UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2021

OPTIMIZACION DE LA CONFIABILIDAD HUMANA PARA LA REPARACION DE FALLAS EN HUINCHE DON LUIS CODELCO CHILE DIVISION ANDINA

DIAZ CONTRERAS, SERGIO ANTONIO

https://hdl.handle.net/11673/53622

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD HUMANA PARA LA REPARACIÓN DE FALLAS EN HUINCHE DON LUIS CODELCO CHILE DIVISIÓN ANDINA

Trabajo de titulación para
optar al título de Ingeniero en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:
Sergio Antonio Díaz Contreras
Profesor guía:
Sr. Mg. Ing. Carlos Baldi González

2021

RESUMEN

KEYWORDS: SISTEMA HUINCHE DON LUIS, CONFIABILIDAD HUMANA, HEART, SIRF.

Un huinche es un dispositivo electrohidráulico que sirve para arrastrar, levantar y/o desplazar objetos o grandes cargas.

El enfoque de este escrito está basado en la técnica de evaluación y reducción del error humano (HEART), diseñada por J.C Williams el año 1986 y la optimización de la confiabilidad humana para la reparación de fallos en el huinche Don Luis a través de un sistema informático de respuesta a la falla.

Codelco Chile División Andina es una empresa del estado de Chile, dedicada a la extracción, procesamiento y venta de concentrado de Cobre y concentrado de Molibdeno con una producción el año 2020 de 184.730 toneladas métricas de Cobre fino, en la actualidad se está transformando el sistema de extracción mixto subterránea cielo abierto a uno full rajo, en donde las instalaciones de servicios de la mina subterránea serán de apoyo a las de la mina rajo.

En el capítulo 1 se dará a conocer los antecedentes generales de Codelco Chile División Andina, del sistema huinche Don Luis y la auditoría realizada al libro de novedades del huinche Don Luis, que contempla el sistema de funcionamiento del huinche, los modos de operación y el cómo se establece el resultado de la supervisión tanto física como lógica para entregar un valor listo para la operación que activa el funcionamiento del mismo.

En el capítulo 2, se define la confiabilidad humana como un factor diferencial de las organizaciones de hoy en día, en donde se persigue el desempeño eficiente y eficaz de las personas en todos los procesos, se aplicará la técnica de evaluación y reducción de error humano (HEART) para evaluar la confiabilidad humana en la actividad de reparación de falla en el huinche Don Luis.

El capítulo 3, cuenta la implementación del sistema informático de respuesta a la falla, basado en la clasificación, estudio y metodología de reparación de las fallas ocurridas en el periodo del año 2011 hasta el año 2020 en el huinche Don Luis. Con ello se contará con un procedimiento para la reparación de fallos en este activo, disminuyendo los tiempos de reparación de este.

ÍNDICE

RESUMEN.....2

ÍNDICE DE FIGURAS.....5

INTRODUCCIÓN.....7

OBJETIVOS.....8

OBJETIVO GENERAL.....8

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....8

CAPITULO 1: AUDITORÍA INTERNA SISTEMA HUINCHE DON LUIS.....10

1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA.....10

1.2 ANTECEDENTES GENERALES HUINCHE DON LUIS.....11

1.3 AUDITORÍA INTERNA SISTEMA HUINCHE DON LUIS.....15

1.3.1 DATOS OBTENIDOS LIBRO DE NOVEDADES HUINCHE DON LUIS.....15

1.3.2 CIRCUITOS QUE COMPONEN EL SISTEMA HUINCHE DON LUIS.....17

1.3.2.1 CIRCUITO DE MAQUINA.....17

1.3.2.2 CIRCUITO DE SEGURIDAD.....18

1.3.2.3 CIRCUITO DE SALIDA.....19

1.4 FALLOS DETECTADOS POR AUDITORÍA.....20

1.4.1 FALLAS EN CIRCUITO DE MAQUINA.....20

1.4.2 FALLAS EN CIRCUITO DE SEGURIDAD.....21

1.4.3 FALLAS EN CIRCUITO DE SALIDA.....22

CAPITULO 2 CONFIABILIDAD HUMANA.....25

2.1 INTRODUCCIÓN.....25

2.2 CAPITAL HUMANO.....25

2.3 GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO.....26

2.4 FORMACIÓN POR COMPETENCIAS.....26

2.5 GERENCIA DEL DESEMPEÑO.....27

2.6 TRABAJO EN EQUIPO.....27

2.7 CULTURA DE LA CONFIABILIDAD HUMANA.....28

2.8 EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD HUMANA PARA LA REPARACIÓN DE UN FALLO EN HUINCHE DON LUIS.....29

2.8.1 DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN 33

2.9 COSTOS POR INDISPONIBILIDAD DE HUINCHE DON LUIS 36

CAPITULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA INFORMÁTICO DE RESPUESTA A LA FALLA 40

3.1 ESTUDIO 40

3.2 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN SISTEMA INFORMÁTICO DE RESPUESTA A LA FALLA 41

3.3 INTERFAZ SIRF 42

3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS 43

3.5 RECOMENDACIONES 45

CONCLUSIONES 47

BIBLIOGRAFÍA 48

ANEXOS 49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación División Andina 11
Figura 2. Freno principal y freno másico 12
Figura 3. Jaula Don Luis. 13
Figura 4. Tablero de llamados. 13
Figura 5. Tablero de destinos. 14
Figura 6. Pupitre de operación. 14
Figura 7. Gráfico fallas ocurridas por año. 15
Figura 8. Gráfico fallas ocurridas por mes. 16
Figura 9. Gráfico fallas por circuito. 16
Figura 10. Gráfico tiempos de reparación. 17
Figura 11. PLC Siemens S7-300 19
Figura 12. Elementos de la confiabilidad humana. 25
Figura 13. Estrategias de la confiabilidad humana. 26
Figura 14. Formación de equipos de trabajo. 27
Figura 15. Elementos básicos de una política de confiabilidad. 29
Figura 16. Pantalla principal HMI huinche Don Luis. 31
Figura 17. Tabla de tareas genéricas metodología HEART. 31
Figura 18. Tabla conductas productoras de errores EPC. 33
Figura 19. Probabilidad de fracaso para reparar un fallo. 35
Figura 20. Probabilidad optimizada para reparar un fallo. 36
Figura 21. Gráficos de probabilidad de fracaso. 36
Figura 22. Gráfico tratamiento nominal División Andina 37
Figura 23. Flota de operación mina Sur Sur División Andina. 37
Figura 24. Gráfico costo hora hombre. 37
Figura 25. Proyección de destrucción del negocio por hora. 38
Figura 26. Pantalla de inicio SIRF. 42
Figura 27. Modos de fallo SIRF. 42
Figura 28. Pantalla falla en nivel hidráulico SIRF. 43
Figura 29. Página 32 set de planos huinche Don Luis. 43
Figura 30. Gráfico de fallas por mes periodo 2011 - 2021. 44
Figura 31. Gráfico disponibilidad huinche Don Luis periodo 2011 - 2021 44
Figura 32. Tiempos de reparación huinche Don Luis periodo 2011 - 2021. 44
Figura 33. Gráfico proyección destrucción del negocio en 24 horas. 45
Figura 34. Anexo 1 plano isométrico mina Rio Blanco División Andina. 49
Figura 35. Anexo 2 tabla fallas por mes periodo 2011 - 2020. 50

Figura 36. Anexo 3 análisis de modo efecto y falla huinche Don Luis. 50
Figura 37. Anexo 4 cuadro de alertas División Andina. 51
Figura 38. Anexo 5 técnicas de evaluación de confiabilidad humana. 51

INTRODUCCIÓN

El huinche Don Luis, es un activo de División Andina, el cual tiene como objetivo trasladar personal y materiales a través de un pique de servicio con una extensión total de 500 metros verticales. En los niveles intermedios cuentan con instalaciones de servicios de agua industrial, aire comprimido y de inspección de los piques de traspaso que son alimentados con mineral desde la mina rajo hacia el chancador primario Don Luis que se encuentra en instalaciones subterráneas ubicadas en el nivel 18 de la mina Rio Blanco de Codelco Chile División Andina.

El evento de fallo imprevisto siempre estará presente, por ello, se debe contar con una herramienta que ayude en la toma de decisiones del mantenedor encargado de resolver el fallo, recomendando las actividades para detectar la causa origen, con el fin de reestablecer el funcionamiento del activo en el menor tiempo posible.

La problemática planteada en este activo es el tiempo de reparación de una falla, que en algunos casos se han extendido hasta en 72 horas, estas fallas se agravan más cuando este activo debe servir también para el traslado de personal de la mina rajo, cuando por condiciones meteorológicas, condiciones de camino cerrado o emergencia operacional se deba realizar el traslado de personal de la mina rajo por interior mina subterránea, provocando retrasos en los cambios de turno, costos por paralización de la producción de la mina rajo, costos por indisponibilidad de este activo o simplemente dejar aislados al personal que opera en superficie.

Entonces, para reparar una falla en el huinche Don Luis:

¿El tiempo que se ha ocupado para despejar el fallo es el que se requiere?
¿El personal cuenta con las competencias técnicas para resolver fallas en este activo?
¿Existen otros factores que influyen en el tiempo requerido para solucionar el fallo?

De esta manera, se utilizará la metodología HEART de confiabilidad humana, que establece parámetros de evaluación a través de tareas genéricas aplicables a cualquier activo y con ello se proponen planes de acción para reducir o eliminar las brechas en el personal que ejecuta las tareas de mantenimiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la probabilidad de fracaso en la tarea de reparación de una falla, mediante la metodología HEART, optimizando así la confiabilidad humana en la tarea de reparación de un fallo en el huinche Don Luis.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un diagnóstico de la condición actual del huinche Don Luis, por medio de visita y auditoría interna reconociendo las fallas ocurridas entre los años 2011 y 2020.

