

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Análisis de fallas eléctricas en el Sistema de Control  
RCS que influyen en la disponibilidad y confiabilidad  
del jumbo empernador Boltec S en la unidad  
minera El Brocal-2020**

Roger Gregorio Gavilan Crispin

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

**ASESOR:**

Ing. César Quispe López

## **AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento principal es para Dios por darnos la sabiduría, buena salud, vida y fuerza para lograr este sueño tan anhelado.

Quisiera hacer manifiesto mi más profundo agradecimiento a mi alma mater, Universidad Continental, que me brindó los conocimientos para desempeñarme profesionalmente; así mismo, mi agradecimiento va para todos los catedráticos y a mis compañeros de estudio, todos comprometidos con el desarrollo del país.

También agradecemos, de manera especial, al decano de la facultad de Ingeniería de la Universidad Continental, el Dr. Felipe Gutarra Meza, y su invaluable contribución a la mejora de las ciencias de Ingeniería y su firme preocupación para producir en los estudiantes la curiosidad de la investigación científica y progreso de la Universidad.

Al Sr. asesor Ing. César Quispe López, por sus apropiadas indicaciones y orientaciones en el campo metodológico de la Ingeniería Eléctrica, quien con su habilidad y destrezas nos conduce por el camino exitoso de la investigación.

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme sabiduría e inteligencia en todo momento.

A mis queridos padres, Daniel y Agustina, pilares fundamentales de mi formación profesional, por su confianza y apoyo incondicional

A mis hermanos Ronald, Diana e Ismael por su invaluable apoyo, por la orientación que me brindaron para ir por el camino del bien a pesar de los momentos muy difíciles que pasamos, pero siempre estuvieron motivándome.

## RESUMEN

La presente tesis de investigación responde a un estudio realizado en la compañía de minas Buenaventura en la unidad minera El Brocal, ubicado en el departamento de Cerro de Pasco, provincia Daniel Alcides Carrión, en el distrito de Tinyahuarco. La minera se encuentra sobre los 4200 m s. n. m. y se ubica en la confluencia de los siguientes ejes: Latitud Sur: 12° 55' 25" y longitud: 74° 36' 18.

La influencia de la disponibilidad y confiabilidad del jumbo emperador Boltec S, en la producción de perforación y colocación de los pernos de sostenimiento, se realizó siguiendo la metodología de investigación básica y nivel descriptivo donde se analizaron las fallas eléctricas en el sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S a través de la metodología de Pareto, que propició la identificación de las fallas más recurrentes que ocasionan en el sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S de código EJE032.

Para llevar a cabo la investigación se realizó mediante datos históricos como el historial de fallas presentadas en el sistema de control RCS durante un año, el cual fortaleció la mejora del control histórico de las fallas suscitadas en el sistema de control RCS. Siendo la causa central que afecta la confiabilidad y disponibilidad del equipo, así mismo, afecta la producción.

El efecto final que resulta al examinar las fallas eléctricas del sistema de control RCS fue el incremento de la confiabilidad y disponibilidad del 82.66% a 90.50%, se consiguió disminuir el tiempo de mantenimiento que, de 4.71, se disminuyó a un 2.23 h/repación, esto porque no se contaba con una inspección eficaz de los dispositivos mecánicos y eléctricos, no había un mapeo de los componentes que producían las fallas, pero se fue mejorando con el estudio de fallas donde se identificó el origen de la falla que causaba las paradas no programadas; entonces, se pretende elevar la actividad sobre el 90% de confiabilidad y disponibilidad del jumbo emperador Boltec S.

**Palabras claves:** confiabilidad, disponibilidad, fallas, frecuencias, jumbo emperador, mantenibilidad, metodología, perforadora, sensores, sistema de control RCS

## ABSTRACT

This research thesis responds to a study carried out in the Buenaventura mining company in the El Brocal mining unit, located in the department of Cerro de Pasco, Daniel Alcides Carrión province, in the Tinyahuarco district. The mine is located at 4200 m s. n. m. and is located at the confluence of the following axes: South Latitude: 12 ° 55 '25" and Longitude: 74 ° 36 '18.

The influence of the availability and reliability of the Boltec S jumbo bolt on the production of drilling and placement of the support bolts, was carried out following the basic research methodology and descriptive level where electrical faults in the RCS control system of the Boltec S jumbo bolt through the Pareto methodology, which led to the identification of the most recurrent failures that cause the RCS control system of the Boltec S jumbo bolt with code EJE032.

To carry out the research, it was carried out using historical data such as the history of failures presented in the RCS control system for one year, which strengthened the improvement of the historical control of failures raised in the RCS control system. Being the central cause that affects the reliability and availability of the equipment, it also affects production.

The final effect that results when examining the electrical failures of the RCS control system was the increase in reliability and availability from 82.66% to 90.50%, it was possible to reduce the maintenance time that, from 4.71, was reduced to 2.23 h / repair This was because there was no effective inspection of the mechanical and electrical devices, there was no mapping of the components that produced the failures, but it was improved with the failure study where the origin of the failure that caused the stops was identified not scheduled; then, it is intended to raise the activity above 90% of reliability and availability of the Boltec S jumbo bolter.

**Keywords:** reliability, availability, failures, frequencies, bolter jumbo, maintainability, methodology, drill, sensors, RCS control system

# ÍNDICE

Asesor .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice.....	vii
Índice de figuras .....	x
Índice de tablas .....	xii
Índice de ecuaciones.....	xiii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>16</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1 Planteamiento del Problema .....	16
1.2 Formulación del Problema .....	17
1.2.1 Problema general .....	17
1.2.2 Problema Específicos .....	17
1.3 Objetivos .....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos: .....	18
1.4 Justificación e Importancia .....	18
1.4.1 Justificación Social .....	19
1.4.2 Justificación Técnica .....	19
1.4.3 Justificación Económica .....	19
1.5 Limitaciones .....	19
1.6 Identificación y Clasificación de las Variables.....	20
1.6.1 Variables Independientes .....	20
1.6.2 Variables Dependientes: .....	20
1.6.3 Operacionalización de las Variables.....	21
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>22</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1. Antecedentes .....	22
2.1.1. Nacionales.....	22
2.1.2. Internacionales.....	23
2.2. Teoría básica .....	23
2.2.1. Análisis de Falla .....	23
2.2.2. Falla.....	24
2.2.3. Causas de una Falla.....	24

2.2.4. Clasificación de Fallas.....	25
2.2.5. Etapas de un Análisis de Fallas .....	32
2.2.6. Principio de Pareto .....	33
2.2.7. Mantenibilidad .....	34
2.2.8. Confiabilidad.....	35
2.2.9. Disponibilidad .....	37
2.2.10. Equipo Jumbo Empernador Boltec S .....	38
2.2.11. RCS <i>Hardware</i> .....	42
2.2.12. Sensores del sistema .....	45
2.2.13. Sistema Hidráulico .....	49
2.2.14. Sistema Eléctrico de Potencia del Jumbo Empernador Boltec S ..	54
2.2.15. Protección del Sistema Eléctrico .....	55
2.3. Definiciones Conceptuales y Operacionales.....	57
2.3.1. Definiciones Conceptuales .....	57
2.3.2. Definiciones Operacionales .....	57
2.4. Hipótesis .....	58
2.4.1. Hipótesis General.....	58
2.4.2. Hipótesis Específicas .....	58
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>59</b>
<b>DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>59</b>
3.1. Método de Investigación .....	59
3.2. Tipo de Investigación .....	59
3.3. Nivel de Investigación .....	59
3.4. Diseño de la Investigación .....	60
3.5. Unidad de Observación .....	60
3.5.1. Caja Negra .....	61
3.5.2. Caja Blanca .....	61
3.6. Población y Muestra de la Investigación.....	61
3.6.1. Población.....	61
3.6.2. Muestra .....	61
3.7. Técnicas de Investigación.....	61
3.7.1. Técnicas e Instrumentos de Investigación.....	61
3.7.2. Técnicas de Procesamiento de Datos .....	62
3.8. Procedimientos .....	62

<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>64</b>
<b>ANÁLISIS DE FALLAS ELÉCTRICAS EN EL SISTEMA DE CONTROL RCS DEL JUMBO EMPERNADOR BOLTEC S.....</b>	<b>64</b>
4.1. Análisis Documental .....	64
4.1.1. Comunicación del Sensor.....	64
4.1.2. Señales del Sensor .....	66
4.1.3. Sensores .....	68
4.2. Análisis de los KPI del Equipo Jumbo Empernador Boltec S 2JE032.....	69
4.2.1. Disponibilidad .....	70
4.2.2. Confiabilidad.....	71
4.2.3. Mantenibilidad .....	71
4.3. Diagrama de Módulos I/O .....	72
4.3.1. Diagramas de RCS3.....	72
4.3.2. Diagramas de RCS4.....	75
4.4. Conexiones, Tipo de Conductores y Especificaciones de Estos.....	77
4.5. Prueba de hipótesis .....	79
4.5.1. Hipótesis General.....	79
4.5.2. Hipótesis Específicas .....	79
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>80</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>80</b>
5.1. Resultados de la Investigación .....	80
5.2. Análisis de los Resultados .....	81
5.3. Discusión de Resultados.....	83
5.3.1. Interpretación de los Resultados .....	83
5.3.2. Análisis de Disponibilidad y Confiabilidad .....	83
5.4. Aportes y Aplicaciones de los Resultados .....	85
Conclusiones.....	86
Recomendaciones.....	87
Lista de Referencias.....	88
Anexos .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. KPI de la flota de jumbos empernadores .....	17
Figura 2. Representación del esquema del diagrama de Pareto.....	34
Figura 3. Equipo jumbo empernador Boltec S Epiroc.....	38
Figura 4. Placa de jumbo empernador. ....	39
Figura 5. Módulos de control eléctrico del Boltec S Epiroc .....	42
Figura 6. Módulos de control eléctrico E/S Boltec S Epiroc .....	43
Figura 7. Pantalla principal.....	45
Figura 8. Niveles de acceso .....	46
Figura 9. Sensores de Presión .....	47
Figura 10. Sensor de temperatura.....	47
Figura 11. Sensores de Posición.....	48
Figura 12. Sensor de proximidad .....	48
Figura 13. Encoder.....	48
Figura 14. Sensor de ángulo .....	49
Figura 15. Grupo de bombas hidráulicas .....	50
Figura 16. Filtro hidráulico .....	51
Figura 17. Válvulas, sensores y tomas para prueba de presión - módulo delantero Boltec S. ....	52
Figura 18. Bomba de agua.....	54
Figura 19. Tablero eléctrico.....	55
Figura 20. Control de la protección contra sobrecarga.....	56
Figura 21. Brazo But 32 .....	56
Figura 22. Perforadora hidráulica.....	56
Figura 23. Cuadro de procesos del sistema de control del jumbo.....	61
Figura 24. Cuadro de procesos de intervenciones adecuadas .....	61
Figura 25. Señales del Sistema de Control de Equipo RCS. ....	64
Figura 26. Comunicación general con señal analógica. ....	65
Figura 27. Comunicación general con sensor analógico. ....	65
Figura 28. Entrada PNP de la señal del sensor.....	66
Figura 29. Entrada NPN de la señal del sensor. ....	66
Figura 30. Señal PWM modulación por ancho de pulso.....	67
Figura 31. Señal de entrada del Codificador. ....	67

Figura 32. Sensor de presión. ....	68
Figura 33. Grafica tensión vs. presión según el coeficiente. ....	68
Figura 34. Sensor de presión en desplazamiento. ....	69
Figura 35. Grafica de tensión vs. presión según el desplazamiento. ....	69
Figura 36. Puntos y conexiones módulo I/O D51. ....	72
Figura 37. Puntos y conexiones módulo I/O D511. ....	73
Figura 38. Puntos y conexiones módulo I/O D512. ....	73
Figura 39. Puntos y conexiones módulo I/O D513. ....	74
Figura 40. Puntos y conexiones módulo I/O D514. ....	74
Figura 41. Puntos y conexiones módulo I/O D510. ....	75
Figura 42. Puntos y conexiones módulo I/O D511. ....	75
Figura 43. Puntos y conexiones módulo I/O D512. ....	76
Figura 44. Puntos y conexiones módulo I/O D514. ....	76
Figura 45. Puntos y conexiones módulo I/O D513. ....	77
Figura 46. Disposición RCS 3 (RCS3 Layout).....	78
Figura 47. Disposición RCS 4 (RCS4 Layout).....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad de la flota de jumbos emperadores unidad minera El Brocal .....	17
Tabla 2. Aspectos por considerar para definir modos de fallo de un activo .....	26
Tabla 3. Aspectos por considerar para definir efectos de fallo de un activo.....	26
Tabla 4. Hoja de información de RCM .....	27
Tabla 5. Características y tipos de contactos.....	41
Tabla 6. Tabla de entradas analógicas .....	43
Tabla 7. Datos técnicos de bombas hidráulicas .....	50
Tabla 8. Tablero eléctrico A10.....	55
Tabla 9. Características de perforadora hidráulica.....	57
Tabla 10. Tabla de calibración para el sensor de nivel hidráulico .....	66
Tabla 11. Control de horas acumuladas de paradas y total programadas de trabajo .....	70
Tabla 12. Control de paradas del Boltec S 2JE032.....	71
Tabla 13. Control de horas de reparación .....	71
Tabla 14. Fallas eléctricas y tiempos de detenciones del equipo Boltec S 2JE032 .....	81
Tabla 15. Fallas eléctricas y tiempos de detenciones del equipo Boltec S 2JE032. ....	82
Tabla 16. Fallas eléctricas en sistema del equipo Boltec S 2JE032.....	83
Tabla 17. Fallas eléctricas en sistema del equipo Boltec S 2JE032.....	84
Tabla 18. Matriz de consistencia .....	91

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	34
Ecuación 2.....	36
Ecuación 3.....	37
Ecuación 4.....	57

## INTRODUCCIÓN

Los jumbo empernadores son equipos de perforación de mecanismos automatizados que sirven para mejorar y elevar la producción minera, logrando así aumentar el aprovechamiento de mineral en grandiosas cantidades, por lo que, es precisa su disponibilidad y confiabilidad en la compañía minera El Brocal.

