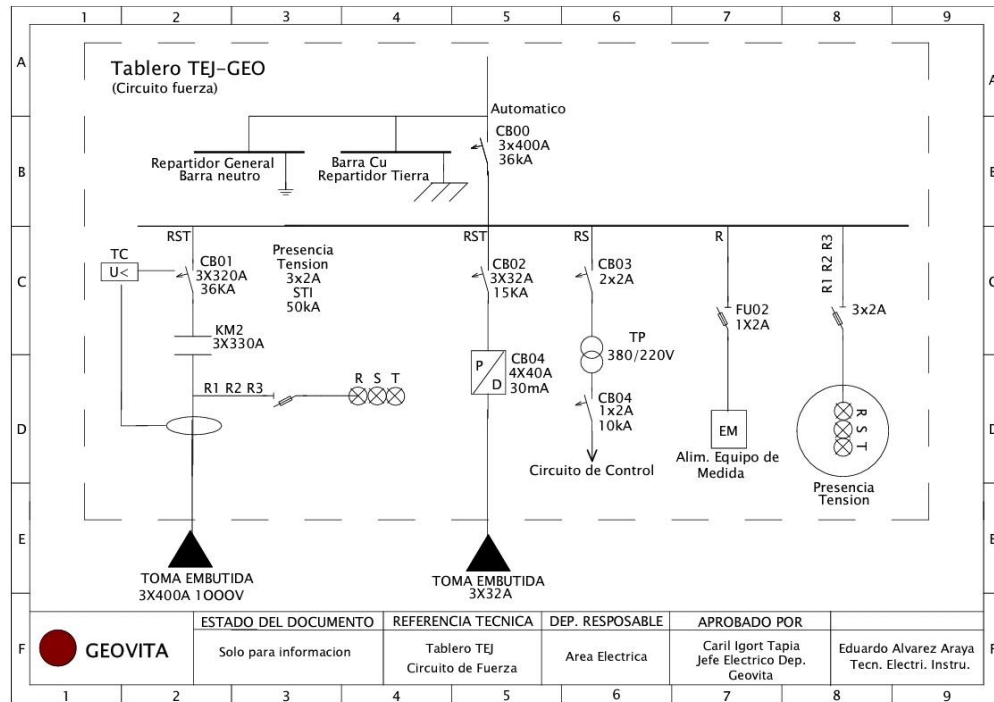
5.4 Planos de control y fuerza del tablero Tej nuevo

Figura 5.2 Plano de circuito de control de Tej.



La figura 5.2 nos describe mediante plano, el circuito de control de nuestro tablero, el cual fue descrito en el capítulo 3.3.2, cabe destacar que esta en óptimo funcionamiento en la actualidad.

Figura 5.3 Plano de circuito de fuerza TEJ



La figura 5.3 nos describe mediante plano, el circuito de fuerza de nuestro tablero, en el cual se logra apreciar las protecciones utilizadas, todos en curva C, lo que quiere decir entre cinco a diez veces la corriente nominal, a su vez nos indica claramente la distribución y control de la energía en su interior, en la actualidad se encuentra en óptimo funcionamiento.

Ambos planos de control y fuerza se encuentran en cada tapa de los tableros, específicamente en un buzón diseñado para tal, con el propósito de cumplir primero que nada con las normas actuales, que nos exige tenerlos en físico, a su vez sirve de ayuda memoria para los electricistas en caso de falla, estos son los planos finales y en ejecución luego de la implementación de los nuevos tableros.

5.5 Comparación de datos antes y después de la modernización

Como se logra apreciar en todas las tablas del capítulo 4, la comparativa del antes y el después de la modernización de los tableros es clara, con valores y ganancias muy por

encima de lo esperado, llegando hasta un 50% más en los desarrollos y producción de la mina, a continuación, un resumen de la comparativa:

Tabla 5.1 Comparativa final tablero antiguo y nuevo.