Analizar las fallas ocurridas en el huinche Don Luis, mediante la información obtenida del libro de novedades, clasificando las fallas ocurridas en el huinche Don Luis entre los años 2011 y 2020.

Elaborar un procedimiento de reparación de fallas para el huinche Don Luis, mediante el desarrollo e implementación del software SIRF, mejorando así los tiempos de reparación de la falla.

CAPITULO 1 AUDITORÍA INTERNA SISTEMA HUINCHE DON LUIS

CAPITULO 1: AUDITORÍA INTERNA SISTEMA HUINCHE DON LUIS

1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

Codelco Chile División Andina desarrolla sus actividades entre las cotas 3.070 y 4.200 metros sobre el nivel del mar en la cordillera de los Andes, región de Valparaíso, Chile.

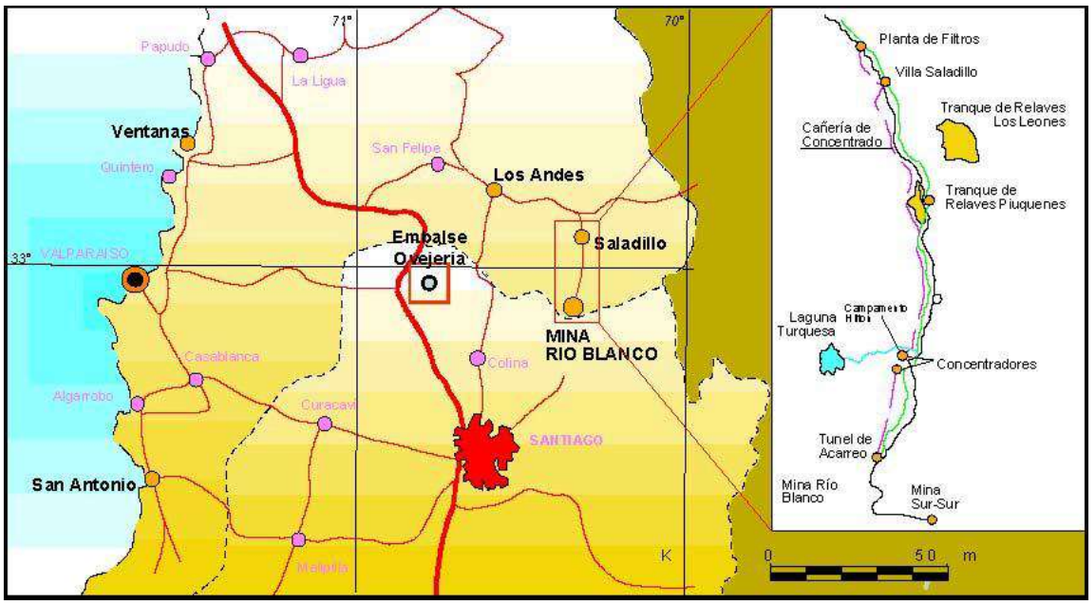
Desde la ciudad de Los Andes el acceso a sus instalaciones se efectúa en un primer tramo de treinta y cuatro kilómetros por el camino internacional CH 60 que une Chile con Argentina, luego continúa cuatro kilómetros desde el sector Rio Blanco hasta el campamento Saladillo. A treinta y seis kilómetros al sur se accede a la mina subterránea y avanzando dos kilómetros a la mina rajo Sur-Sur.

La División Andina produce concentrado de Cobre y concentrado de Molibdeno encontrándose en la actualidad en una etapa de transformación y modernización de sus procesos para pasar de un proceso de extracción mixto a uno full rajo, con una producción en el año 2020 de 184.437 toneladas métricas de Cobre fino.

La mina subterránea Rio Blanco proyecta el cierre de sus operaciones el año 2024, junto con el agotamiento del tercer panel que comenzó su explotación el año 1995 y sus límites de extracción se definieron en las cotas bases 3.233 y 3.208 sobre el nivel del mar (ver anexo 1).

La misión de Codelco Chile División Andina es maximizar, de manera competitiva y sustentable el valor económico de la empresa y su aporte al estado de Chile en el largo plazo, a través de la explotación de Cobre.

La visión de Codelco Chile División Andina es realizar nuestro trabajo con altos estándares de salud ocupacional y seguridad, siendo efectivos y eficientes en generar las mejores condiciones de seguridad y salud ocupacional, para todos los trabajadores de Codelco División Andina, propios y contratistas.



Fuente: www.codelco.com

Figura 1. Ubicación División Andina

1.2 ANTECEDENTES GENERALES HUINCHE DON LUIS

Un huinche, es un dispositivo electrohidráulico utilizado para arrastrar, levantar y/o desplazar objetos o grandes cargas.

El huinche Don Luis, se encuentra ubicado entre el nivel 8 y el nivel 18 de la mina subterránea Rio Blanco de Codelco Chile División Andina, con un recorrido total de 500 metros verticales, cuenta con tableros de llamado en los niveles 18, 17, 15 ½, 13 ½, 11 ½ y 8. Este huinche opera en forma automática y posee un modo de funcionamiento denominado servicio de emergencia (manual), además tiene las siguientes características:

Huinche	Mono cable de fricción
Potencia instalada	336 KW
Tambor de fricción	Sobrecarga máxima de 25 kN
Diámetro del cable de acero	34 mm
Velocidad de desplazamiento máximo	4 m/s
Velocidad de desplazamiento manual	2 m/s
Diámetro de la polea de fricción	1.600 mm
Relación del reductor	31,5:1
Tracción total del cable	220 kN

El sistema de frenado principal del huinche Don Luis consiste en frenos de zapata radiales, accionados por dos generadores de fuerza comandados hidráulicamente y que actúan sobre la superficie de frenado de la polea motriz del huinche.

Según el fabricante está diseñado para frenar el triple de la carga máxima contemplada, es decir, 15.000 kilogramos.

El sistema de frenado másico está diseñado como freno de tambor que se acciona hidráulicamente y que actúa sobre la masa del acoplamiento entre el motor eléctrico de propulsión y el reductor hidráulico a fin de frenar los movimientos de inercia de las masas de la caja reductora.

Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Freno principal y freno másico

Estos sistemas de frenado son independientes entre sí y utilizan la presión hidráulica para liberar los frenos. Esto quiere decir que si no está operativo el circuito de máquina del huinche este no liberará los sistemas de freno.

La carga máxima de transporte del huinche Don Luis es de quince personas o 5.000 kilogramos de carga.

La tara del huinche Don Luis es de 5.600 kilogramos.

Fuente. Elaboración propia.

Figura 3. Jaula Don Luis.

El huinche Don Luis, en cada estación, cuenta con un tablero de llamada el cual está integrado por luces piloto de señalización, indicador de piso, botones pulsadores y selectores de llave. Además, dispone de un equipo de intercomunicación enlazado con las demás estaciones de parada, cada uno de los componentes antes mencionado, se encuentra identificado.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Tablero de llamados.

El tablero de destino se encuentra ubicado en el interior huinche, este tablero tiene como función indicar y seleccionar pulsando el botón de destino el viaje hasta la estación de parada.

El tablero cuenta entre sus componentes principales con luces piloto de señalización, botones pulsadores, indicador de estación de parada, intercomunicador y parada de emergencia.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Tablero de destinos.

Los pupitres de operación del huinche Don Luis, se encuentran ubicados en el nivel 17 de la mina subterránea Rio Blanco, en el sector barrio cívico, sala de comité de emergencia y en la sala de maquina ubicada en el nivel 8. Desde ellos se puede visualizar el estado operativo del equipo y borrar el estado de falla que ha quedado almacenado en la memoria del sistema de control, siempre y cuando esta haya sido superada. Además, posee un selector para cambiar el modo de operación del huinche, botoneras de encendido y apagado de servicios, parada de emergencia y un mando de accionamiento, para operar el equipo en modo manual.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Pupitre de operación.

Los modos de operación del huinche Don Luis son los siguientes.

Modo transporte de personas: Este modo de operación utiliza el huinche en forma automática, por medio del usuario, utilizando los tableros de llamada y destino.

Modo de servicio de emergencia: Este modo de operar el huinche, requiere de la manipulación del mando de accionamiento ubicado en el pupitre de la sala del comité de emergencia, el cual permite realizar los desplazamientos en forma manual, este modo también es utilizado para transportar cargas, previa coordinación con la unidad de infraestructura eléctrica mina subterránea para disponer de un operador huinche.

Modo de servicio de reparación: Este modo de operar el huinche, requiere de la manipulación del mando de accionamiento ubicado en el pupitre de la sala de maquina nivel 8, el cual permite realizar los desplazamientos en forma manual, el objetivo de este tipo de servicio es poder revisar la máquina, realizar mantenciones periódicas y eventualmente reparaciones a la instalación.

1.3 AUDITORÍA INTERNA SISTEMA HUINCHE DON LUIS

1.3.1 DATOS OBTENIDOS LIBRO DE NOVEDADES HUINCHE DON LUIS

Al analizar los datos obtenidos por el libro de novedades del huinche Don Luis, se aprecia que la cantidad total de fallas en el periodo de los años 2011 a 2020 son 245 fallas con un promedio de 24,5 fallas por año, lo que representa alrededor de 2 fallas en un mes, lo que es bajo en comparación con otros activos de la División.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Gráfico fallas ocurridas por año.

La problemática que presenta el huinche Don Luis se acentúa más en el periodo del 1 de mayo hasta el 30 de septiembre de cada año, por lo tanto, es apropiado analizar la cantidad de fallas por mes en el periodo 2011 a 2020 (ver anexo 2).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Gráfico fallas ocurridas por mes.