Hoy en día, estos equipos son los más utilizados en el sostenimiento mecanizado en la minera El Brocal, sin embargo, en la actualidad, estos no están en condiciones óptimas de uso, esto es por las circunstancias laborales que repercuten bastante en el deterioro de los dispositivos eléctricos y mecánicos, así sucede con el jumbo empernador Boltec S de código 2JE032, que es un equipo de la escuadra de sostenimiento. Es por lo que se realiza la presente tesis, para conocer las fallas que presenta el equipo en mención, donde se identificó la parte crítica y son los dispositivos eléctricos del sistema de control RCS.

Todos estos aspectos mencionados, breve y organizadamente, se ha organizado así:

En el Capítulo I se encuentra el planteamiento del estudio, la formulación del problema, los objetivos, justificación, limitaciones y operacionalización de variables.

En el Capítulo II se encuentra el marco teórico, abordando los antecedentes nacionales e internacionales, las bases teóricas y el marco conceptual.

En el Capítulo III se presenta la metodología, el tipo de investigación, el diseño, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de datos.

En el Capítulo IV se desarrolló el análisis documental, en esta parte se presentan; la prueba de hipótesis donde se logra determinar que las fallas eléctricas en el sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S genera pérdidas en la producción de mineral, por lo que al disminuir estas fallas se logró aumentar la productividad, donde se custodian con: tablas, gráficos y diagramas del sistema RCS.

En el Capítulo V se presentan los resultados de la investigación, se discuten e interpretan a través del análisis de confiabilidad y disponibilidad, detallando los aportes y aplicaciones.

Al final, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

El autor.

# **CAPÍTULO I**

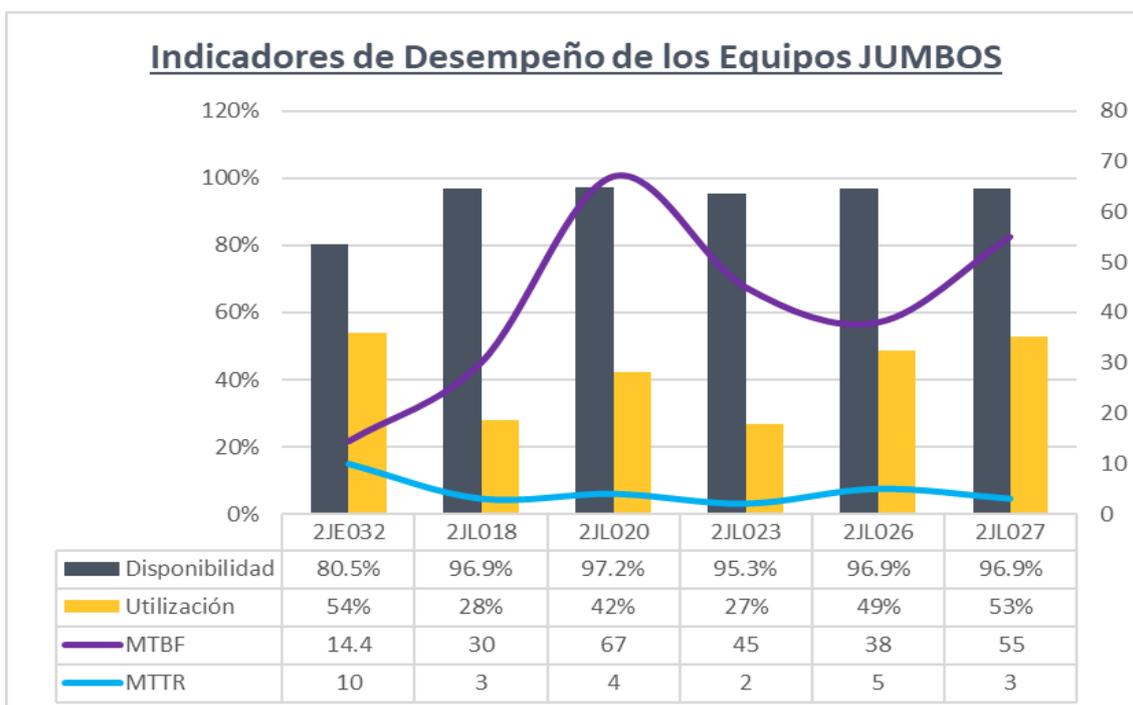
## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

La sociedad minera El Brocal es una empresa polimetálica, que produce, en gran escala zinc, plomo y plata a nivel nacional. Está catalogada como una de las principales productoras, gracias a la ley de sus factorías de mineral, por lo que es necesario contar con la disposición de equipos de acarreo, carga y, perforación, ya que, de otro modo, la producción se paralizaría. En este momento hay 6 jumbos de sostenimiento de toda la flota de los cuales hay 1 Boltec S de código 2JE032 con sistema de control RCS gobernados electrónicamente que trabajan en la unidad minera El Brocal, y se ha detectado que el Boltec S tiene una disponibilidad baja de 80.45%. Se ha determinado que la parte crítica es el sistema de control del equipo RCS, es por lo que se decidió hacer un estudio de fallas en este sistema del equipo; según los contratos en minería, debería ser como mínimo 85%, esta baja disponibilidad del equipo es generada por paradas repentinas de un aproximado de 7 horas por semana por fallas eléctricas y mecánicas del sistema de control RCS, perjudicando la producción, avance y grandes pérdidas a la minera.

**Tabla 1. Disponibilidad de jumbo empernador de la unidad minera El Brocal**

Flota	Código Interno	Disponibilidad	Utilización	MTBF	MTTR
BOLTEC S	2JE032	80.5%	54%	14.4	10
JUMBO	2JL018	96.9%	28%	30	3
JUMBO	2JL020	97.2%	42%	67	4
JUMBO	2JL023	95.3%	27%	45	2
JUMBO	2JL026	96.9%	49%	38	5
JUMBO	2JL027	96.9%	53%	55	3
PROMEDIO	SIMBA	94%	42%	42	5



**Figura 1. KPI de la flota de jumbos empernadores**

## 1.2 Formulación del Problema

### 1.2.1 Problema General

¿Cómo influyen las fallas eléctricas del sistema de control RCS en la disponibilidad y confiabilidad del jumbo empernador Boltec S 2JE032 en la empresa minera El Brocal?

### 1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo analizar las fallas eléctricas en cada subsistema que componen el sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S 2JE032 en la empresa minera El Brocal?

- ¿Cómo analizar la baja disponibilidad y confiabilidad del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal?
- ¿Cómo realizar un control adecuado de los componentes eléctricos del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar la influencia de las fallas eléctricas del sistema de control RCS que influyen en la disponibilidad y confiabilidad del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

- Analizar las fallas eléctricas en cada subsistema que componen el sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera el Brocal.
- Analizar la baja disponibilidad y confiabilidad del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal.
- Realizar un control adecuado de los componentes eléctricos del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal.

### **1.4 Justificación e Importancia**

La necesidad de realizar este proyecto fue por la observación de la baja disponibilidad y confiabilidad mecánica por la influencia de las fallas eléctricas del sistema de control RCS, ya que, en su mayoría, el funcionamiento de este sistema es desconocido por los técnicos, ello conlleva a mantenimientos desordenados.

La importancia de este proyecto es de identificar la influencia de las fallas eléctricas del sistema de control RCS que permiten reducir las paradas de la producción que viene generando el jumbo emperador Boltec S 2JE032.

#### **1.4.1 Justificación Social**

- Permitirá al lector o académico fortalecer sus conocimientos en el análisis de fallas eléctricas del sistemas de control RCS porque se desea disminuir las paradas repentinas del jumbo empernador Boltec S para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de este.
- La disminución de las fallas eléctricas brinda una mejor calidad de operación y producción en la unidad minera El Brocal.

#### **1.4.2 Justificación Técnica**

- La investigación tiene como fin contribuir a las empresas mineras que buscan mejorar la extracción de mineral mediante la máquina Boltec S 2JE032 para su mejor producción, minimizando el tiempo de operación, el costo de extracción y transporte en la mina y su puesta en funcionamiento mediante corriente alterna y corriente continua.
- Es un requerimiento de garantía en la continuidad de operación del jumbo empernador Boltec S en la unidad minera El Brocal.

#### **1.4.3 Justificación Económica**

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

- La contribución de manera significativa a la minera El Brocal la cual busca una mejora en su sistema de producción de mineral, permitiendo que el proceso de perforación del mineral se realice en menor tiempo mediante el buen funcionamiento de jumbo empernador Boltec S, esto le permitirá reducir las paradas de mantenimiento, tiempo de remolque como también del personal, todo esto se refleja en reducción de costos.
- El análisis de fallas eléctricas contribuye con la disponibilidad y confiabilidad del jumbo empernador Boltec S de la unidad minera El Brocal.

#### **1.5 Limitaciones**

Las principales limitaciones se relacionan con el insuficiente proceso de investigación respecto al análisis de fallas eléctricas en el sistema de control

RCS que influye en la disponibilidad y confiabilidad del jumbo empernador Boltec; en cuanto a lo económico, influyó la poca disponibilidad monetaria para conseguir los equipos de precisión digital (multímetro, amperímetro, osciloscopio) para lograr las comprobaciones oportunas de los dispositivos eléctricos.

## **1.6 Identificación y Clasificación de las Variables**

### **1.6.1 Variables Independientes**

- Sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S.

### **1.6.2 Variables Dependientes:**

- Disponibilidad mecánica
- Corrientes, potencias y tensiones, resultado del análisis de flujo de potencia.
- Pérdidas totales, resultado del análisis de flujo de potencia.

### 1.6.3 Operacionalización de las Variables

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Dimensiones de variables
Sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S.	“El sistema de control de los equipos de Atlas Copco, denominado RCS, iniciales en inglés de <i>Rig Control System</i> , se introdujo en el año 1998. Este sistema inicialmente lo incorporaban los equipos de perforación de frente (jumbo) por lo que representa el siguiente paso en la industria minera a partir del programa de automatización que llevó la perforación autónoma a una realidad sostenible”. (1)	Son las fallas principales del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas del sistema</li> <li>• Selectividad de equipos</li> <li>• Tiempo de actuación de dispositivos</li> <li>• Análisis de flujo de potencia</li> <li>• Análisis de cortocircuito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajuste de tiempos y magnitudes medidas para la correcta y oportuna actuación ante las fallas del sistema (h, s, min, m, etc.).</li> <li>• Consiste en seleccionar y ajustar los dispositivos de protección (V, kV, etc.).</li> <li>• Operación (selectividad) para distintas condiciones de falla (h, s, min, m, etc.).</li> </ul>
Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Dimensiones de variables
Disponibilidad mecánica	“Es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado”. (1)	Es una de las características más importantes que debe tener una máquina y se refiere a una cierta capacidad de operación que se debe suministrar para el buen funcionamiento del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia</li> <li>• Nivel de accionamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confiabilidad</li> <li>• Disponibilidad</li> </ul>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

Se revisaron diferentes tesis acerca del tema, para así obtener más información y ver los diferentes puntos de vista de distintas personas, a nivel nacional e internacional.