Tablero antiguo	Valores y porcentajes	Tablero nuevo	Valores y porcentajes
Costo unitario	\$3.000.000	Costo unitario	\$6.300.000
Valor mensual en mantención	\$3.000.000	Valor mensual en mantención	\$100.000
Costos adicionales	\$0	Costos adicionales	\$14.108.000
Reducción costos de mantenimiento	\$0	Reducción costos de mantenimiento	-\$2.700.000
Incremento de los desarrollos en ML 1 año	\$2.368.800.000	Incremento de los desarrollos en ML 1 año	\$4.737.600.000
Incremento de producción en MB 1 año	\$3.645.993.960	Incremento de producción en MB 1 año	\$7.291.987.920
Inversión total	\$48.000.000	Inversión total	\$108.708.000
Eficiencia, confiabilidad y seguridad eléctrica	30%	Eficiencia, confiabilidad y seguridad eléctrica	90%
Atenciones eléctricas por fallas por turno	80%	Atenciones eléctricas por fallas por turno	10%
Avance de ciclo minero	50%	Avance ciclo minero	100%

Como se aprecia en la tabla 5.1, la comparativa de datos antes y después de la modernización los resultados obtenidos son los deseados, ya que, se logra reducir los costos de mantenimiento, incremento de un 50% en desarrollo y producción, se logra una buena eficiencia, confiabilidad y seguridad eléctrica, una amplia reducción en las atenciones por fallas, lo que retrasaba considerablemente el ciclo minero, estar cumpliendo con el contrato pactado entre ambas empresas, se logra el 100% de los avances en el ciclo minero completo.

5.6 Evaluación de rendimiento de los tableros nuevos

La evaluación de nuestros nuevos tableros es muy positiva, nuestro cliente Lunding minning quedó muy satisfecho con los resultados, ya que, se logra explotar su distrito (Mina Santos), de la forma esperada, cumpliendo con el contrato pactado con Geovita S.A, este cumplimiento es netamente la extracción final del mineral, por ende nuestro tablero generó un impacto muy profundo en el ciclo minero de esta mina, elevar un 50%

los desarrollos y la producción en minería es complejo, nuestro departamento eléctrico logra un rendimiento, eficiencia y confiabilidad muy alto, lo que conlleva una producción segura.

5.7 Análisis de eficiencia y confiabilidad.

5.7.1 MTBF (Mean time between failures. Tiempo medio entre fallas)

Es una medida utilizada en la ingeniería de confiabilidad para estimar el tiempo promedio que el tablero funciona sin fallas, se calcula con la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Numero de paradas}}$$

Donde:

- Tiempo total disponible; tiempo total de trabajo con y sin fallas
- Tiempo de inactividad: tiempo en que se detiene el equipo
- Numero de paradas o de fallas

5.7.2 MTTR (Mean time to repair, tiempo medio de reparación)

Es una métrica que se utiliza para medir el tiempo que se tarda en reparar el tablero o equipo después de una falla.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenciones}}{\textit{Numero de mantenciones}}$$

Donde:

- Tiempo total de mantenciones: tiempo que tarda en reparar la falla
- Numero de mantenciones ; cantidad reparaciones.

5.7.3 Disponibilidad

Probabilidad que el tablero o equipo realice la función prevista cuando sea requerido. Se expresa en porcentaje y tiene en cuenta tanto la confiabilidad como la mantenibilidad del tablero.

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

5.8 Cálculo de indicadores de mantención

5.8.1 MTBF y MTTR TEJ antiguo

$$MTBF = \frac{8760 \text{ hr} - 2920 \text{ hr}}{365} = 16 \text{ hrs}$$

$$MTTR = \frac{2920 \text{ hrs}}{365} = 8 \text{ hrs}$$

Como el sistema por turnos es 24/7 nunca detiene el proceso minero, para MTBF TEJ antiguo las 8760 hrs son el total en un año, menos el tiempo de inactividad de este tablero que son las 2920 hrs al año (8 hrs promedio por día de fallas para 2 turnos de 12 hrs), es decir en cada turno de 12 hrs estaba detenido 4 hrs, dividido por el número de paradas o detenciones, es decir todos los días se debía intervenir por cualquier índole (365).