Se puede apreciar que la cantidad de fallas se concentran en su mayoría en el periodo mayo agosto de cada año, coincidiendo con el periodo de invierno definido por División Andina (ver anexo 4).

Sin embargo, se hace necesario analizar la cantidad de fallas ocurridas por cada circuito del sistema huinche Don Luis, en este caso para el circuito de maquina tiene un promedio de 1,7 fallas por año, el circuito de seguridad tiene 13,7 fallas en promedio y el circuito de salida con un promedio de 9,1 fallas por año. Con ello, se desprende que el circuito de seguridad es el que representa la mayor cantidad de fallas ocurridas en el huinche Don Luis.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Gráfico fallas por circuito.

Analizando el tiempo de reparación (TTR), se visualiza que este indicador se eleva en el circuito de seguridad, este circuito es el que tiene la mayor cantidad de dispositivos y es el enlace entre el circuito de maquina y circuito de salida.

El año 2020 solo hubo un evento de falla en el circuito de seguridad y este logró ser superado en 72 horas.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Gráfico tiempos de reparación.

1.3.2 CIRCUITOS QUE COMPONEN EL SISTEMA HUINCHE DON LUIS

1.3.2.1 CIRCUITO DE MAQUINA

El circuito de máquina del huinche Don Luis lo componen los siguientes elementos:

1. Motor eléctrico unidad hidráulica.
2. Bomba unidad hidráulica.
3. Ventiladores de refrigeración.
4. Calefactor aceite hidráulico.
5. Estanque aceite hidráulico.

La supervisión del circuito de máquina, chequea las condiciones básicas para la puesta en servicio del huinche, es decir, que se encuentren sin falla.

Las variables que intervienen en el circuito de maquina son:

1. Disyuntores.

2. Caída de tensión.
3. Falla nivel hidráulico.
4. Motor unidad hidráulica.

La desconexión del circuito de máquina, interfiere directamente en la desconexión del circuito de seguridad y salida.

1.3.2.2 CIRCUITO DE SEGURIDAD

El circuito de seguridad lo componen los siguientes elementos.

1. S7-400U S7-300U
2. Rollizo de pozo.
3. Acoplamiento de seguridad.
4. Freno abierto cerrado.
5. Desgaste de balatas freno principal.
6. Freno masa.
7. Resorte generadores 1 y 2.
8. Interruptor Finales de carrera superior
9. Interruptor Finales de carrera inferior.
10. Parada de emergencia pupitre.
11. Llaves de paso.
12. Revisión sensor 25%.
13. Control Parada de Emergencia.
14. Control de detención.
15. Control de retorno.
16. Control V-Max.
17. Freno servicio abierto.
18. Freno servicio aplicado.
19. Control de salto canal 1
20. Control de salto canal 2
21. Diferencia contador de pique 1+2.
22. Contactores Unidad hidráulica.
23. Relés circuito de seguridad.
24. Falla accionamiento.
25. ET200 maestro o esclavo.
26. Temperatura Motor CC

27. Supervisión circuito de máquina.
28. Control corriente de campo.
29. Control V-Max 25% superior.
30. Control V-Max 25% inferior.

Estas variables, por su criticidad, se conectan en forma directa, a pesar de la distancia física al gabinete ubicado en la sala de máquinas. Además, son monitoreadas en forma redundante vía relés de control y controladores lógicos programables (PLC), destinados a esta tarea. Uno de estos PLC (S7-300U) tiene como única tarea la de supervisar el estado del circuito principal que es el de frenado del huinche.

Fuente: Manual de instalación PLC Siemens.

Figura 11. PLC Siemens S7-300

La redundancia en la supervisión de estas variables de funcionamiento, es para dar cumplimento a las normas de seguridad del reglamento para instalaciones de extracción de pique y para los requerimientos técnicos a instalaciones de extracción de pique emanados por el decreto 34 que modificó el decreto 72 de 1985, que están contenidos en el decreto supremo 132 Reglamento de Seguridad Minera, en cuanto a la supervisión del sistema de frenado y circuito de seguridad de maquinaria destinada al transporte de personas.

1.3.2.3 CIRCUITO DE SALIDA

Las variables que componen este circuito, intervienen directamente en los sistemas de frenado del huiche másico y principal, interviniendo en la apertura o cierre de los generadores de fuerza de los sistemas de freno.

Estas variables son supervisadas en forma redundante, vía PLC y por alambrado duro y no tienen ninguna injerencia en el funcionamiento del circuito de seguridad, ni en la activación de la instalación o circuito de máquina.

Las supervisiones que intervienen en el circuito de salida:

1. Señales estaciones y huinche.
2. Sincronismo huinche.
3. Fuente 24 Volts corriente continua.
4. Parada de emergencia.
5. Sobrecarga en medición de carga.
6. Nivel de aceite mínimo.
7. Temperatura aceite hidráulico alto.
8. Temperatura aceite hidráulico bajo.
9. Presión de alivio en orden.
10. Hidráulica.
11. Control de electroválvulas de freno.
12. Proceso análogo FB motor corriente continua.
13. Proceso análogo FB temperatura hidráulica.
14. Proceso análogo FB presión de frenado.
15. Proceso análogo FB recorrido de pistón.
16. Proceso análogo FB nivel hidráulico.
17. Proceso análogo FB valor palanca de mando +B1.
18. Proceso análogo FB valor palanca de mando +F1.
19. Proceso análogo FB medición de carga.
20. Desgaste de balatas.
21. Sobre corriente motor enfriador 1
22. Sobre corriente motor enfriador 2
23. Control carbones motor principal.
24. Accionamiento listo.
25. Bloqueo puertas.

1.4 FALLOS DETECTADOS POR AUDITORÍA

1.4.1 FALLAS EN CIRCUITO DE MAQUINA

La función del circuito de maquina es alimentar con presión hidráulica a los sistemas de freno del huinche con una presión de 70 BAR.

Fallas auditadas:

Unidad hidráulica apagada, esta falla tiene un efecto en la operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar el estado de las conexiones eléctricas del motor.

Circuito de maquina no listo, esta falla tiene un efecto en la operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar el motivo de la operación de las protecciones eléctricas asociadas.

Sin energía, esta falla tiene un efecto en la operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar la alimentación de fuerza.

Nivel de hidráulico, esta falla tiene un efecto en la operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar el circuito hidráulico en busca de fugas y rellenar al nivel estipulado, que es de 330 litros de aceite hidráulico.

1.4.2 FALLAS EN CIRCUITO DE SEGURIDAD

La función del circuito de seguridad es controlar el correcto funcionamiento de los circuitos del huinche.

Fallas auditadas:

Circuito de seguridad no listo, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar la causa del apagado de emergencia.

Supervisión del sistema de seguridad, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar cableado, relés y módulos de salida de PLC.

Parada de emergencia pupitre, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es liberar el accionamiento pulsador y verificar los contactos.

Freno másico, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar el estado mecánico, actuación y fijación del freno y sensor.

Freno principal, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar el estado mecánico, actuación y fijación del freno y sensor.

Regulador no listo, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar el estado operativo del regulador.

Cilindro de freno, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es chequear el estado de ambos generadores de fuerza, ajuste de sensores y cableado.

1.4.3 FALLAS EN CIRCUITO DE SALIDA

La función del circuito de salida es verificar el correcto funcionamiento de los circuitos de maquina y de seguridad.

Fallas auditadas:

Desgaste de balatas, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es chequear el estado de balatas, realizar ajuste del vástago y calibrar el valor de recorrido de 3,1 mm en posición cerrada y 14 mm con freno abierto.

Límite superior excedido, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es realizar maniobras de rescate de huinche, acción de shuntear.

Límite inferior excedido, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es realizar maniobras de rescate de huinche, acción de shuntear.

Rollizo de pozo, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar la causa del atascamiento del huinche o contrapeso.

Interruptor de bloqueo, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche sin movimiento, la acción correctiva es revisar el accionamiento de las paradas de emergencias e interruptores de bloqueo de las estaciones de llamado y huinche.

Velocidad máxima, esta es una falla que tiene un efecto de operación del huinche con la activación de parada de emergencia, la acción correctiva es chequear el estado eléctrico y mecánico del interruptor centrífugo y taco análogo.

CAPITULO 2: CONFIABILIDAD HUMANA

CAPITULO 2 CONFIABILIDAD HUMANA

2.1 INTRODUCCIÓN

La confiabilidad humana se define como la capacidad de desempeño eficiente y eficaz de las personas en todos los procesos sin cometer errores derivados del actuar y conocimiento individual, durante su competencia laboral, en un entorno organizacional específico. Un sistema de confiabilidad humana se puede ver afectado por múltiples elementos que permiten optimizar los conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes con la finalidad de generar capital humano.

Fuente: Conferencia sudamericana de confiabilidad 2013.

Figura 12. Elementos de la confiabilidad humana.

Las acciones del mejoramiento de la confiabilidad humana buscan recuperar el valor del talento humano, aumentar sus competencias generales, sus saberes, su experiencia laboral, sus capacidades físicas y psicológicas, su condición laboral, optimizar las comunicaciones y el sentido de pertenencia en la organización. Si el personal desconoce la manera de realizar sus labores, no la puede ejecutar adecuadamente, por lo que sería necesario un facilitador externo obteniéndose la realización adecuada desde la primera vez y por siempre, con un enfoque de mejoramiento continuo para lograr la calidad total.

2.2 CAPITAL HUMANO

Las empresas deben tener como nivel estratégico, fomentar la formación y desarrollo del capital humano, acompañado de la motivación e incentivo necesario para que los miembros de la organización realicen su trabajo con agrado. Cada uno de los empleados debe tener la convicción que la empresa donde ejecutan sus labores es el lugar perfecto para su desarrollo profesional, alcanzar sus ideales y realizar sus sueños. Para

el logro de estas metas las organizaciones deben convertirse en un entorno de trabajo placentero, con áreas de descanso y recreación, con zonas para realizar algún deporte que generen satisfacción personal, camaradería, entendimiento, confianza y mejora de las relaciones sociales.