##### **2.1.1 Nacionales**

En la tesis **“Análisis de fallas en el brazo B26XLB del jumbo emperrador J0129YA en la unidad minera Andaychagua”**. (2) Se concluye que al analizar las fallas mecánicas utilizando el diagrama de Pareto se pudo identificar los componentes que presentan mayor desgaste en brazo del jumbo emperrador que son los pines y bocinas del brazo a causa de la falta de engrase. (2)

En la tesis **“Análisis de fallas en la maquinaria minera jumbo DPJ-029 en la empresa minera IESA S. A.”** (3) Se concluye que las fallas establecidas de mayor rango fueron el desgaste superficial y el trabamiento de elementos rodantes, desgaste de pines y bocinas, el boom, constantes fallas en sistema de perforación y avance de viga. (3)

En la tesis **“Diagnóstico de análisis de fallas en los equipos pesados de la gerencia de materiales de la empresa Orinoco Iron. S. C. S.”** (4) Se

concluye que mediante el análisis de fallas se determina que las fallas más frecuentes fueron los diferenciales desgastados, pérdida de presión en los cilindros hidráulicos y sellos internos desgastados. (4)

### **2.1.2. Internacionales**

En la tesis **“Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Interglobal INC”**. (5) Llegó a la conclusión: terminando el periodo de análisis del programa de mantenimiento preventivo se encuentra que en los 4 casos presentados se recuperó la capacidad operativa de los equipos, a la fecha ningún equipo presenta problemas crónicos que ponga en riesgo la seguridad del medio ambiente y su propia seguridad. (5)

En la tesis **“Diseño de un programa de mantenimiento preventivo a los equipos pesados de la empresa Centtracar”**. (6) Se llegó a la conclusión: el abandono general de un procedimiento de mantenimiento en la empresa Centtracar, trae como secuela que no se desarrolle organizadamente un régimen adecuado para el control de las mermas de tiempo por paros innecesarios, y así, someter el mantenimiento correctivo y el control de los costos de operación. (6)

Joy Global (7) incorporó a sus operaciones un nuevo Taller de Reparaciones, denominado **“Centro de Servicios Mineros Joy Global”** (CSM), ubicado en el sector de La Negra, Antofagasta”, cuya inversión superó los 30 MUS\$, permitiendo mejorar la capacidad de reparación de componentes estructurales, mecánicos y eléctricos de toda su línea de “productos para la minería”. Entre sus soluciones, “Joy Global” se especializa en proveer “equipos para minería de superficie y minería subterránea”. (7)

## **2.2. Teoría básica**

### **2.2.1. Análisis de Falla**

Como se anota en el Manual del Ingeniero de Mantenimiento, el estudio de falla es la compilación y acopio de información útil concerniente a las fallas acontecidas en los aparatos para utilizarla en estudios posteriores y, también,

para lograr analizar estadísticamente, conociendo así el actuar de las fallas que presentan los aparatos (equipo). (8)

### **2.2.2. Falla**

La falla sucede posterior o en pleno uso de los aparatos o sistemas, incumpliendo su cometido parcial o totalmente. La falla es la transformación de la posibilidad de acción del sistema, equipo o componente. Cuando sucede una falla, no se debe tomarla como si fuera una catástrofe (no necesariamente), ya que es factible de definirla como un posible grado de desvío de alguna particularidad de eficacia en relación a su coste nominativo". (8)

### **2.2.3. Causas de una Falla**

- Diseño inadecuado, selección del material deficiente
- Fallas de material, del proceso o de su elaboración
- Fallas en la prestación y en el acoplamiento
- Fallas en la inspección de eficacia, mantenimiento y resarcimiento de equipo
- Componentes circunstanciales (ambiente), excesos de carga

Usualmente, las fallas resultan de la existencia de una o más causas arriba mencionadas. (8)

#### **2.2.3.1. Deficiencia en el Diseño**

Existen algunas fallas que no se consideran apropiadamente en cuanto a los efectos de los entalles. Suele existir escaso discernimiento en el diseño, al no contar con indagación de información suficiente sobre las magnitudes y los tipos de cargas, sobre todo con segmentos complejos (poca información sobre los esfuerzos a los que se someten las partes).

#### **2.2.3.2. Deficiencias en la Selección del Material**

- Inexactitud en los datos del material (prueba de tracción, dureza)
- Uso de juicios equivocados en la elección del material
- Inadecuada jerarquización de valor, donde debe primar la calidad y no el costo del material.

#### **2.2.4. Clasificación de Fallas**

Se clasifican de la manera siguiente:

**Fallas tempranas:** suceden al inicio del funcionamiento del aparato, representan un porcentaje mínimo del total. Suelen ser ocasionadas por dificultades de material, diseño o acoplamiento. (8)

**Fallas adultas:** suceden frecuentemente en todo el proceso de vida activa del aparato. Se originan por las circunstancias de maniobra y se muestran poco a poco, a diferencia de las fallas tempranas (inmundicia de filtro de aire, permutas de rodamientos de máquina u otras formas). (8)

**Fallas tardías:** suelen aparecer al final de la vida útil del aparato, representando una mínima fracción del total, aparecen de manera lenta y casi imperceptiblemente (degradación al aislarse un motor eléctrico pequeño, merma de flujo refulgente de una lámpara u otras formas). (8)

##### **2.2.4.1. Los fallos funcionales**

Responder a las preguntas de la metodología RCM es indispensable, ya que la respuesta de la segunda pregunta procede de la primera, al instituir un esquema de maniobra de un activo, el fallo utilitario es la inobservancia a la función solicitada, ya que “una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario”. (9) En el caso que el activo siga marchando, de lo contrario, no se desempeña adecuadamente, considerándose un fallo utilitario. (16)

##### **2.2.4.2. Los modos de fallo**

Al suceder un fallo utilitario, se ha de identificar el origen del fallo, a la procedencia de este se le denomina “cualquier suceso que cause una falla funcional”. (9)

**Tabla 2. Aspectos para la definición de modos de fallo de un activo**

<b>Modos de fallo</b>
Identificar formas de fallos “posibles” que originen cada falla utilitaria.
El procedimiento usado compone un modo de falla “posible” que ha de ser admitido por quien corresponda en la cadena de mando o por el usuario del aparato.
Identificar las formas de falla por causalidad, haciendo posible la identificación de una capacidad de control de fallas adecuadamente.
Las listas de las formas de falla se han de contener como parte de las formas de falla que ocurrieron con anterioridad, también, los modos de falla prevenidos actualmente por la presencia de proyectos de mantenimiento y los modos de falla que todavía no ocurren, pero que pueden suceder (probables) en el contexto operacional.
Las listas de los modos de falla incluirán procesos probables de falla operacional, conteniendo avería, desperfecto de diseño, y errores humanos que causen los operadores (a menos que el error humano esté siendo activamente dirigido por un proceso analítico aparte del RCM).

**Tomada de Norma SAE (18)**

### **2.2.4.3. Los Efectos del Fallo**

Cuando se hayan identificado las formas de falla, se procede con la descripción de lo que ocurre al presentarse estas. No debe confundirse un efecto del fallo con las consecuencias que se generen. El efecto responde a la pregunta, “¿qué sucede cuando se presenta el modo de fallo?”, mientras que las consecuencias se refieren a “los efectos que el modo de fallo tiene en áreas como: operativa, económica, seguridad y medio ambiente”. (9)

**Tabla 3. Aspectos para la definición de efectos de fallo de un activo**

<b>Efecto de fallo</b>
Se procede con la descripción de lo que podría suceder si no se realiza actividad alguna para anticipar, prevenir o detectar la falla.
Incluyen información importante para adecuar la evaluación de los efectos de esta, tales como: a. ¿Qué evidencia (si existe alguna) que la falla ha ocurrido (en el caso de funciones ocultas, que podría pasar si ocurre una falla múltiple)? (18) b. ¿Qué hace (si ocurre algo) para matar o dañar a alguien, o para tener efectos adversos en el ambiente? (18) c. ¿Qué hace (si hace algo) para tener un efecto adverso en la producción o en las operaciones? (18) d. ¿Qué daño físico (si existe alguno) causa la falla? (18) e. ¿Qué (si existe algo) debe ser hecho para restaurar la función del sistema después de la falla? (18)

**Tomada de Norma SAE (18)**

Para recolectar información, la metodología RCM desarrolló un folio informativo, donde debe presentarse una sinopsis de funciones, fallos funcionales, modos de fallo, efectos y consecuencias. (18)

**Tabla 4. Hoja de información de RCM**

Hoja de Información RCM	Área		Sistema n°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
	Sistema		Subsistema n°	Auditor:	Fecha:	de
Función	Falla funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	A		1			
			2			
			:			
	B		1			
			2			
			:			
	C		1			
			:			
			n			
	D		1			
			2			
			:			
n						

**Tomada de Mantenimiento centrado en la confiabilidad (9)**

El folio de sucesos ayuda a instaurar un código de funcionamiento y lo que procede esto, por ejemplo: “el código 1A1, se refiere a la función número 1; A, se refiere al fallo funcional A de la función 1 y el tercer dígito, se refiere al modo de fallo 1 del fallo funcional A”. (10)

#### **2.2.4.4. Las consecuencias del fallo**

Los resultados de cada manera de fallo responden a la pregunta “¿de qué manera afecta cada fallo?, entonces las consecuencias son determinantes para el usuario o dueño para catalogar si los fallos son importantes o no”. (10)

Para ello, es obligatorio examinar dos aspectos:

1. Si es necesario desplegar acciones proactivas a favor de la reducción de los efectos: esto es, en lo concerniente a su periodicidad de suceso y severidad, luego, se reducirán las consecuencias, sobre todo si se refieren a efectos complicados para la seguridad humana, ambiental o económica. Existiendo la probabilidad de que los efectos se desplacen desde un fallo trivial o nimio; en ese caso lo mejor será un mantenimiento correctivo, dejando que el problema suceda y luego rectificar. (9)

2. Si las acciones proactivas son posibles de realizar de manera técnica: se investiga si es posible aplicar una tarea proactiva de manera física que ayude a reducir el efecto del problema a un nivel permitido por el usuario o dueño del bien.

Las consecuencias se deben categorizar de manera formal (18):

- Consecuencias inducidas por maneras ocultas o evidenciables.
- Consecuencias con efectos sobre la seguridad o el ambiente, tienen que ser notadas y diferenciadas de aquellas que solo sean económicas (consecuencias operacionales y no operacionales).
- La valoración de estos efectos se han de valorar como únicas, sin interferencia de otra tarea específica, esto, para anticipar, prevenir o detectar la falla.

#### **2.2.4.5. Funciones Evidentes y Consecuencias de un Fallo**

Una función evidente “es aquella cuya falla es inevitablemente evidente por sí misma para los operarios bajo circunstancias normales”. (11) Las funciones evidentes se catalogan en tres categorías y el nivel de ordenamiento es descendente. (9) (18)

1. **Consecuencias a la seguridad humana y medioambiental:** atenta contra la seguridad humana, cuando daña la integridad de un trabajador, incluida su muerte. En el área medioambiental es factible verificar si se ha omitido o pasado por alto alguna norma medioambiental corporativa, regional o nacional.
2. **Consecuencias operativas:** se ubican en segundo lugar, y son operativas si perturba la obtención de mineral o la operación en sí (provecho, eficacia del producto, asistencia al cliente, o coste operativo; además del coste directo de resarcimiento).
3. **Consecuencias no operativas:** no afecta ni a la seguridad, ni a la producción, solo repercute en el coste directo de remediación de equipo.

#### **2.2.4.6. Funciones Ocultas**

Una función oculta “es aquella cuya falla no será evidente a los operarios bajo circunstancias normales si esta se presenta por sí misma”, (9) corrientemente el fallo será cierto cuando suceda otro fallo, que demostrará la función oculta al mostrar un fallo asociado a esta función. Este tipo de función está unido a equipos de ayuda que, al poner en marcha, ocurre un fallo en el equipo al que resguarda. (9)

Los aparatos de protección ordinariamente son usados para:

- Avisar a los operadores de condiciones inauditas del equipo resguardado.
- Apagar el equipo en caso de fallo.
- Separar o aplacar las circunstancias anormales que prosiguen a un fallo y que podrían causar daños más serios.
- Substituir una función que falló.
- Advertir la aparición de circunstancias de riesgo.

#### **2.2.4.7. Selección de las Políticas de Manejo de Fallas**

Identificadas las funciones, formas de fallo y consecuencias; además de las secuelas de un fallo, el modo debe seguir con la selección de la política de manejo de fallas, tomando en cuenta los siguientes aspectos (18):

- La posibilidad eventual de algunos modos de fallo del equipo se acrecentará con el tiempo (o con la exposición al esfuerzo).
- La posibilidad eventual de que otros modos de fallo del equipo no cambiará con el tiempo.
- La posibilidad eventual de que otros modos de fallo del equipo tampoco decrecerán con el tiempo.
- Las tareas programadas, en su totalidad, deben ser factibles técnicamente, es decir, deben ser aplicables al equipo y que sean necesarias hacerlas, que sean seguras al tratar la causa del fallo.