Para MTTR, las 2920 hrs al año, dividido por el número de mantemciones, lo cual era todos los días por diversos problemas eléctricos (365).

5.8.2 Disponibilidad TEJ antiguo

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

$$D = \frac{16}{16 + 8} * 100 = 66,6\%$$

La disponibilidad del TEJ antiguo nos brinda un porcentaje anual de 66,6%, de acuerdo a los cálculos de indicadores de mantención realizados en el punto 5.8.1, porcentaje bajo para un proceso minero.

5.8.3 MTBF y MTTR TEJ nuevo

$$MTBF = \frac{8760hrs - 3hrs}{4} = 2189.25hrs$$

$$MTTR = \frac{3hrs}{4} = 0,75 = 45min$$

Como el sistema por turnos es 24/7 nunca detiene el proceso minero, para MTBF TEJ nuevo las 8760 hrs son el total en un año, menos el tiempo de inactividad de este tablero que son las 3 hrs al año, es decir tiene una falla de 45 minutos por diversos motivos eléctricos cuatro veces al año.

Para MTTR, las 3 hrs al año, dividido por el número de mantemciones, lo cual es una falla cada 3 meses (4).

5.8.4 Disponibilidad

$$D = \frac{2189hrs}{2189 + 0.75} - 100 = 99.9\%$$

La disponibilidad del TEJ nuevo nos brinda un porcentaje anual de 99,9%, de acuerdo a los cálculos de indicadores de mantención realizados en el punto 5.8.3, porcentaje alto y de excelencia para un proceso minero en torno a la entrega de energía eléctrica para los diversos equipos de perforación.

5.9 Confiabilidad

Probabilidad de que el tablero no falle durante un periodo de tiempo determinado y bajos condiciones normales de operación, se mide a través de la frecuencia de fallas que ocurren.

$$R(t) = e^{-\lambda(t)*t}$$

Donde:

- $\lambda(t) = 1/MTBF$

5.9.1 Confiabilidad del equipo en día, semana y mes TEJ antiguo

Por día:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{24}{16}\right)} * 100 = 22,31\%$$

Por semana:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{168}{16}\right)} * 100 = 0,0028\%$$

Por mes:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{720}{16}\right)} * 100 = 0,0\%$$

Como se aprecia la confiabilidad del tablero antiguo es muy baja, a medida que se aumenta el tiempo tiende a ser cero, ante el exceso de fallas.

5.9.2 Confiabilidad del equipo en día, semana y mes TEJ nuevo

Por día:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{24}{2189.25}\right)} * 100 = 98.9\%$$

Por semana:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{168}{2189.25}\right)} * 100 = 92.6\%$$

Por mes:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{720}{2189.25}\right)} * 100 = 72\%$$

Como se aprecia la confiabilidad del tablero nuevo es muy alta, diariamente es prácticamente el 100%, lo que nos deja muy satisfechos como área eléctrica, por otra parte a medida que se aumenta el tiempo tiende bajar su porcentaje, siendo aún un tablero muy confiable.

CAPITULO VI

CONCLUSIÓN

Se concluye este proyecto de modernización de los tableros eléctricos para equipos de perforación, siendo fundamental reflexionar sobre los resultados obtenidos y el impacto que estos cambios han tenido en nuestras operaciones. La transición de un sistema antiguo a uno más moderno no solo ha implicado una actualización tecnológica, sino que también ha sido un paso crucial hacia la mejora de la seguridad, la eficiencia y la rentabilidad en la mina.