En la actual sociedad del conocimiento el activo esencial de las organizaciones es su potencial para generar nuevos conocimientos, habilidades, aptitudes, destrezas, que llevan a las actitudes de motivación, comportamiento, compromiso y conducta que benefician a las inteligencias múltiples de innovación, agilidad intelectual, inteligencia emocional e inteligencia social.

Con todos estos componentes se llega a un capital humano de alto valor que genera riqueza en la organización.

Fuente: Conferencia sudamericana de confiabilidad 2013.

Figura 13. Estrategias de la confiabilidad humana.

2.3 GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

La gestión del conocimiento es un proceso que provee el talento humano capacitado para realizar procesos industriales, esto es con el fin de relacionar los datos, la información y el conocimiento dentro de los integrantes de la organización.

2.4 FORMACIÓN POR COMPETENCIAS

La formación por competencias es el proceso en el cual la organización desarrolla planes para aumentar las habilidades, actitudes y destrezas de las personas en el nivel de ejecución de estas, es decir, se entregan herramientas para la ejecución de las tareas asignadas al personal, para que estos desarrollen sus labores de la forma más eficiente y

eficaz, desarrollando sus capacidades aumentando así el capital humano de las organizaciones.

2.5 GERENCIA DEL DESEMPEÑO

Es el estamento dentro de la organización que monitorea y evalúa el talento humano dentro de la organización durante la implementación y desarrollo de las tareas propuestas, con ello garantizar la generación de valor y establecer las acciones correctivas de manera proactiva.

2.6 TRABAJO EN EQUIPO

El trabajo en equipo es un conjunto de personas con diferentes habilidades y conocimientos que se potencian entre sí, se recomienda que estos equipos de trabajo no superen las 10 personas y deben formarse típicamente como muestra la siguiente figura.

Fuente: Conferencia sudamericana de confiabilidad 2013.

Figura 14. Formación de equipos de trabajo.

Estos roles se describen de la siguiente manera:

Operador: Proporciona la experiencia en cuanto al manejo y operación del equipo y sus procesos.
Facilitador: Asesor metodológico.
Diseñador: Proveer los elementos de diseño y operación de los procesos.
Especialistas: Expertos en áreas específicas.
Mantenedor: Entregan las experiencias de aprendizaje y reparación de los equipos.
Programador: Proporciona la visión global del proceso.

2.7 CULTURA DE LA CONFIABILIDAD HUMANA

La confiabilidad humana implica grandes cambios en una organización y también exige una cultura del desafío, en donde se cuestiona cada proceso administrativo, junto con un gerenciamiento efectivo de las comunicaciones y la responsabilidad del registro sistemático de la información.

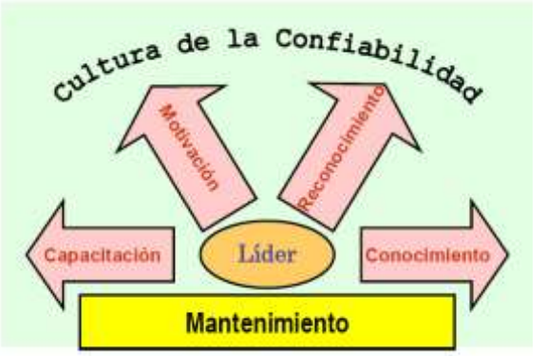
En los procesos de la confiabilidad humana se debe trabajar con un sistema simple no burocrático, debe existir un líder de confiabilidad del más alto nivel y de dedicación exclusiva. Los roles individuales deben ser conocidos por todos los integrantes de la organización, cuando no se consigan las metas, se deben decidir las acciones correctivas y ajustes necesarios y cada falla humana debe verse como una oportunidad de aprendizaje.

La formación del talento humano es de vital importancia, pues permite mejorar las aptitudes, habilidades, conocimientos y destrezas del personal, con ello se aumenta su autoestima y sentido de pertenencia dentro de la organización, en un ambiente colaborativo y de satisfacción personal.

Para lograr alta confiabilidad humana son esenciales los programas de capacitación y formación de habilidades. Si el personal desconoce cómo realizar una tarea, no las puede desempeñar. Esto parece simple y lo es, sin una adecuada capacitación el personal no desarrollará un nivel de conocimiento óptimo para realizar sus funciones, por lo tanto, dentro de la organización debe existir una buena política de desarrollo y capacitación del activo humano, colaborando con su desarrollo, impulsando y exigiendo altos niveles de desempeño, con ello generando oportunidades de participación y desarrollo dentro de la organización.

Con ello, generar una política de confiabilidad humana es esencial para la organización, establecer medidas y controles para que estas no se diluyan en el tiempo y lograr la retención del talento humano son los pilares fundamentales de esta política.

Algunos elementos básicos de una buena política para generar confiabilidad humana se representan en la siguiente figura.



Fuente: Conferencia sudamericana de confiabilidad 2013.

Figura 15. Elementos básicos de una política de confiabilidad.

El proveer la motivación al trabajador corresponde a la alta gerencia, todo plan, política, mejora, necesita ser bien planeado y administrado, para así tener un alcance razonablemente completo. Para implementar un programa de mejoramiento de la confiabilidad humana dentro de la organización con el fin de buscar donde están los errores y poder mejorar el desempeño del mantenedor el trabajo se debe enfocar desde estas perspectivas:

1. Aplicar las técnicas de confiabilidad que más se ajusten a la planta.
2. Desarrollar programas de seguridad industrial basados en el comportamiento humano.
3. Implementar las normas de seguridad y gestión ambiental que garanticen la calidad e integridad de los procesos productivos.

2.8 EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD HUMANA PARA LA REPARACIÓN DE UN FALLO EN HUINCHE DON LUIS

Según la definición de David Meister, autor del libro “Factores Humanos en la Confiabilidad”, la confiabilidad humana es la probabilidad de que un trabajo o tarea se ejecute de manera satisfactoria por el personal, dada una restricción de tiempo. A lo anterior no se menciona que componentes dentro del actuar personal influyen en la toma de decisiones que puedan llevar a que una tarea se realice en un tiempo mayor al planificado o simplemente no se realice la actividad. Así entonces, se proponen métodos de análisis de confiabilidad humana. Con ello, se ocupará la metodología de evaluación y reducción de error humano (HEART), ya que, esta se ajusta a la problemática presentada

por el huinche Don Luis, en donde se desea saber la probabilidad de fracaso de que la reparación del fallo se realice en un solo intento y sin supervisión.

Este método desarrollado por J.C Williams el año 1986, se basa en la teoría del comportamiento humano, que se propone cuantificar las probabilidades de error asociadas a interacciones interpersonales, sus tareas específicas y la configuración del rendimiento junto a factores humanos productores de errores relevantes.

Para el caso presentado, se evaluará la tarea de reparar falla de funcionamiento en huinche Don Luis. La configuración del sistema de funcionamiento del huinche nos indica que existen 3 circuitos los que son:

1. Circuito de máquina.
2. Circuito de seguridad.
3. Circuito de salida.

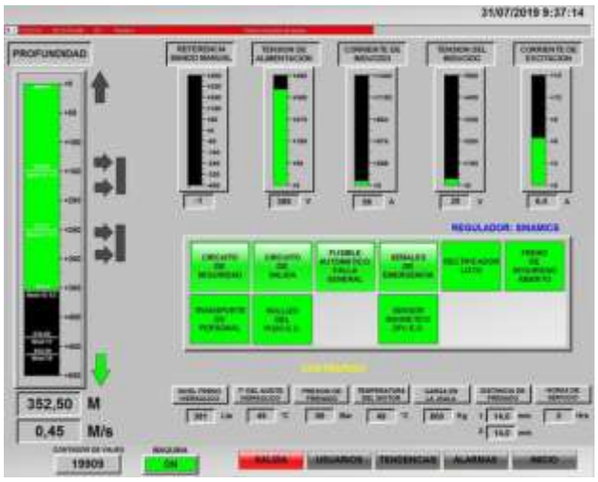
Estos circuitos detallados en el capítulo 1, están conectados en serie, es decir si uno o más circuitos presentan fallas el resultado lógico será 0, por lo tanto, el huinche no funcionará. Es válido evaluar la tarea de reparación de falla, ya que, el mantenedor asignado para la tarea, solo tiene certeza que el huinche no está funcionando y no sabe que componentes o circuitos están fuera de servicio.

El huinche Don Luis, cuenta con una interfaz gráfica que indica parámetros de funcionamiento y estado de operación de los circuitos, siendo difícil encontrar la causa raíz de la detención de la operación del huinche en caso de fallo, esta interfaz cuenta con un módulo de grabación de eventos de alarma, que alcanza hasta 1000 registros, sobre escribiendo el primer registro cuando se alcanza la capacidad máxima de grabación.

Los registros de alarma se consideran también los eventos que por operación son normales, como, por ejemplo, el evento de abrir puerta de huinche, este evento se considera alarma, ya que, no se permite desplazar el huinche si existe una puerta abierta, tanto en el costado de pique como interior jaula, pero esta se considera normal cuando se realiza esta operación estando el huinche detenido en una estación de llamado.

Los parámetros del motor eléctrico son solo de visualización y corresponden a las señales medidas a través del regulador de corriente del motor, las cuales están

conectadas por comunicación Profibus BP hacia el PLC principal y estas reenviadas a la interfaz gráfica dispuesta para ello.



Fuente: Sistema Siemens WIN-CC.

Figura 16. Pantalla principal HMI huinche Don Luis.