- Se optará por la elección de la política que mejor se adapte al costo-efectividad, cuando dos o más políticas de manejo de fallas propuestas sean aplicables y efectivas técnicamente.
- La elección de las políticas de administración de fallas se desarrollará como si ninguna tarea específica se estuviese realizando en el presente, para anticipar, prevenir o detectar la falla del equipo.

#### **2.2.4.8. Política de Manejo de Fallas – Tareas Programadas**

Las tareas programadas, en su totalidad, cumplirán con los siguientes criterios (18):

- Si es que los efectos de una manera de fallo tienen consecuencias sobre la seguridad o el entorno ambiental, ha de plantearse tareas que mermen la posibilidad de suceso del modo de fallo, llegando a un nivel aceptable, según lo indique el propietario o usuario del bien.
- Si es que los efectos de una manera de fallo producen un modo de fallo variado, unido o incitado por un fallo oculto que afecte la seguridad y el entorno ambiental, planteando tareas de reducción de la posibilidad de suceso a un nivel que logre disminuir dicha posibilidad múltiple y asociada, llegando a un nivel aceptable, según lo indique el propietario o usuario del bien.
- En cuanto al modo de fallo sin efectos para la seguridad y el entorno ambiental, ha de verificarse los costos de la tarea propuesta, buscando que esté por debajo de los costos indirectos o directos al modo de fallo, siendo medidos en etapas comparables de tiempo, si fuese así, se aplica la tarea.
- Si no existiesen efectos para la seguridad y el entorno ambiental, al haber un modo de fallo oculto que provoque uno diverso y asociado; los costos indirectos o directos, de tales tareas planteadas, han de estar por debajo de los costos indirectos y directos de una falla diversa más los costos de resarcimiento del fallo oculto, medido en un tiempo comparable.

#### **2.2.4.9. Manejo de Fallas – Cambios una Vez y Operar hasta Fallar**

Se ha de notar que no existe efectividad permanente cuando se aplican las tareas programadas; entonces, se puede optar por un tipo de tarea diferente,

estipulado como parte de la política de fallo, refiriéndose al cambio del sistema o equipo, esta estrategia ha de contemplar los siguientes criterios (18):

- Si la falla estuviese oculta y la falla múltiple fuese asociada, además, posee efectos en la seguridad y en el entorno ambiental, ha de ser necesario algún tipo de cambio; y así reducir las posibilidades de falla múltiple a un nivel aceptable para el propietario o usuario del bien. (18)
- Si la falla fuese evidente y con efectos para la seguridad y en el entorno ambiental, es necesario algún cambio; y así reducir las posibilidades de falla múltiple a un nivel aceptable para el propietario o usuario del bien. (18)
- Si la falla estuviese oculta y si la falla múltiple asociada no tuviese efectos en la seguridad ni en el entorno ambiental, cualquier cambio será calculado por costo-efectividad, en opinión del propietario o usuario del bien. (18)
- Si la falla fuese evidente, pero sin efectos en la seguridad ni en el entorno ambiental, todo cambio será calculado por costo-efectividad, en opinión del propietario o usuario del bien. (18)
- Para el manejo de fallo, también se propone “operar hasta fallar”, esta forma de actuar se aplicará cuando se satisfagan los criterios apropiados como sigue (18):
  - ✓ Cuando el fallo está oculto y no existe alguna tarea planificada apropiadamente, la falla múltiple asociada no tendrá efectos en la seguridad ni el entorno ambiental, por lo que se puede operar hasta que el equipo o sistema falle.
  - ✓ Cuando la falla se hace evidente, pero no existe ninguna tarea planificada apropiadamente, el modo de falla asociado no tendrá efectos en la seguridad ni en el entorno ambiental, por lo que se puede operar hasta que el sistema o equipo falle.

#### **2.2.4.10. Un Programa de Vida**

Cuando se haya efectuado la implementación del método RCM, en todo tipo de infraestructura, se realizarán inspecciones cada cierto tiempo, debido a (18):

- a. Casi siempre, la información originalmente empleada para la implementación del método RCM, no es segura; ya que, cuando se empieza y prosigue con el proceso, es factible contar con los datos de manera precisa al pasar el tiempo.
- b. La implementación del método RCM se ejecuta originalmente con cierta perspectiva en relación al trabajo y desempeño del equipo o sistema, tendiendo a variar al pasar el tiempo; así como el modo en el que es operado el equipo.
- c. El progreso tecnológico en cuanto al mantenimiento es permanente en el tiempo.

Por ello, el método RCM será constantemente sometido a evaluación, según las disposiciones tomadas, así como las documentaciones de sustento de las políticas de manejo de fallos.

#### **2.2.5. Etapas de un Análisis de Fallas**

Etapa inicial principal: radica en no hacer nada, solo repasar, asimilar la evidencia, preguntar detalladamente sobre las partes, el equipo, los contextos de falla y la toma de apuntes de las posibles soluciones. Por ningún motivo se ha de eliminar las evidencias. Al inicio, el analista reúne al personal implicado (ingenieros de mantenimiento, de proceso, etc.) para analizar la situación problemática. Siendo, el analista, el responsable de efectuar interrogantes trascendentales respecto a la pieza en cuestión:

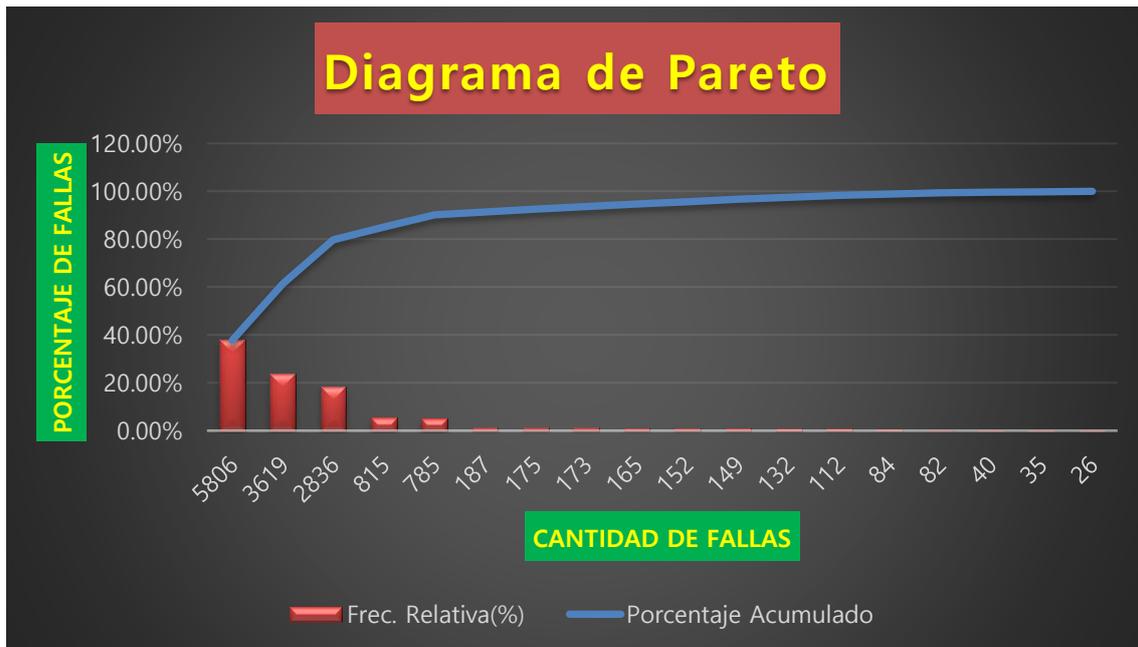
- Proceso implicado
- El material, sus tipos y detalles, forma, extensiones y métodos de proceso
- Parámetros de diseño
- Contextos de asistencia
- Registros de mantenimiento
- Asiduidad de falla
- Sucesión de eventos precedentes a la falla, etc.

### 2.2.6. Principio de Pareto

Este principio admite la identificación según el orden de categoría y dimensión, las causas del problema a investigar, llegando a las conclusiones que autoricen eliminarlo desde su origen. Este principio se asume a partir de las investigaciones hechas por el economista italiano Wilfredo Pareto, quien logró comprobar que, aproximadamente, el 20% de las causas originan el 80% de las fallas.

Ahora, se mencionará el proceso a seguir para aplicar dicho principio:

- Reconocer la consecuencia por evaluar y el objeto por alcanzar.
- Listar las fallas, definir la veces de ocurrencia en un tiempo dado y previsto en estudio.
- A la ocurrencia mayor le pertenece el primer lugar y ordenando así a las demás fallas decrecientemente.
- Cimentar un sistema de ejes y coordenadas, donde, al eje horizontal (abscisas) le corresponda las fallas ordenadas de modo decreciente en cuanto a la ocurrencia se refiera; en el eje vertical izquierdo (ordenada izquierda) le corresponderá la asiduidad de falla y, en el eje vertical derecho (ordenada derecha), le corresponde el porcentaje acumulado de falla.
- Se crea la curva de fallas con respecto a la frecuencia de falla.
- Trazar una línea horizontal por el punto correspondiente al 80% del porcentaje acumulado y bajar una vertical por el punto que toca la curva, el punto así obtenido indica que las fallas, cuyas posiciones estén a la izquierda, causan el 80% de las fallas.



**Figura 2. Representación del esquema del diagrama de Pareto. Tomada de Google.com (12)**

### 2.2.7. Mantenibilidad

Se refiere al diagnóstico y corrección rápida de las fallas o del funcionamiento defectuoso encontrado en los equipos, también se refiere al mantenimiento planificado exitosamente. La mantenibilidad se caracteriza por ser cualitativa combinada del diseño y de instalación de una máquina, siendo posible el cumplimiento de objetivos operacionales a un costo mínimo, donde se incluye la mano de obra, personal especializado, equipo de prueba, herramientas y subsidios, documentación técnica, piezas de repuesto en las condiciones ambientales de funcionamiento en la cual el mantenimiento programado y no programado debe cumplirse. Entonces, la mantenibilidad es la función eficaz que calcula la capacidad de un componente o equipo, para que pueda ser cambiado de una situación ineficaz a un estado satisfactorio de operación.

La mantenibilidad se da por la medición del MTTR (Tiempo promedio para reparar o *Mean Time To Repair*). (13) La fórmula de mantenibilidad es la siguiente:

Ecuación 1

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{\text{Nº de reparaciones correctivas}}$$

### **2.2.7.1. Parámetros Básicos de la Mantenibilidad**

El tiempo promedio fuera de servicio, o comúnmente llamada *media del tiempo fuera de servicio* (MTFS) es el parámetro básico de la mantenibilidad, el cual puede ser obtenido analítica o gráficamente, basándose en el número total de horas fuera de servicio por causa de una falla, y el número de acciones de mantenimiento llevado a cabo por concepto de fallas. (13) El tiempo fuera de servicio es el tiempo transcurrido desde que el equipo es desconectado hasta que es entregado de nuevo al grupo de operaciones, listo para cumplir su función. (12)

Factores principales de la mantenibilidad: es adecuada gracias a varios factores, y se agrupan en operacionales y de diseño.

**Operacionales:** se corresponden, principalmente, con el personal delegado al equipo y de procurar mantenerlo, todo esto, relacionado con el entorno ambiental. Aquí se encuentran los equipos de levantamiento y manejo, políticas y normas de mantenimiento preventivo y también la disponibilidad de repuestos, espacios de trabajo, competencias de acción del personal, sistemas de control, supervisión de calidad, comunicación permanente, uso de técnicas para corregir las fallas y el soporte logístico. (13)

**Diseño:** tiene una influencia significativa, sobre el nivel mismo de la mantenibilidad del sistema, y sobre el potencial de mejoramiento de dicha mantenibilidad, estas consideraciones se hacen en la fase de diseño, sobre la distribución física y accesibilidad del equipo, modulación e intercambiabilidad y reemplazabilidad, normalización y niveles iniciales de repuestos. (13)

### **2.2.8. Confiabilidad**

“La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo no falle, es decir, fusiones satisfactorias dentro de los límites de desempeño establecidos, en una determinada etapa de su vida útil y para un tiempo de operación estipulada, teniendo como condición que el equipo se utilice para el fin y con la carga para la que fue diseñado”. (13) (p. 68)

La confiabilidad de un equipo disminuye según esté operando, en otras palabras, la posibilidad de que falle aumenta; los procedimientos de mantenimiento planeado tienen la misión de diagnosticar y restablecer la confiabilidad perdida.