En base a nuestros objetivos específicos se concluye que:

1. Cambio de tableros eléctricos para equipos de perforación

Se cambian todos los tableros antiguos para equipos de perforación, en su reemplazo se instalan los TEJ nuevos, con mejoras en seguridad eléctrica, innovadores, versátiles, dando todos los resultados esperados.

2. Mejorar la seguridad eléctrica, bajo el D.S. N°8/2019 del Ministerio de Energía en Chile

Los nuevos tableros cumplen con las normativas vigentes en Chile, bajo el D.S. N°8/2019 del Ministerio de Energía, además de cumplir con la norma NFPA70E y el D.S. N°132/2004 del ministerio de Minería.

3. Aumento de la eficiencia y productividad en el desarrollo y producción de la mina

Se produce un aumento del 50% de las perforaciones de desarrollo y producción de la mina, debido a la oportuna energización del equipo de perforación y no presentar fallas el tablero nuevo.

4. Generar un impacto económico positivo

Toda la inversión del cambio de tableros, capacitación del personal, creación del laboratorio y la compra de la grúa maxilift se recupera en aproximadamente un mes, es decir al subir exponencialmente las ganancias por perforación y posteriores tronaduras de desarrollo y producción, las ganancias fueron de un 50% más, lo que permitió pagar todo en poco tiempo.

5. Aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los tableros

La disponibilidad se logró aumentar en un 99,9% lo cual es alto y de excelencia en un proceso minero, ante las diversas eventualidades, por otra parte, también se logró aumentar la confiabilidad llegando a un 98,9% diario, a un 92,6% semanal y un 72% mensual, valores que nos dejaron muy satisfechos como área eléctrica.

Este proyecto de modernización de tableros eléctricos para equipos de perforación ha demostrado ser una inversión altamente rentable y estratégica, generando un impacto significativo en la seguridad, eficiencia y rentabilidad de las operaciones mineras. En conclusión, este proyecto sienta un precedente para la implementación de tecnologías de vanguardia en la minería, demostrando que la modernización del sistema eléctrico no solo es viable, sino crucial para alcanzar un equilibrio óptimo entre seguridad, eficiencia, rentabilidad y cumplimiento normativo. Las lecciones aprendidas y la experiencia adquirida servirán como base para futuras iniciativas de mejora continua en las operaciones mineras, promoviendo la adopción de prácticas más seguras y eficientes.

BIBLIOGRAFIA

epiroc. (). *Equipos de perforación minería subterránea.* . epiroc Chile Recuperado de <https://www.epiroc.com/es-cl/epiroc-in-chile>

Ministerio de Minería. (30 de Diciembre de 2002). *D.S. N°132 Reglamento de seguridad minera.* Santiago Chilw Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=221064>

Ministerio de Energía (2019). Aprueba el reglamento de seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica. Pliegos Técnicos consignados en el DS N°8/2019. Recuperado de: Diario Oficial de la República de Chile, Disponible en el siguiente link: <https://www.sec.cl/sitio-web/descargar/469/decreto-08/27652/decreto8.pdf>

National Fire Protection Association,. (año 1979). *Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo.* EE.UU Recuperado de <https://hseradio.com/wp-content/uploads/2020/02/NFPA-70-E-2018-Seguridad-electrica-en-lugares-de-trabajo.pdf>

Igor Tapia, Caryl. Adolfo. (s.f.). *Calificación De Operadores, Una Asistencia A Los Tiempos Del Ciclo De Perforación.* Calificación De Operadores, Una Asistencia A Los Tiempos Del Ciclo De Perforación (López Serrazina, Ronaldo, Univ., Católica del Norte, Edic. 2019, ESPECIALIZACIÓN “SEGURIDAD, ELÉCTRICA EN LOS LUGARES DE, TRABAJO”), Coquimbo, Chile.

Geovita S.A.. (año 2023). *valores de tronaduras de desarrollo y producción.* Departamento de Finanzas. Geovita Recuperado de <https://geovita.cl/>