Para la estimación de la probabilidad de fracaso en la tarea de reparación de fallo en el huinche Don Luis, se cuenta con 2 tablas desarrolladas por J.C Williams en su teoría sobre comportamiento humano y la técnica de evaluación y reducción del error humano (HEART), esta metodología es simple y está basada en el esfuerzo requerido en las condiciones de ejecución y en sus factores de influencia.

Tarea genérica		La falta de confiabilidad nominal humana propuesta (límites entre percentil 5P-95P)
A	Completamente desconocido, realizado a gran velocidad sin una idea real de las posibles consecuencias	0,55 (0,35-0,97)
B	Cambio o restauración del sistema a un estado nuevo u original en un solo intento sin supervisión o procedimientos	0,26(0,14-0,42)
C	Tarea bastante simple realizada rápidamente o con poca atención	0,16(0,12-0,18)
D	Tarea compleja que requiere alto nivel de comprensión y habilidad	0,09(0,06-0,13)
E	Tarea rápida, altamente practicada y rápida que involucra un nivel relativamente bajo de habilidad	0,02(0,007-0,045)
F	Restauración o cambio de un sistema al estado original o nuevo siguiendo los procedimientos, con alguna comprobación	0,003(0,0008-0,007)
G	Una tarea rutinaria completamente familiar, bien diseñada y altamente practicada que ocurre varias veces por hora, realizada con los estándares más altos posibles por una persona altamente motivada, altamente capacitada y experimentada, totalmente consciente de las implicaciones de la falla, con tiempo para corregir el posible error, pero sin el beneficio de importantes ayudas laborales	0,0004(0,00008-0,009)
H	Responda correctamente al comando del sistema incluso cuando haya un sistema de supervisión aumentado o automatizado que proporcione una interpretación precisa de la etapa del sistema	0,00002(0,000006-0,000009)
M	Tarea miscelánea para la que no se puede encontrar una descripción. (Los diferenciales de datos del percentil 5 al 95 se eligieron sobre la base de la experiencia que sugiere una normalidad prolongada	0,03(0,008-0,11)

Fuente: Metodología HEART J.C Williams 1986.

Figura 17. Tabla de tareas genéricas metodología HEART.

Estas tareas desarrolladas por J.C Williams indican 9 tareas descritas entre las letras A y M, con un límite dentro de los percentiles quinto al nonagésimo quinto.

La tarea genérica A se define como una tarea completamente desconocida, realizada a gran velocidad sin una idea real de las posibles consecuencias. Esta, por ejemplo, para el huinche Don Luis, es la tarea de lubricar el cable de tracción.

La tarea genérica B se define como un cambio o restauración del sistema a un estado nuevo u original en un solo intento sin supervisión o procedimientos. Esta tarea se refiere que, en caso de fallo del huinche Don Luis, ¿Cómo el mantenedor actuará?

La tarea genérica C se define como una tarea simple realizada rápidamente. Ejemplo: verificar el funcionamiento de la bomba de fondo de pique del huinche Don Luis.

La tarea genérica D se define como una tarea compleja que requiere alto nivel de comprensión, para el huinche Don Luis sería el cambio del cable de tracción.

La tarea genérica E se define como una tarea rápida altamente practicada que requiere un nivel bajo de habilidad, esta tarea para el huinche Don Luis sería la inspección quincenal exigida por Sernageomin que cuenta con una pauta de inspección.

La tarea genérica F se define como un cambio o restauración del sistema a un estado nuevo u original en un solo intento con procedimientos. Esta tarea se refiere que, en caso de fallo, ¿Cómo el mantenedor actuará?

La tarea genérica G se define como una tarea completamente rutinaria y familiar, bien diseñada con una persona altamente motivada, capacitada y experimentada, totalmente consiente de las implicaciones de la falla, con tiempo para corregir el posible error, pero sin el beneficio de importantes ayudas laborales. Para este caso, sería el cambio de los rodillos guías del huinche Don Luis, realizada por personal de mantenimiento mecánico.

La tarea genérica H se define como responde correctamente al comando del sistema incluso cuando haya un sistema de supervisión automatizado que proporcione una interpretación precisa de la etapa del sistema. Esta tarea se refiere, por ejemplo, a cuando por condiciones operacionales se deba mover el huinche Don Luis en modo emergencia.

La tarea genérica M se define como una tarea miscelánea que no se puede encontrar una descripción.

EPCs		Cantidad nominal máxima prevista por la cual la falta de confiabilidad puede cambiar de condiciones desde "buena" hasta "mala"
1	Poca relación con una situación potencialmente importante, de poca frecuencia o que se presenta como novedad	x17
2	La escasez de tiempo disponible para la detección y corrección del error	x11
3	Baja relación señal /ruido	x10
4	un medio para suprimir o anular información o características que son demasiado accesibles	x9
5	no hay medios para transmitir información espacial y funcional a los operadores en una forma que pueda asimilar fácilmente	x8
6	Un desajuste entre el modelo del entorno de un operador y el imaginado por el diseñador	x8
7	No hay medios evidentes para revertir una acción involuntaria	x8
8	La sobrecarga de capacidad de canal, especialmente causada por la presentación simultánea de información no redundante	x6
9	La necesidad de desaprender una técnica y aplicar una que requiera la aplicación de una filosofía opuesta	x6
10	La necesidad de transferir conocimiento específico de una tarea a otra sin pérdida	x5.5
11	Ambigüedad del estándar de rendimiento	x5
12	Desfase entre el riesgo percibido y el real	x4
13	Retroalimentación del sistema pobre, ambigüa o desajustada	x4
14	No existe confirmación clara, directa y oportuna de una acción prevista de parte del sistema sobre la cual se ejercerá control	x3
15	Operario inexperto	x3
16	La calidad de la información se ve perjudicada por la transmisión mediante la interacción interpersonal	x3
17	No existe o es deficiente el chequeo independiente de las salidas del sistema	x2.5
18	Conflicto entre los objetivos de mediano y largo plazo	x2.5
19	Falta de diversidad en la información alimentada a los chequeos de veracidad	x2
20	El desajuste entre el nivel de logro educativo de un individuo y los requisitos de la tarea	x2
21	Incentivos para utilizar procedimientos alternativos que pueden ser más riesgosos	x1.8
22	Poca oportunidad para ejercitar la mente y el cuerpo por fuera del ámbito laboral	x1.6
23	Instrumentación no confiable	x1.6
24	La necesidad de realizar juicios absolutos, que superan las capacidades y experiencia del operario	x1.6
25	Asignación poco clara de las funciones y responsabilidades	x1.4
26	No es evidente el proceder para el seguimiento del progreso de una actividad	x1.4
27	Existe el riesgo de superar las capacidades físicas	x1.4
28	Poco o ningún significado intrínseco de una tarea	x1.3
29	Estrés emocional alto	x1.2
30	Evidencia de enfermedad entre los operarios (especialmente fiebre)	x1.2
31	Baja moral de la fuerza de trabajo	x1.2
32	Inconsistencia entre el significado de los displays y su procedimiento	x1.15
33	Un ambiente hostil (por debajo del 75% de salud o severidad que pone en riesgo la vida)	x1.1 por la primera media hora
34	Inactividad prolongada / actividad altamente repetitiva / tareas de baja carga de trabajo mental	x1.05 por cada hora posterior
35	Interrupción de los ciclos normales de sueño	x1.1
36	Estimulación de tareas causada por la intervención de otros	x1.06
37	Miembros adicionales del equipo, además de los necesarios, para realizar la tarea de manera normal y satisfactoria	x1.03 por cada persona adicional
38	Edad del personal que realiza tareas perceptivas	x1.02

Fuente: Metodología HEART J.C Williams 1986.

Figura 18. Tabla conductas productoras de errores EPC.

2.8.1 DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN

Existen varios estudios y metodologías de evaluación de la confiabilidad humana (ver anexo 5), sin embargo, la metodología que se ajusta más a la problemática planteada es HEART. Esta evaluación consta de 7 pasos y 2 tablas genéricas, que fueron desarrolladas por J.C Williams el año 1986 en su técnica de evaluación y reducción del error humano, que nos permitirá identificar las condiciones productoras de errores y así

reducir o eliminar estos a través de planes de acción de acuerdo a la condición causante del error.

Paso 1: Identificar la tarea a evaluar.

Nombre de la tarea: Fracaso para reparar falla de funcionamiento huinche Don Luis.

Paso 2: Clasificar la tarea.

La Clasificación se realiza según tabla de tareas genéricas, representada en la figura 17 que se adjunta con la técnica de evaluación y reducción del error humano.

Para este caso es B “cambio o restauración del sistema a un estado nuevo u original en un solo intento sin supervisión o procedimientos”.

Paso 3: Estimación por confiabilidad humana propuesta.

Según la tarea genérica clasificada, que en el caso B es de 0,26.

Paso 4: Condición de producción del error y multiplicador.

Esta condición se estima de acuerdo con la tabla representada en la figura 18 preestablecida por el autor, que es una cantidad predicha por la cual falta confiabilidad, para esta evaluación se estimaron las siguientes causas.

Poca relación con una situación realmente importante, de poca frecuencia o que se presenta como novedad, con un multiplicador de 17.

La escasez de tiempo disponible para la detección y corrección del error, con un multiplicador de 11.

Retroalimentación del sistema pobre, ambigua o desajustada, con un multiplicador de 4.

Operario inexperto, con un multiplicador de 3.

La necesidad de realizar juicios absolutos, que superan las capacidades y experiencias de los usuarios, con un multiplicador de 1,6

Estrés emocional alto, con un multiplicador de 1,2.

Inconsistencia entre el significado de las pantallas y su procedimiento, con un multiplicador de 1,15.

Paso 5: Evaluación de proporción de efecto (EPC).

Se debe estimar el impacto sobre la tarea con cada uno de los multiplicadores identificados con un valor entre 0 y 1.