La confiabilidad es aquella posibilidad de que un equipo, maquinaria o sistema desarrolle satisfactoriamente sus funciones ante condiciones específicas, durante un tiempo determinado. La confiabilidad agrega valor a través de la optimización de la disponibilidad de las instalaciones, esto al ser parte del área de trabajo en la corporación; mejorando así, el diseño, la operación, el control del deterioro, el control de riesgos, la inspección, el mantenimiento, las paradas de planta y la renovación de instalaciones. (13) Se aplica a instalaciones de refinación y producción; a equipos estáticos, equipos rotativos, estructuras, instrumentación y sistemas de seguridad.

La confiabilidad es la característica de calidad que regula el tiempo de duración de los productos, quienes han de operar sin fallas durante un tiempo específico para ser confiables. (13) Entonces, si se dice que un artículo es de calidad alta, se entiende que cumple con la totalidad de las especificaciones, incluyendo la confiabilidad. Así, es calidad a largo tiempo.

#### **2.2.8.1. Tiempo Promedio entre Falla o *Mean Time Between Failure* (MTBF)**

El promedio de tiempo entre fallas muestra la pausa de tiempo probable entre un arranque y la aparición de una falla. A mayor valor, mayor confiabilidad del componente o equipo. (13)

La confiabilidad se define según la siguiente fórmula:

Ecuación 2

$$\text{MTBF} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de horas de operación}}{\text{N}^\circ \text{ de paradas correctivas}}$$

### 2.2.9. Disponibilidad

Es la posibilidad de operación de un equipo, es decir, que esté disponible para usarlo durante un tiempo determinado; es una función que ayuda a calcular en forma total el porcentaje de tiempo global donde se puede esperar que un equipo esté disponible para efectuar la función para la cual fue destinado.

Permite calcular el tiempo total, en porcentaje, esperando que un equipo presente disponibilidad para cumplir la función para la cual fue destinado en un tiempo dado. La disponibilidad de un elemento, equipo o componente no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentra en condiciones de funcionar. (14)

La disponibilidad se determina según la siguiente fórmula:

Ecuación 3

$$D = \frac{HL - PP - PR}{HL}$$

Donde:

- D = disponibilidad
- HL = horas laborables de la empresa
- PP = paradas programadas para mantenimiento, también se incluyen las reparaciones programadas u *overhauls*.
- PR = paradas por mantenimiento reactivo (no programadas)

#### 2.2.9.1. Importancia de la Disponibilidad

La disponibilidad es muy importante en la medición de factores de seguridad y efectividad, al estimar la influencia de la disponibilidad de un equipo sobre la efectividad global del sistema. (14)

A la par que se instituyen diferentes opciones de acción, sobre los factores técnicos, también se instituye la atribución de opciones sobre los costos. De este modo, es factible identificar la mejor política en función de maximización de la disponibilidad y la minimización de los costos.

### **2.2.10. Equipo Jumbo Empernador Boltec S**

El Boltec S es una máquina electrohidráulica bulonadora totalmente automatizada y mecanizada, optimizada para perfiles de túnel de tamaño pequeño a mediano desde 3 m x 3 m, hasta una altura de alcance del brazo máxima de 7 m. La reducida longitud total, la carga del bulón más fácil y el robusto diseño ahorran tiempo y dinero. Puede manejar la mayoría de los tipos de bulón de entre 1,5 y 3,5 m; incluyendo bulones de fricción, inflables, anclaje mecánico y redondo de acero. En minas con acceso limitado, el Boltec S añade potencia y flexibilidad a las operaciones. El Boltec S es la bulonadora totalmente mecanizada más avanzada y productiva en su clase de tamaño. (1)

Las bulonadoras de Epiroc se usan para el bulonado en aplicaciones de minería y excavación de túneles. Nuestra gama incluye modelos adecuados para alturas de clave de 1,8 a 13 metros. Entre sus características se incluyen un brazo para la manipulación del mallazo metálico, el sistema de control RCS para posicionamiento, perforación y bulonado, así como los martillos hidráulicos COP 1132 y COP 1435, diseñados especialmente para la perforación de barrenos para bulonado. Otras características son la inyección automática de resina, el sistema de cemento automático, la navegación del plan de bulones así como la elevación y cabeceo de la cabina.



**Figura 3. Equipo jumbo emperrador Boltec S Epiroc. Tomada del Manual de partes jumbo emperrador Boltec S / Epiroc (1)**

### 2.2.10.1. Características del Jumbo Empernador Boltec S

CARACTERISTICAS DEL JUMBO EMPERNADOR BOLTEC S	
Marca	Atlas Copco - Epiroc
Año de Fabricación	2017
Serie	TMG 17URE0330
Tipo Designación	Boltec S
Potencia Motor Eléctrico (KW)	75
Potencia Motor Diésel (KW)	72
Frecuencia (HZ)	60
Voltaje de Trabajo (V)	440
Máximo Torque de Rotación (NM)	550
Presión de Agua (Bar)	0 - 15
Presión de Aire (Bar)	0 - 6
Peso (Kg)	15000

Figura 4. Placa de jumbo empernador. Tomada de Manual de partes jumbo empernador Boltec S / Atlas Copco - Epiroc

### 2.2.10.2. Sistema de Control de Equipo RCS

El sistema de control RCS o *Rig Control System* (Sistema de control de equipos) es un sistema de control computarizado del equipo que rige y supervisa el operador, desarrollado por Epiroc para plataformas de perforación, orientada al área de la minería. Mediante este sistema se puede controlar la máquina desde la cabina del operador por medio de pantallas, controles de mando, botones y potenciómetros, es decir que todas las funciones operativas se controlan desde esta cabina. Los distintos elementos de control en la cabina envían la señal de control a ciertos módulos, sensores, controladores, actuadores, etc. Los que se unen por medio de un cable *Can Bus*. También posee un sistema de control remoto llamado RPS (*Remote Propel System*).

Desde que Atlas Copco introdujo por primera vez su *Rig Control System* (RCS) electrónico en 1998, no se han dejado de lanzar nuevas funciones innovadoras basadas en el RCS. La automatización del control de diversas funciones del equipo sustituye a la experiencia humana y las múltiples órdenes de palancas de mando e interruptores con información computarizada basada en sensores y software. La ventaja más notable de la automatización es que el sistema de control no se desvía de lo que se le ha enseñado a hacer. Mientras que incluso los perforistas más experimentados varían ligeramente su

rendimiento de una repetición a otra debido al cansancio, distracciones o meros errores, el RCS realiza cada repetición con una precisión total. Un perforista experimentado puede batir su tiempo en una sola repetición, pero para la mayoría de las tareas, el sistema automatizado dejará siempre atrás al perforista al final del relevo. Además, el rendimiento de la automatización se puede repetir relevo tras relevo, independientemente del operador que esté supervisando la operación. Quince años y cuatro generaciones de RCS después, hay disponibles paquetes de automatización para cualquier equipo de perforación Epiroc. El conjunto de herramientas de software de ofimática de Epiroc, como Surface Manager, complementa los paquetes de automatización con interfaces de informes fáciles de usar. Surface Manager presenta los datos en un diseño lógico que permite planificar el uso del perforista, evaluar estadísticas de producción, realizar un seguimiento de los fungibles y comparar los resultados planificados con los reales. Gracias a la representación en tablas y gráficos, estas herramientas de administración tan activas ayudan en la capacitación de perforistas ya que todas las partes interesadas puedan tomar decisiones más certeras.

La perforación automatizada en minería es un hecho. Se utiliza en todo el mundo con muy buenos resultados. Las minas de carbón, cobre, hierro y oro de grandes países mineros, como Australia, Sudáfrica, Canadá, Estados Unidos y Chile, están logrando objetivos que anteriormente eran inalcanzables. La automatización en los equipos de perforación Epiroc permite a los operadores cumplir más objetivos de forma segura, y las funciones de asistencia al operador, como *AutoLevel*, *AutoDrill*, *Auto Rod Changer* y control remoto múltiple, son solo alguna de las soluciones que contribuyen a lograr una productividad constante y sostenible relevo tras relevo. Resaltando el valor que la automatización en los equipos de perforación Epiroc está aportando de manera sostenible a minas de todo el mundo.

### 2.2.10.3. Características

Tabla 5. Características y tipos de contactos

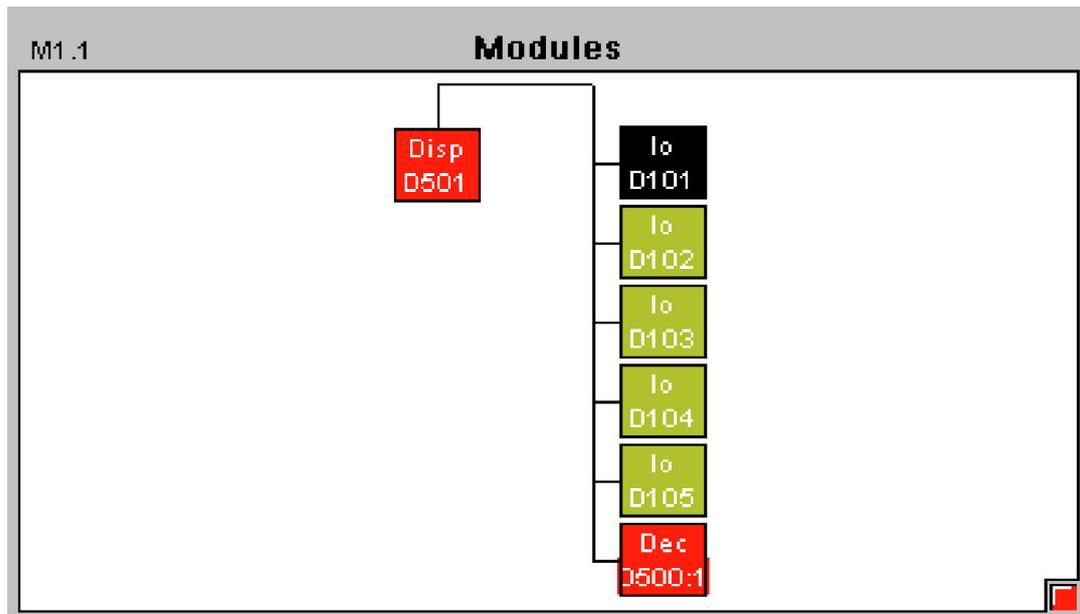
Contacto	Tipo	Clavija 1	Clavija 2	Clavija 3	Clavija 4	Clavija 5
X1, X19	M12 de cinco clavijas, contacto macho	Pantalla (conectada a tierra)	CAN +24V	Tierra de CAN	CAN alta	CAN baja
X2, X3, X4, X20, X21, X22	M12 de cinco clavijas, contacto hembra	Sensor de voltaje de suministro de +24V	Señal de entrada 0 – 5V	Tierra	Entrada A de 0 – 20 mA	Sensor de voltaje de suministro de +5V
X5, X23	M12 de cinco clavijas, contacto hembra	Sensor de voltaje de suministro de +12V	Entrada o salida B	Tierra	Entrada o salida A	Tierra
X7, X8, X9, X10, X14, X15, X16, X24	M12 de cinco clavijas, contacto hembra	Sensor de voltaje de suministro de +24V	Salida B	Tierra	Salida A	Tierra
Hay dos salidas por contacto, pero solo se puede activar una salida a la vez. La corriente de salida está entre 50 mA y 2.0 A. La amplitud es ajustada desde 0 a 500 mA en incrementos de 50 mA.						

### 2.2.10.4. Componentes Principales

#### Módulos de Control I/O

Están interconectados a través del *Can Bus* y son los encargados de realizar las entradas o salidas según la necesidad de los componentes en el equipo. En el sistema RCS existen 7 módulos que se nombrarán como D501, D101, D102, D103, D104, D105, D500:

Cada uno de estos módulos tiene distintas conexiones que permiten la comunicación en el sistema a continuación, también en su versión RCS4 utiliza tapones de dirección que son únicos para cada módulo y son intransferibles, cada tapón da la identidad a cada módulo con respecto a la computadora central, es decir, lo identifica como D501, D101, D102, D103, D104, D105, D500:1. Si los tapones son movidos de su posición y se instala en otro módulo el sistema no podrá iniciarse, debido a que este error será reconocido por la computadora central.



**Figura 5. Módulos de control eléctrico del Boltec S Epiroc**

Son los módulos electrónicos que forman parte del sistema, además de su estado. Si todos los módulos funcionan de manera apropiada, deben estar resaltados en color verde.

Si surge una avería en el sistema, como una interrupción en la comunicación de la *Can* o el suministro de energía para un módulo, esto se indica mediante una marca roja en el módulo.