1. Impacto del primer multiplicador 0,5.

2. Impacto del segundo multiplicador 1.
3. Impacto del tercer multiplicador 0,1.
4. Impacto del cuarto multiplicador 0,01.
5. Impacto del quinto multiplicador 0,6.
6. Impacto del sexto multiplicador 0,6.
7. Impacto del séptimo multiplicador 0,5.

Paso 6: Evaluación del efecto:

Se utiliza la siguiente fórmula:

Efecto evaluado = ((Multiplicador -1) *x* Impacto) +1

Paso 7: Probabilidad de error humano:

Se debe multiplicar cada efecto evaluado y luego por la falta de confiabilidad de la tarea genérica.

PROBABILIDAD DE FRACASO PARA REPARAR FALLA HUINCHE DON LUIS							
Tarea	Tarea genérica	Falta de confiabilidad	EPCs	Multiplicador X	Proporción de efecto	Efecto evaluado	Probabilidad de fracaso
FRACASO PARA REPARAR FALLA DE FUNCIONAMIENTO HUINCHE DON LUIS	B	0,26	1	17	0,5	9	56%
			2	11	1	11	
			13	4	0,1	1,3	
			15	3	0,01	1,02	
			24	1,6	0,6	1,36	
			29	1,2	0,6	1,12	
			32	1,15	0,5	1,075	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Probabilidad de fracaso para reparar un fallo.

Realizando los cálculos respectivos, expresados en la figura 19 nos indica que existe una probabilidad de un 56% que el mantenedor, sin contar con un procedimiento para reparar una falla en el huinche Don Luis, no logre realizar la tarea. Sin embargo, con los mismos parámetros y solo cambiando la tarea genérica de B a F, es decir, “cambio o restauración del sistema a un estado nuevo u original en un solo intento con procedimientos”, que en términos simples significa que el mantenedor cuenta con un procedimiento para realizar la tarea, se obtiene un resultado de un 1% de probabilidad que el mantenedor no logre reparar la falla en el huinche Don Luis, esto quiere decir que, si se cuenta con un procedimiento para reparar un evento de fallo en el huinche Don Luis, habrá una posibilidad de un 99% que el mantenedor logre poner en servicio el huinche nuevamente. Por ello, según estos resultados, se hace necesario dentro de la organización contar con un procedimiento de reparación de fallas para el huinche Don Luis.

PROBABILIDAD DE FRACASO PARA REPARAR FALLA HUINCHE DON LUIS							
Tarea	Tarea genérica	Falta de confiabilidad	EPCs	Multiplicador X	Proporción de efecto	Efecto evaluado	Probabilidad de fracaso
FRACASO PARA REPARAR FALLA DE FUNCIONAMIENTO HUINCHE DON LUIS	F	0,003	1	17	0,5	9	1%
			2	11	1	11	
			13	4	0,1	1,3	
			15	3	0,01	1,02	
			24	1,6	0,6	1,36	
			29	1,2	0,6	1,12	
			32	1,15	0,5	1,075	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Probabilidad optimizada para reparar un fallo.

Fuente: Elaboración propia.

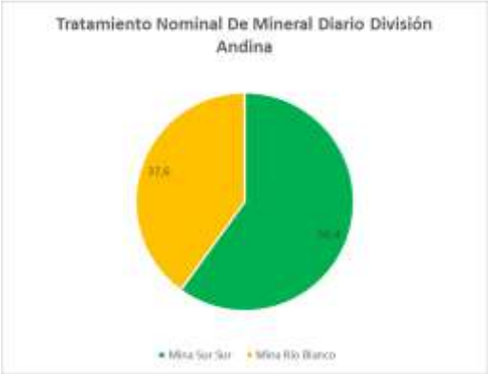
Figura 21. Gráficos de probabilidad de fracaso.

2.9 COSTOS POR INDISPONIBILIDAD DE HUINCHE DON LUIS

División Andina en la actualidad realiza sus operaciones de extracción de Cobre, a través de una operación mixta subterránea y a cielo abierto. En condición de camino cerrado por mal tiempo o emergencia operacional, para el acceso a las operaciones de cielo abierto, se contempla el tránsito por interior mina subterránea, para la evacuación o cambio de turno del personal que labora en mina rajo, esta vía de acceso a las operaciones a cielo abierto, se realizan a través del huinche Don Luis, que tiene conexión entre el nivel 18 de la mina subterránea y el nivel 8 superficie mina rajo.

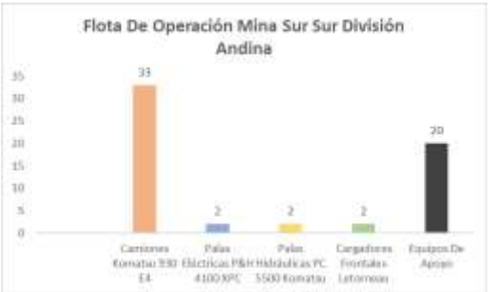
Como medida de precaución, se establece que un mantenedor eléctrico electrónico debe permanecer en el nivel 8 a fin de resguardar las instalaciones eléctricas y huinche Don Luis en periodo de invierno definido por División Andina entre el 01 de mayo y 30 de septiembre de cada año, cuando la dirección de emergencias y vulnerabilidades decrete alerta 1 (ver anexo 4).

El tratamiento nominal de mineral de División Andina es de 94 KTPD, de las cuales el 60% del mineral lo aporta la mina rajo Sur Sur y el 40% restante la mina subterránea Rio Blanco.



Fuente: Gerencia de Minas División Andina.

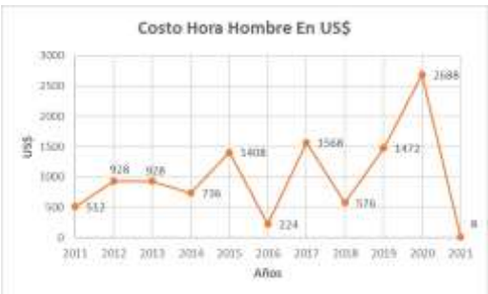
Figura 22. Gráfico tratamiento nominal División Andina



Fuente: Superintendencia Mantención mina Sur Sur.

Figura 23. Flota de operación mina Sur Sur División Andina.

El costo por horas hombre es de 32 dólares por hora, este indicador es relevante para determinar los gastos de indisponibilidad totales por la detención del huinche Don Luis.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Gráfico costo hora hombre.

El evento ocurrido el año 2020, en donde el huinche Don Luis estuvo detenido por 72 horas el costo por hora hombre ascendió a la cantidad de US$ 2.688 dólares.

Para proyectar los costos por indisponibilidad del huinche Don Luis, en condición de camino cerrado o emergencia operacional se consideró el valor de la libra de Cobre a junio de 2021, aporte nominal de mineral de la mina rajo y la producción de Cobre del año 2020.

En caso de falla del huinche Don Luis y que se necesite realizar el cambio de turno por interior mina subterránea, por cada hora de detención de este activo, habrá una pérdida de US$ 114.660 dólares, que por cada 24 horas alcanzaría a US$ 2.751.840 dólares.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Proyección de destrucción del negocio por hora.

CAPITULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA INFORMÁTICO DE RESPUESTA A LA FALLA

CAPITULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA INFORMÁTICO DE RESPUESTA A LA FALLA

3.1 ESTUDIO

Todos los seres humanos están sujetos a cometer errores, entonces ¿Qué hacer para evitar equivocarse? Los procesos de capacitación, entrenamiento y fortalecimiento de habilidades técnicas, buscan minimizar los riesgos de errores humanos y esto constituye uno de los objetivos de la confiabilidad humana. Con ello, según lo expuesto en el libro "El cerebro del mantenedor", de Víctor Barrientos Boccardo, el cerebro y su percepción del mundo, en algunas ocasiones, realiza alteraciones en el procesamiento de la información, cometiendo juicios errados, haciendo interpretaciones incoherentes e ilógicas. Todo esto es parte de lo que se conoce como sesgos cognitivos, que son formas de pensar inconscientes que derivan de la evolución de millones de años de nuestro cerebro.

En el capítulo 2 se desarrolló el tema de confiabilidad humana, como un estamento de gran importancia dentro de una organización y la evaluación para la reparación de un fallo en el huinche Don Luis. El resultado obtenido por medio de la metodología HEART indicó que se debía contar con un procedimiento para la reparación de fallos con el fin de obtener una probabilidad de un 1% de fracaso en la tarea de despejar la falla. Además, los resultados de costos por indisponibilidad del huinche Don Luis, en caso de camino cerrado o emergencia operacional son considerables.

Con estos antecedentes se hace necesario contar con un procedimiento de reparación de fallos, para ello se auditó el libro de novedades del huinche Don Luis y se analizaron las fallas producidas durante el periodo del año 2011 hasta el año 2020 que están contenidas en el capítulo 1 de este escrito y son la base para el desarrollo de los planes de acción pertinentes para reducir las posibilidades de fracaso en la tarea de reparación de un fallo en el huinche Don Luis, aprendiendo de las fallas del pasado y que según lo estudiado están presenten en su mayor medida en el circuito de seguridad, esto es congruente, ya que, este circuito es el nexo entre el circuito de maquina y circuito de seguridad.

3.2 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN SISTEMA INFORMÁTICO DE RESPUESTA A LA FALLA

Los errores humanos son debidos principalmente a la falta de conocimiento, lógica o razonamiento para enfrentar una tarea y las capacidades para ejecutar las tareas dependen del estrés, de las condiciones ambientales y sociales y de cuan este motivado el mantenedor para realizar la tarea. Entonces, ¿Es posible reducir o eliminar estos factores?