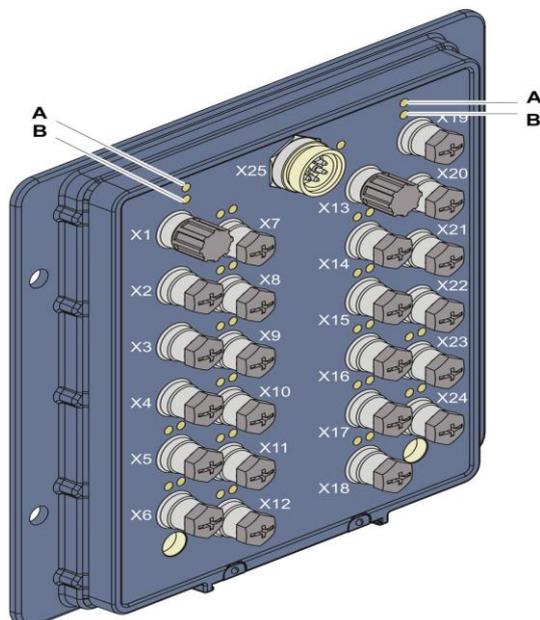
### **2.2.11. RCS Hardware**

La palabra *hardware* en informática se refiere a las partes físicas, tangibles, de un sistema informático; sus componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos. Los cables, así como los gabinetes o cajas, los periféricos de todo tipo, y cualquier otro elemento físico involucrado, componen el *hardware* o soporte físico; contrariamente, el soporte lógico e intangible es el llamado *software*.

#### **2.2.11.1. Módulo de E/S**

Cuando el sistema enciende el *Led* parpadea dos veces por segundo. Cuando la comunicación *Can* está en progreso el *Led* parpadeará una vez por segundo. Cuando no hay comunicación de *Can* o si el módulo E/S está

encendido, el *Led* parpadeará cinco veces por segundo. Suministro de 5 V para control de *Can*. Suministro de 24 V para válvulas y sensores.



**Figura 6. Módulos de control eléctrico E/S Boltec S Epiroc**

### 2.2.11.2. Entradas análogas

El *Led* verde indica voltaje de suministro de 5 V y 24 V. El *Led* rojo indica cortocircuito a tierra del voltaje de suministro del sensor. Se debe restablecer el voltaje de suministro después de un segundo cuando se rompe el corto circuito.

**Tabla 6. Tabla de entradas analógicas**

Función/ Contacto	Negro	Verde	Naranja	Rojo
<b>Salida PNP</b>	Carga no activada	Circuito abierto Salida no activada	Salida activada y actuada	Salida activada, pero con cortocircuito a tierra
<b>Entrada PNP</b>	Bajo voltaje de entrada No hay señal en la entrada	Voltaje en la entrada Entrada activa	No surge si el puerto se inicializó como entrada	No surge si el puerto se inicializó como entrada
<b>Salida NPN</b>	No activada	Salida activada externamente Cortocircuito a tierra	La salida es activada y accionada	Salida activada, pero con cortocircuito a tierra
<b>Entrada NPN</b>	Sin señal de entrada demasiado alto	Entrada activada (cerrada a tierra)	No surge si el puerto se inicializó como entrada	No surge si el puerto se inicializó como entrada
<b>Salida PWM</b>	No activada Carga presente	Circuito abierto Salida no activada	Salida activada y actuada	Salida activada (baja corriente) o corto circuito a tierra

### 2.2.11.3. *Can Bus*

Es un estándar de emisión para conectar unidades en un control electrónico. Utiliza el protocolo SAE J1939 de comunicación que permite una transmisión de datos de 125 kb/s, un número máximo de 30 nodos y una longitud máxima de 40 metros y debe tener en cada uno de sus extremos un extensor o en su defecto una resistencia que en este caso es de 120 Ohm. *Can* o *Controller Area Network* (Red de Área de Control) y *Bus* es un elemento que permite transportar una gran cantidad de información

Este sistema permite compartir una gran cantidad de información entre las unidades de control abonadas al sistema, lo que provoca una reducción importante tanto del número de sensores utilizados como de la cantidad de cables que componen la instalación eléctrica.

La transmisión de datos a través del *Can Bus* funciona a través de la comunicación de nodos. Cada computador en una red se llama nodo. El monitor, ECM, panel de operación, y los módulos I/O son nodos en la red de trabajo. Cada nodo está habilitado para enviar y recibir mensajes, pero no simultáneamente, cada mensaje es transmitido serialmente dentro del *Bus*, un bit después del otro. Esta señal-patrón "códigos" es leída por todos los nodos. Cada módulo I/O (nodo) tiene una dirección (X13). Los mensajes del *Can* son recibidos por el elemento con la dirección del mensaje, pero ignorados por los otros módulos I/O. Solo el módulo I/O que coincida con esa dirección, responderá al mensaje.

El mensaje es una sucesión de "0" y "1", que como se explicaba al principio, están representados por diferentes niveles de tensión en los cables del *Can Bus* y que se denominan "bit". Bit es el acrónimo *Binary digit* (dígito binario). Un bit es un dígito del sistema de numeración binario. Un bit o dígito binario puede representar uno de esos dos valores, 0 o 1. Bit es la unidad mínima de información empleada en informática, en cualquier dispositivo digital, o en la teoría de la información. Con él, se puede representar dos valores cualesquiera, como verdadero o falso, abierto o cerrado, blanco o negro, norte o sur, masculino o femenino, rojo o azul, etc. Basta con asignar uno de esos valores al estado de "apagado" (0), y el otro al estado de "encendido". (10)

El mensaje *Can* se transmite a través de un cable llamado cable de comunicación *Can Bus*.

Es importante tener en cuenta que el trenzado entre ambas líneas sirve para anular los campos magnéticos, por lo que no se debe modificar en ningún caso ni el paso ni la longitud de dichos cables.

#### 2.2.11.4. Pantalla

##### Pantalla Principal del Sistema

Es una pantalla que da más movilidad y rapidez a los accesos del sistema RCS. También tiene la opción de moverse con los botones de dirección ubicados en la parte inferior y los botones de la parte izquierda. La pantalla entrega información de todas las condiciones del equipo tanto en la parte operacional como al personal de mantenimiento. Es el corazón del sistema ya que es también la computadora central del sistema RCS.



**Figura 7. Pantalla principal**

#### 2.2.12. Sensores del sistema

Dentro de los sensores que la máquina posee tenemos los siguientes tipos:

### 2.2.12.1 RCS Software

Se conoce como *software* al soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados *hardware*. La interacción entre el *software* y el *hardware* hace operativo un ordenador (u otro dispositivo), es decir, el *software* envía instrucciones que el *hardware* ejecuta, haciendo posible su funcionamiento.

### 2.2.12.2. Niveles de Acceso

Existen diferentes niveles de acceso para la autorización. Hay diferentes niveles de acceso donde todos los niveles tienen distinta autorización para ajustar los parámetros de la máquina, y en algunos casos autorización para visualizar información:

- OP - operador sin acceso a la configuración
- SE - mina de servicio ajuste de configuración básica
- AC - servicio de Atlas Copco configuración limitada de la máquina
- ACP - AC *Product Company* acceso completo a la configuración

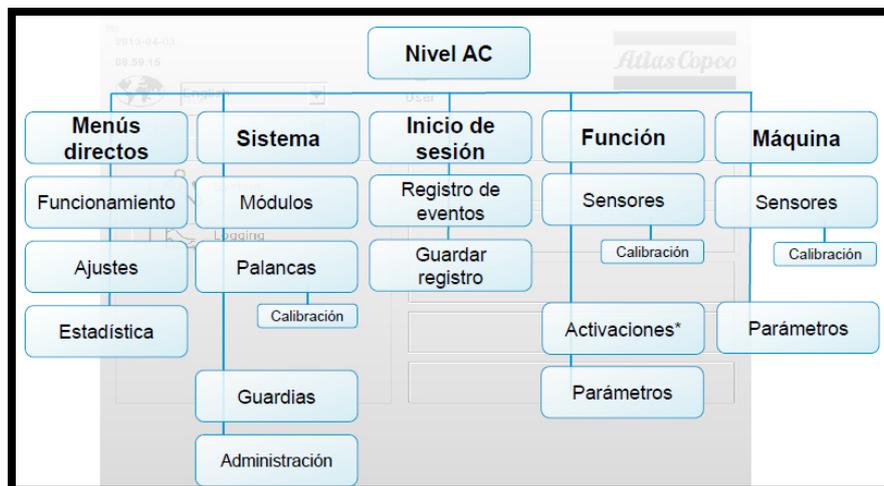
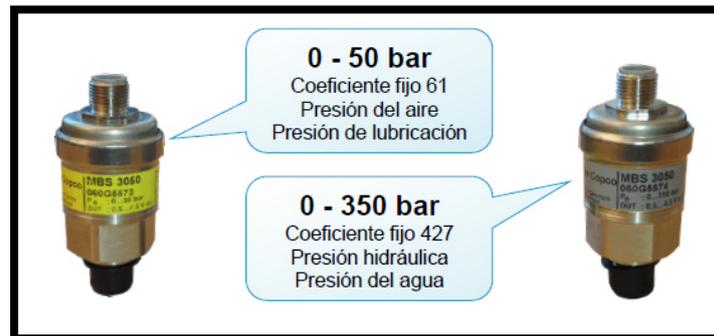


Figura 8. Niveles de acceso

### 2.2.12.3. Sensores de Presión Analógicos

Un sensor de presión es un dispositivo capaz de medir la presión de gases o líquidos. En este contexto, la presión es una expresión de la fuerza necesaria

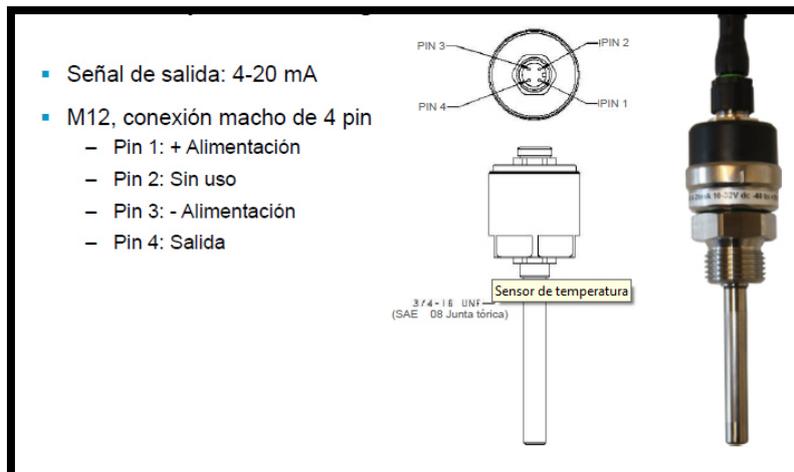
para impedir la expansión de un fluido. Normalmente se expresa en términos de fuerza por unidad de área.



**Figura 9. Sensores de Presión**  
(Izq. sensor de 50 bar, der. sensor de 350 bar)

#### 2.2.12.4. Sensores de Temperatura Analógico

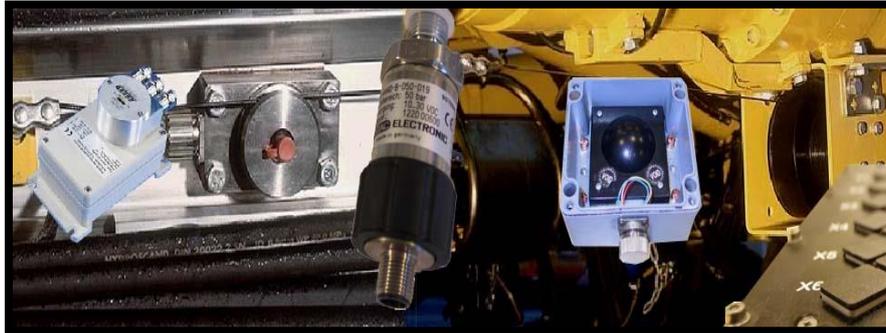
Un material termoelectrónico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica. El termopar genera una tensión que está en función de la temperatura que se está aplicando al sensor.



**Figura 10. Sensor de temperatura**

#### 2.2.12.5. Sensores de Posición

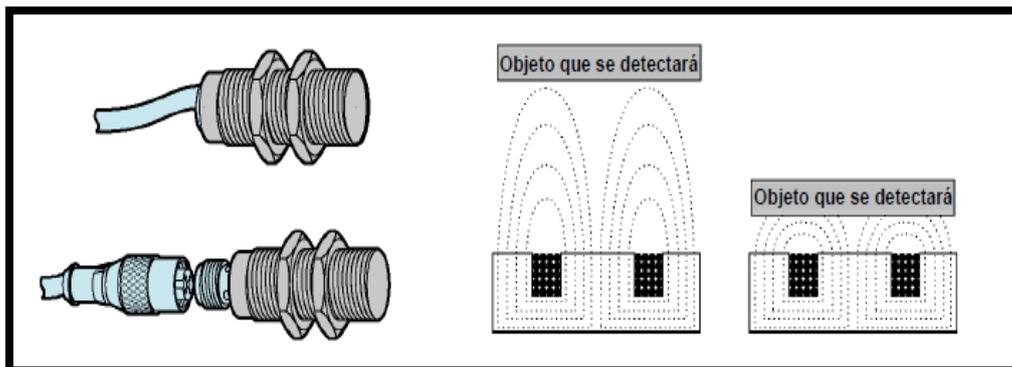
Los sensores de posición se usan en el reconocimiento de objetos. Dependiendo del material a ser detectado, para conseguir un registro seguro y sin contacto de los objetos, se usan diferentes sensores. Los sensores inductivos son capaces de reconocer objetos metálicos.



**Figura 11. Sensores de Posición**

### 2.2.12.6. Sensor de Proximidad

Es un sensor compuesto por el campo, oscilador, demodulador, interruptor y salida.



**Figura 12. Sensor de proximidad  
(Sensor de 18 mm)**

### 2.2.12.7. Sensor Encoder

Los Encoder son sensores que al movimiento generan una respuesta de señal digital. Existen dos tipos, uno que responde a la rotación y otro al movimiento lineal. Se utilizan para medir movimientos lineales, velocidad y posición cuando se usan en conjunto con dispositivos mecánicos como engranajes, ruedas de medición o flechas de motores. En la figura 12 se muestra el aspecto físico del sensor.



**Figura 13. Encoder**

### 2.2.12.8. Sensor de Ángulo

Clinómetro sensor de ángulo analógico basado en gravedad, inclinación de medidas muy confiables.



*Figura 14. Sensor de ángulo*

Dentro del sistema de control se tienen distintos módulos con los cuales se puede controlar desde cabina y así el sistema interpretar por medio de estos módulos las órdenes enviadas por el operador o enviar señales de retroalimentación a la pantalla del operador:

### 2.2.13. Sistema Hidráulico

Es la creación de fuerzas y movimientos a través de fluidos sometidos a presión. Estos son el medio para el traspaso de energía. El estudio de la hidráulica industrial empezó a finales del siglo XVII cuando Pascal enunció una ley que sería la base fundamental de toda la ciencia hidráulica. Demostrando que en un fluido en reposo, la presión es transmitida del mismo modo en todas las trayectorias, es decir, la presión existente en un líquido confinado opera del mismo modo en todas direcciones, formando ángulos rectos con la superficie del recipiente. (15)

Los componentes básicos de un sistema hidráulico son: bomba, filtro, recipiente de almacenamiento de aceite, válvulas, actuadores, fluido hidráulico,

todos estos elementos son unidos o conectados entre sí por medio de tubos y mangueras. (15)

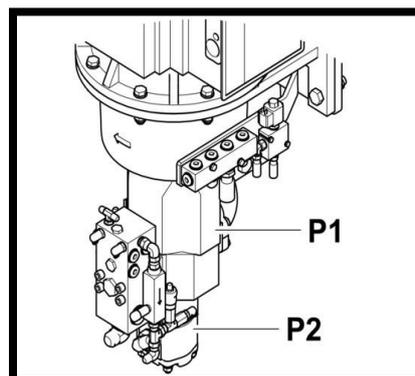
### 2.2.13.1. Datos de las Bombas Hidráulicas

Convierten la energía mecánica transmitida por un motor primario (motor eléctrico, motor de combustión interna, etc.) en energía hidráulica. La acción de bombear es igual para todas las bombas. Generando un volumen progresivo en el lado de la succión y un volumen atenuante en el lado de la presión. En un sistema hidráulico industrial, el tipo de bomba usada es de desplazamiento positivo, como son las bombas de paletas, engranes y pistones. Las bombas son accionadas eléctricamente, (15) ver Figura 15:

### 2.2.13.2. Datos Técnicos

**Tabla 7. Datos técnicos de bombas hidráulicas**

Bombas, activadas eléctricamente	
<b>Bomba principal</b>	
Descripción	Datos
Tipo	Bomba de émbolo axial
Modelo	RX A 10VO
Desplazamiento	100 cm <sup>2</sup> vuelta
<b>Bomba rotación y compresor</b>	
Descripción	Datos
Tipo	Bomba de engranajes
Modelo	Bomba triplex



**Figura 15. Grupo de bombas hidráulicas**

- P1 bomba principal (unidad de posicionamiento y percusión)
- P2 bomba triple, bomba de rotación perforadora hidráulica, bomba para unidad de compresor y bomba de agua

### 2.2.13.3. Filtro

El filtro de aceite de retorno limpia el aceite antes de que regrese al tanque. Un filtro de aceite de retorno está formado por un tubo que contiene dos insertos de filtro. Los tubos están montados en la placa de cubierta del tanque de aceite hidráulico. Los insertos del filtro tienen que cambiarse de acuerdo con el programa de mantenimiento, pero si el manómetro del filtro de retorno colocado encima del tanque de aceite hidráulico indica "Filtro obstruido" (zona roja en la escala), el filtro de retorno de aceite debe cambiarse inmediatamente. (10)

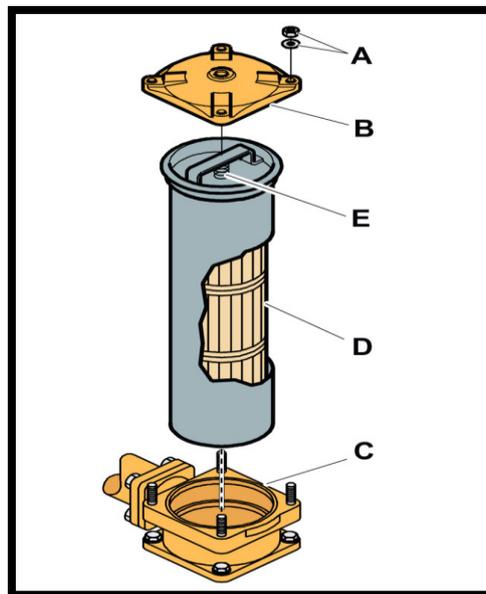


Figura 16. Filtro hidráulico

### 2.2.13.4. Electroválvulas

Son sistemas que disponen o regularizan la puesta en marcha, el paro y la dirección, también la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica. Una electroválvula es un dispositivo mecánico y eléctrico que consiste en un cuerpo y una pieza móvil, que conecta y desconecta conductos dentro del cuerpo. Según su función las electroválvulas se dividen en: distribuidoras, de bloqueo, de presión, de caudal y de cierre. (15)

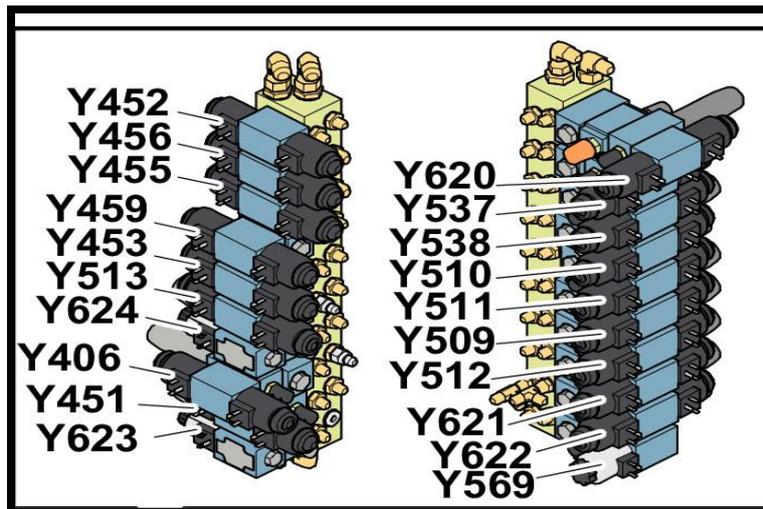


Figura 17. Válvulas, sensores y tomas de prueba de presión - módulo delantero Boltec S

### 2.2.13.5. Cilindros hidráulicos

La energía hidráulica aprovechable se transformará en energía mecánica para efectuar un trabajo, en cualquier aplicación. Los cilindros hidráulicos son quienes se encargan de convertir la energía hidráulica a energía mecánica lineal.

En el caso de los cilindros de simple efecto, la presión solo actúa sobre el émbolo. Por lo tanto, el cilindro trabaja en un único sentido. Estos cilindros trabajan así: el fluido sometido a presión entra en la cámara del lado del émbolo, en el émbolo se crea una presión por resultado de la contrafuerza (carga por peso), superada esta fuerza, el cilindro avanza hasta el final de carrera. Durante el movimiento de retroceso, la cámara del lado del émbolo está conectada con el tanque a través de la tubería y la válvula. El retroceso se produce por el propio peso y por acción del resorte. (15)

### 2.2.13.6. Fluido

Cualquier líquido es adecuado para la transmisión de energía de presión. Sin embargo, el líquido usado en un sistema hidráulico cumple con algunas tareas: transmitir la presión, lubricar las partes móviles de los equipos, disipar el calor producto de la transformación de energía, amortiguar vibraciones causadas por picos de presión, proteger ante cualquier corrosión, eliminar partículas abrasivas, también, usar líquidos de difícil posibilidad de inflamación. Los aceites creados son aceites minerales, cumplen con todos los requisitos mencionados y por ello son los más usados en la industria. (15)

Aparte de las características de los elementos del circuito hidráulico, también es necesario recalcar la importancia de los diámetros de los tubos rígidos y flexibles, dado que estos se reflejan sobre la cuenta de pérdida de presión del sistema. Determinando, fundamentalmente, el grado de eficiencia del sistema, por lo que es importante considerar las velocidades máximas del flujo.

#### **2.2.13.7. Sistemas de Aire y Agua**

La función del sistema de aire del carro es suministrar lubricación a la perforadora de roca, en forma de aire con una mezcla de aceite. El aire se comprime con un compresor (*Atlas Copco GAR 5*). Si el carro tiene la opción *Air flushing* (lavado con aire), entonces también se usa aire para limpiar orificios a presión cuando termina la perforación, y en este caso existe, por lo general, un tanque de aire en el carro.

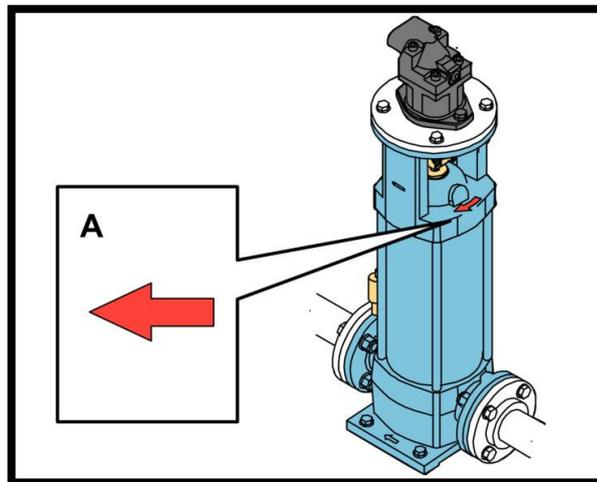
El sistema de agua del equipo de perforación se utiliza para lavar el orificio de perforación, limpiándolo de recortes y para enfriar la cuerda de perforación. También se usa agua para enfriar el aceite hidráulico. Una bomba de agua aumenta la presión de agua.

En algunos casos, por distintas razones, no vale la pena usar agua como medio de lavado. En cambio, puede usarse aire con una mezcla de agua. A este tipo de lavado se le conoce como Neblina de agua o inyección de agua. Una razón común para usar neblina de agua es el difícil acceso al agua. El equipo de perforación se puede equipar con tanques para suministrar agua, y con enfriadores de aceite por aire para enfriar el aceite hidráulico. Se utiliza una bomba (*Dynaset*) para aumentar la presión de agua y lavar con neblina de agua.

El equipo de perforación también puede tener una combinación de barrido con agua y barrido con neblina de agua. En este caso, se puede seleccionar la forma de barrido más adecuada para cada tipo de perforación. Los ajustes se hacen en el menú D3.2.

### 2.2.13.8. Bomba de Agua

La bomba de agua es impulsada hidráulicamente. La presión a la entrada del agua deberá ser 4-6 bares (mínimo 2 bares). La presión de entrada está limitada por una válvula de seguridad y su valor máximo es 14 bares. Se debe revisar que la lectura máxima de la velocidad de la bomba de agua sea de 3000 rpm. Y leer la velocidad del tacómetro que está sobre el acoplamiento del motor hidráulico de la bomba de agua.