El Sistema Informático de Respuesta a la Falla SIRF nace como respuesta a los resultados obtenidos mediante la técnica de evaluación y reducción del error humano, que arrojó que al no contar con un procedimiento de reparación de un fallo en el huinche Don Luis la probabilidad de fracaso de realizar la tarea de reparación de una falla es de un 56%.

Por lo tanto, es relevante realizar los planes de acción que lleven a disminuir este nivel de probabilidad de fracaso y además de contar con una herramienta de apoyo para reducir el tiempo de reparación de la falla (ver anexo 3), evitar o disminuir los sesgos cognitivos del mantenedor, optimizar la confiabilidad humana y con ello mejorar el tiempo de reparación de la misma.

SIRF es un software desarrollado en lenguaje C# a 64 bits, bajo sistema operativo Windows, no obstante, se puede compilar para operar con distintos sistemas operativos como Android, IOS, Linux, etcétera.

SIRF cuenta con una interfaz simple que indica los diferentes fallos auditados y estudiados para establecer su respectiva solución (ver anexo 3).

SIRF cuenta con la integración dentro de su programación con los planos digitalizados en formato PDF del huinche Don Luis, SIRF solo necesita que en el ordenador en el cual está instalado posea un programa lector de archivos PDF y no necesita conexión a Internet, con lo cual hace que SIRF sea una herramienta útil y transportable.

SIRF cuenta con la aprobación de la Superintendencia de Mantención Mina Subterránea de División Andina de Codelco Chile y se encuentra instalado en los ordenadores HMI del huinche Don Luis, con ello, se cuenta con una herramienta para la detección y reparación de fallos.

SIRF se puede modificar, actualizar y agregar más activos en operación, con el fin de apoyar la solución de fallos apoyando al mantenedor en la tarea de reparación de la falla.

Dentro del desarrollo de la programación de SIRF se agregaron fotografías de los componentes del huinche Don Luis, permitiendo el rápido reconocimiento y ubicación de estos.

3.3 INTERFAZ SIRF

La pantalla de inicio SIRF cuenta con advertencias de seguridad, un botón de inicio llamado “Huinche Don Luis” y un botón para salir de la aplicación.

Fuente: Software SIRF.

Figura 26. Pantalla de inicio SIRF.

Al hacer clic en el botón “Huinche Don Luis “se despliega el menú de selección de falla.

Fuente: Software SIRF

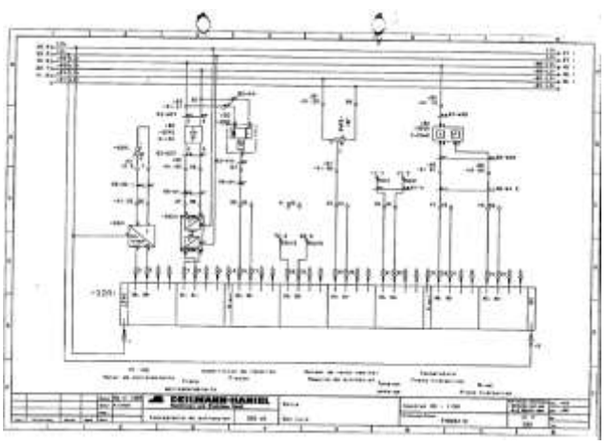
Figura 27. Modos de fallo SIRF.

Al seleccionar el botón de falla se despliega su respectiva explicación de la función del componente, ubicación, alambrado y las recomendaciones para solucionar el fallo, indicación de la página del plano en donde el componente está conectado, fotografía y la opción de “Ver Set De Planos “.

Fuente: Software SIRF.

Figura 28. Pantalla falla en nivel hidráulico SIRF.

Al seleccionar el botón “Ver Set De Planos “se abre automáticamente el lector de archivos PDF y el set de planos digitalizados.



Fuente: Planos huinche Deilmann Hanniel.

Figura 29. Página 32 set de planos huinche Don Luis.

3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El año 2021, en el periodo enero noviembre, sólo se registraron 7 fallas, estas fallas se presentaron en el circuito de seguridad que fueron despejadas en 15 minutos usando SIRF, a este tiempo se le debe sumar el traslado hacia las instalaciones de la sala de máquina que es de aproximadamente 90 minutos, por la coordinación que debe

realizarse para poder trasladar al personal de mantenimiento mina subterránea hacia superficie.

Fuente: Elaboración propia.

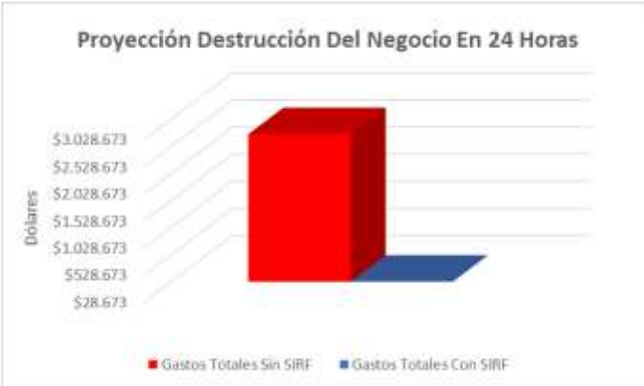
Figura 30. Gráfico de fallas por mes periodo 2011 - 2021.

Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Gráfico disponibilidad huinche Don Luis periodo 2011 - 2021

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Tiempos de reparación huinche Don Luis periodo 2011 - 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Gráfico proyección destrucción del negocio en 24 horas.

Es auspicioso que, durante el periodo de enero a noviembre de 2021, donde se utilizó SIRF el tiempo de reparación de la falla se redujo a sólo 15 minutos, aumentando así la disponibilidad del activo que hasta el mes de noviembre de 2021 se encuentra en el 99,99 %. El valor del software SIRF es de US$ 1.500 dólares, los costos proyectados en 24 horas sin utilizar SIRF serían de US$ 2.752.608 dólares y utilizando SIRF serían de US$ 28.673 dólares, esto significa una reducción de un 98,96% en costos por indisponibilidad y horas hombre. Con ello, se concluye que SIRF, es una herramienta de bajo costo, que disminuye los costos por destrucción del negocio y va en ayuda del mantenedor para solucionar la falla, estableciendo un procedimiento sistemático para resolver el evento de fallo, con una interfaz intuitiva y simple que permite una rápida solución.

3.5 RECOMENDACIONES

Considerando que el activo más importante de una organización son las personas y en función de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se formulan algunas sugerencias con el fin de aumentar la confiabilidad humana, la disponibilidad y la reducción de la destrucción del negocio de los diferentes activos de División Andina.

Para ello se hacen llegar las siguientes recomendaciones.

Se recomienda acudir al departamento de tecnologías de la información de Codelco Chile (TICA) con el fin de mejorar la portabilidad e instalación de SIRF, con los diferentes sistemas operativos existentes en el mercado.

Se sugiere que este sistema pueda ser replicado a otros activos, con el fin de optimizar la confiabilidad humana, disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los diferentes activos que posee División Andina, todo esto respaldado por los cálculos de proyección que arrojan un 98,96% de reducción de destrucción del negocio.

Además, se recomienda que se realice una interfaz de este software con el sistema SAP/R3, a fin de enriquecer el árbol de fallas contenido en SAP y con ello robustecer el sistema operativo de mantenimiento (SOMA) impulsado en Codelco Chile.

CONCLUSIONES

La confiabilidad humana, es una rama de la ingeniería de confiabilidad que permite evaluar los efectos de las desviaciones humanas, desde el punto de vista de seguridad, calidad y efectividad sobre los procesos productivos, con la finalidad de identificar las causas y establecer los planes de acción para eliminar o mitigar sus efectos.

Sin embargo, el evento de fallo no se puede eliminar por completo, pero si, se puede minimizar aplicando los procedimientos y mantenimientos adecuados para cada equipo.

Con la evaluación de la probabilidad de fracaso mediante la metodología HEART se estableció que, al no contar con un procedimiento para la reparación de fallos, el mantenedor encargado de reparar el fallo tiene una posibilidad de un 56% de fracaso, en cambio, contando con un procedimiento de reparación esta probabilidad es de sólo un 1%.

Realizando el diagnóstico de la situación actual del huinche Don Luis, se pudieron reconocer las fallas ocurridas contrastando con la información obtenida del libro de novedades, con ello y usando la metodología FMECA se pudo ordenar sistemáticamente los diferentes modos de fallo y su respectiva solución. Además, se pudo establecer una secuencia lógica para reparar los fallos, esto disminuye considerablemente las conductas productoras de errores del mantenedor vistas de la perspectiva de la interacción de las personas con el entorno o sistema, lo que se conoce como ergonomía cognitiva, en donde se establece una conciencia situacional dentro de los parámetros de entrenamiento, percepción y formación de cada mantenedor (sesgos cognitivos).

En cuanto a SIRF, se concluye que es una herramienta que reduce significativamente los sesgos cognitivos del mantenedor y con ello optimiza la confiabilidad humana para la reparación de un fallo, estableciendo un procedimiento sistemático para su reparación, que según lo estudiado reduce a solo a 1% la probabilidad que el mantenedor no logre cumplir con la tarea de reparar el fallo.

Finalmente, las diversas metodologías para evaluar y optimizar la confiabilidad humana buscan esencialmente recuperar el valor de las personas, como un motor de enriquecimiento dentro de una organización, en una sociedad cada vez más tecnificada y automatizada, se requiere que también sea más humana.

BIBLIOGRAFÍA

Planos cabrestante de extracción DEILMANN HANIEL, año 1997.

Biblioteca documental Codelco Chile División Andina.
htpps://portal.codelco.cl/sapportal.

Libro de novedades huinche Don Luis, Superintendencia Mantenimiento Mina Subterránea, Taller de Infraestructura Eléctrica, Codelco Chile División Andina.

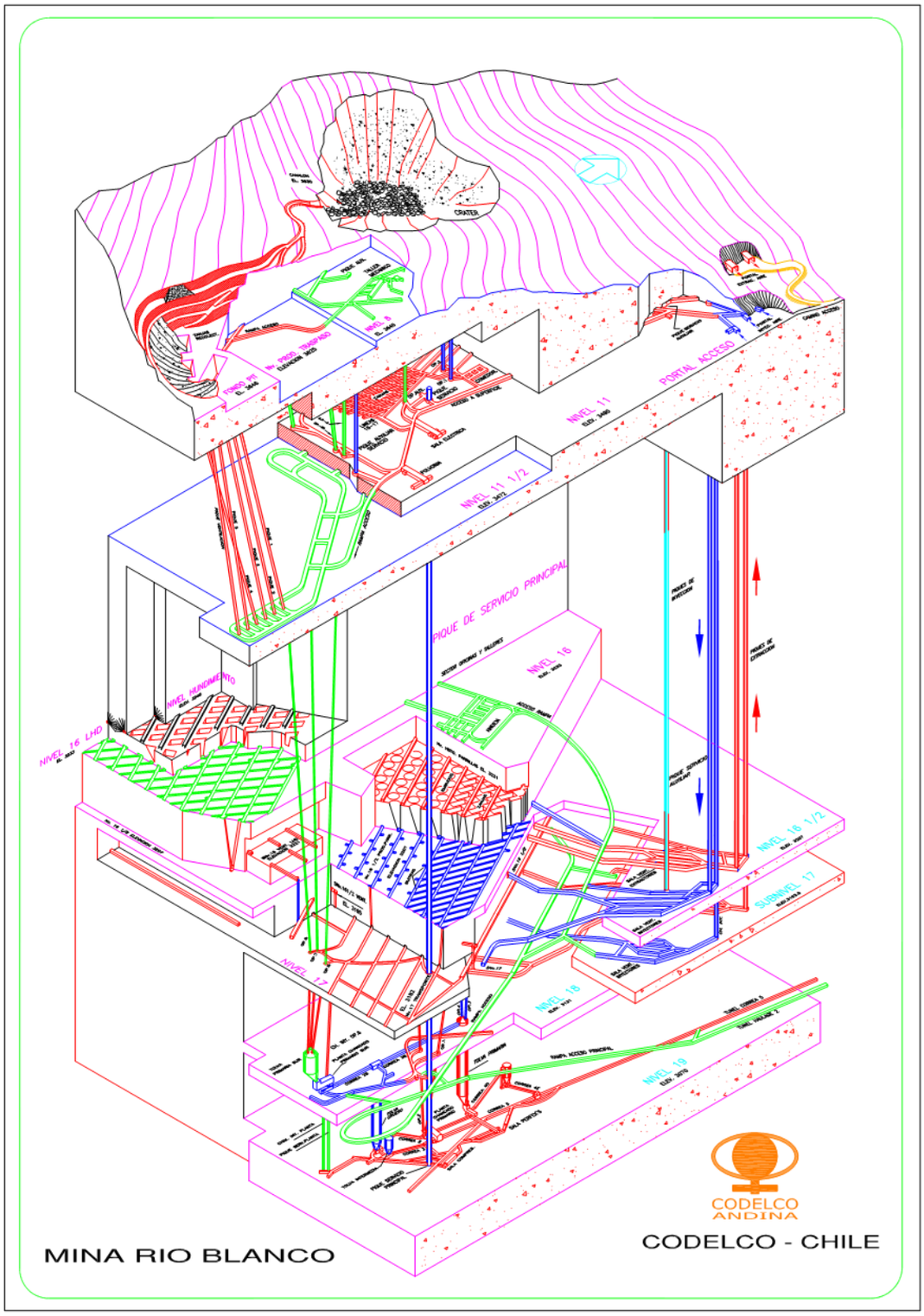
Víctor Barrientos Boccardo, “EL CEREBRO DEL MANTENEDOR”, año 2021.

J.C Williams, “UN MÉTODO PROPUESTO PARA EVALUAR EL ERROR HUMANO”, año 1986.

Proyecto “MODERNIZACIÓN HUINCHE DON LUIS”, oferta técnico comercial 3524-r02, Asinpro Ingeniería, año 2011.

Reglamento de Operación Invierno, Codelco Chile División Andina, año 2021.

ANEXOS



Fuente: Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo División Andina.

Figura 34. Anexo 1 plano isométrico mina Rio Blanco División Andina.

	Fallas Por Mes												
Años	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**	**Total**
2011	1	0	0	3	12	8	15	3	1	0	2	0	45
2012	0	0	0	1	4	6	8	8	0	0	2	1	30
2013	1	1	0	0	0	9	5	10	2	0	0	0	28
2014	5	0	0	0	3	3	0	8	1	0	0	0	20
2015	3	2	0	0	1	6	2	4	2	1	2	2	25
2016	0	0	0	0	0	5	7	3	0	0	0	0	15
2017	0	0	0	0	0	5	3	5	0	0	0	0	13
2018	5	0	3	0	3	2	1	8	2	0	1	2	27
2019	0	0	0	0	0	12	0	3	2	0	2	0	19
2020	2	3	3	0	1	5	0	7	0	0	0	2	23

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Anexo 2 tabla fallas por mes periodo 2011 - 2020.

ANÁLISIS MODO EFECTO DE FALLA HUNCHE DON LUIS

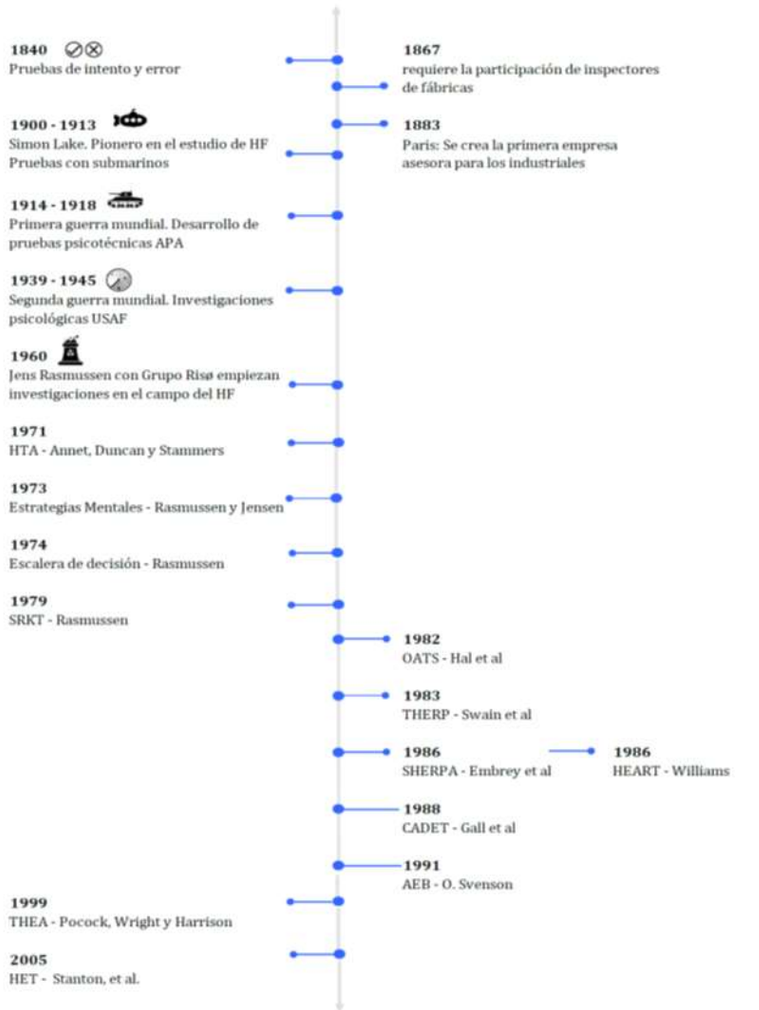
Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	Riesgo
CIRCUITO DE MAQUINA	1	ALIMENTAR CON PRESIÓN HIDRAULICA A LOS SISTEMAS DE FRENO DEL HUINCHE	1	NO ES CAPAZ DE ALIMENTAR CON UNA PRESIÓN DE 70 ATMOSFERAS AL SISTEMA	1	UNIDAD HIDRAULICA APAGADA	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					2	CIRCUITO DE MAQUINA NO LISTO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					3	SIN ENERGIA	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					4	NIVEL DE HIDRAULICO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
CIRCUITO DE SEGURIDAD	2	CONTROLAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LOS CIRCUITOS DEL HUINCHE	8	HUINCHE SIN MOVIMIENTO	1	CIRCUITO DE SEGURIDAD NO LISTO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					2	SUPERVISIÓN DEL SISTEMA DE SEGURIDAD	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					3	PARADA DE EMERGENCIA PUPITRE	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					4	FRENO PRIMARIO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					5	FRENO PROPORCIONAL	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					6	REGULADOR NO LISTO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					7	CILINDRO DE FRENO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
CIRCUITO DE SALIDA	3	VERIFICAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LOS CIRCUITOS DE MAQUINA Y SALIDA	1	DESCONEXION CIRCUITO DE SEGURIDAD	1	DESGASTE DE BALATAS	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					2	LIMITE SUPERIOR EXCEDIDO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					3	LIMITE INFERIOR EXCEDIDO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					4	ROLLERS DE POZO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					5	INTERRUPTOR DE BLOQUEO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
					6	VELOCIDAD MAXIMA	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Anexo 3 análisis de modo efecto y falla huinche Don Luis.

Fuente: Dirección de Emergencias y Vulnerabilidades División Andina.

Figura 37. Anexo 4 cuadro de alertas División Andina.



Fuente: Conferencia sudamericana de confiabilidad 2013.

Figura 38. Anexo 5 técnicas de evaluación de confiabilidad humana.