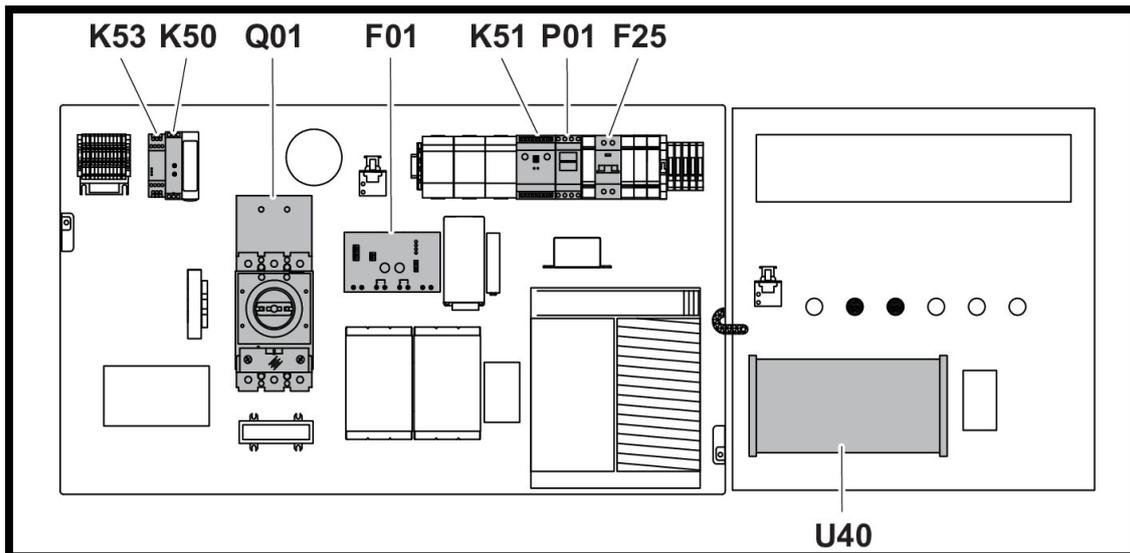


*Figura 18. Bomba de agua*

### 2.2.14. Sistema Eléctrico de Potencia del Jumbo Empernador Boltec S

El sistema eléctrico de potencia de voltaje bajo se refiere a una corriente alterna con un voltaje mayor de 50 V y menor que o igual que 1000 V.

- Cable en la unidad de embobinado y colector
- Gabinete eléctrico
- Motor (es) eléctrico (s) para bomba (s) hidráulica (s)
- Circuitos en operación
- Salida de servicio
- Cargador de batería para el transportador (y voltaje extrabajo)
- Luces indicadoras en el gabinete eléctrico



**Figura 19. Tablero eléctrico**

**Tabla 8. Tablero eléctrico A10**

<b>K53</b>	<b>Revelador de seguridad</b>
<b>K50</b>	Monitor de secuencia de fases
<b>Q01</b>	Interruptor principal
<b>F01</b>	Revelador de protección del motor (uno para cada unidad de bomba hidráulica)
<b>K51</b>	Revelador de falla a tierra (protección contra incendio)
<b>P01</b>	Voltímetro y amperímetro
<b>F25</b>	Interruptor de falla a tierra (protección personal)
<b>U40</b>	Cargador de batería

## 2.2.15. Protección del Sistema Eléctrico

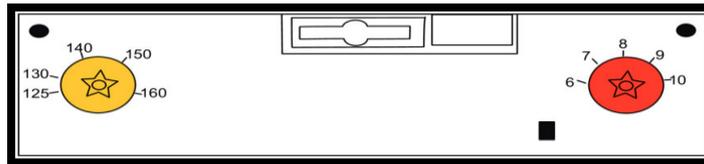
### 2.2.15.1. Interruptor Principal

El interruptor principal (Q01) está en el circuito de tres fases del gabinete eléctrico. Tiene una perilla para encendido y apagado. El interruptor principal tiene como estándar protección contra subtensión, protección contra sobrecarga térmica y protección contra cortocircuito magnético.

Se puede restablecer el interruptor después de que se haya disparado, girando la perilla a la posición 0 (*off*) y luego nuevamente a la posición 1 (*on*).

### 2.2.15.2. Protección contra Sobrecarga

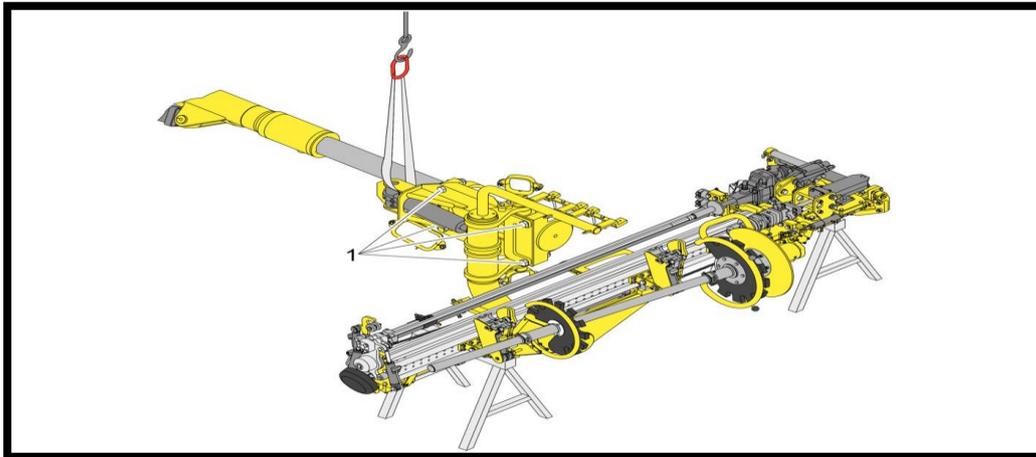
El ajuste de la protección contra sobrecarga depende del voltaje de suministro y de la potencia total del motor eléctrico. La configuración se realiza mediante la perilla amarilla en el interruptor principal. Este debe configurarse en el valor más bajo.



**Figura 20. Control de la protección contra sobrecarga**

### 2.2.15.3. Brazo But 32

También llamados brazos telescópicos y multidireccionales que son estudiados, especialmente, por las cúpulas de pernos y admiten una disposición en el espacio gracias a la combinación de 5 movimientos.



**Figura 21. Brazo But 32**

### 2.2.15.4. Perforadora Hidráulica Cop 1435

Componente principal para la perforación con los equipos jumbos emperrador Boltec S, la perforadora exactamente está ubicada en el brazo y en la viga del equipo.



**Figura 22. Perforadora hidráulica**

## 2.2.15.5. Características de la Perforadora Hidráulica Cop 1435

Tabla 9. Características de perforadora hidráulica

CARACTERISTICAS PERFORADORA COP 1435	
Marca	Epiroc
Año de Fabricación	2017
Serie	AVO 17D977A
Velocidad de rotación (RPM)	0 - 500
Potencia Nominal (KW)	14
Longitud Neta (mm)	735
Frecuencia de Impacto (HZ)	80
Presión Hidráulica (Bar)	210
Máximo Torque de Rotación (NM)	550
Presión de Agua (Bar)	0 - 15
Presión de Aire (Bar)	0 - 6
Peso (Kg)	75

## 2.3. Definiciones Conceptuales y Operacionales

### 2.3.1. Definiciones Conceptuales

Esta investigación tiene una variable independiente denominada Fallas del sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S y una variable dependiente que es Disponibilidad mecánica del jumbo empernador Boltec S.

**VI:** son las fallas principales del sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S.

**VD:** disponibilidad. Permite calcular, de manera global, el porcentaje de tiempo total esperado, de un equipo que esté utilizable para desempeñar el cargo para el cual fue propuesto.

### 2.3.2. Definiciones Operacionales

**VI:** variable que expresa la identificación de las fallas más frecuentes del sistema de control RCS que se genera en el jumbo empernador Boltec S

**VD:**

Ecuación 4

$$Dm = hpro / (hpro - (hpm + hpo + hm))$$

Donde:

- Dm: es la disponibilidad mecánica
- hpro: horas programadas de trabajo
- hpm: horas de paradas mecánicas
- hpo: horas de paradas operacionales
- hm: horas muertas

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Si se determina la influencia de las fallas en el sistema de control RCS mediante el análisis del diagrama de Pareto entonces se mejora la disponibilidad mecánica del jumbo empernador Boltec S 2JE032 de la unidad minera El Brocal.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- Si se analizan las fallas del sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec antes y después se identificarán las fallas más críticas.
- Si se acrecienta el tiempo utilizable de los dispositivos mayores del jumbo empernador Boltec S, se reducen los costos de adquisición de repuestos.
- Si se realiza el análisis de fallas eléctricas y mecánicas del jumbo empernador Boltec S por el principio de Pareto, se identifican las fallas más frecuentes que se viene generando.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Método de Investigación**

Para desarrollar esta investigación, se ha utilizado el método deductivo (de lo general a lo particular), ya que se parte del todo hasta particularizarlo para su implementación en el estudio, todo esto, para optimizar la empleabilidad mecánica del jumbo empernador Boltec S 2JE032 de la empresa minera El Brocal.

#### **3.2. Tipo de Investigación**

Fue de tipo básico, que tiene como objetivo extender la comprensión científica, partiendo de las observaciones del funcionamiento de fenómenos de la realidad. Esta investigación pertenece a este tipo dado que se compararon los efectos previos y posteriores; además, de determinar la influencia de las fallas del sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S 2JE032 mediante el principio de Pareto. (16)

#### **3.3. Nivel de Investigación**

Esta investigación se basa en la descripción de los hechos y circunstancias en la empresa.

Su objetivo pasa por referir a cada objeto, del modo como trabajan u ocurren, el investigador no influye en el funcionamiento del objeto de

investigación. Esta investigación corresponde a este nivel porque busca describir la influencia de las fallas del sistema RCS del jumbo empernador Boltec S mediante el análisis del principio del diagrama de Pareto. (16)

### **3.4. Diseño de la Investigación**

Es de diseño no experimental, descriptivo simple. Busca recoger información actualizada sobre el objeto de investigación. (16) (p. 91)

#### **M → O**

Donde:

- M: muestra el objeto con el que se realizará el estudio.
- O: observación de la muestra

Para la tesis se aplicó:

#### **M → O**

Donde:

- M: las actividades que se realizan al identificar la influencia del sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S en la disponibilidad.
- O: observación de las fallas funcionales del sistema RCS.

### **3.5. Unidad de Observación**

La unidad de observación está compuesta por 1 jumbo empernador Boltec S de código 2JE032 de la empresa minera El Brocal, para medir en esta máquina las dimensiones de utilización, disponibilidad, confiabilidad, eficiencia y calidad de perforación; se realizó un trabajo de campo, es decir, en el frente donde se realizan las perforaciones.

### 3.5.1. Caja Negra

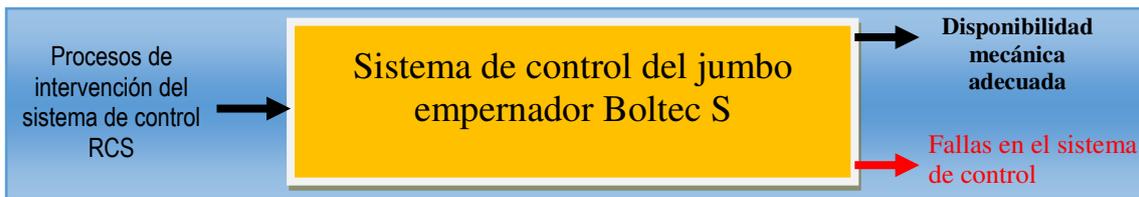


Figura 23. Cuadro de procesos del sistema de control del jumbo

### 3.5.2. Caja Blanca

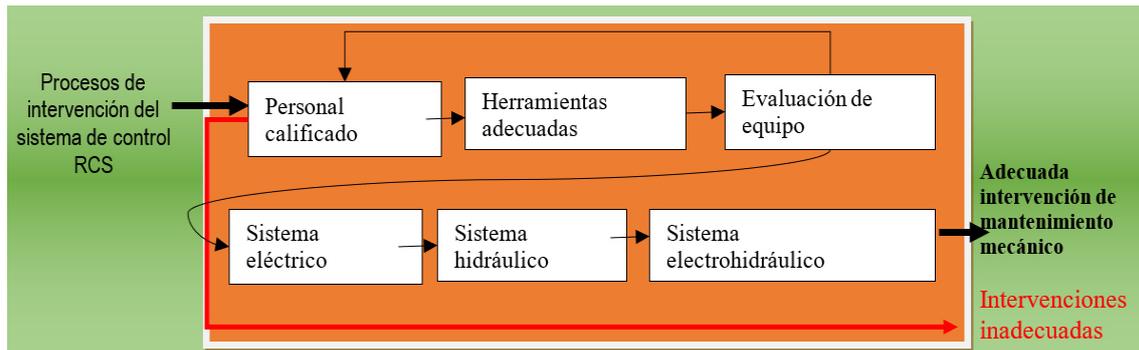


Figura 24. Cuadro de procesos de intervenciones adecuadas

## 3.6. Población y Muestra de la Investigación

### 3.6.1. Población

La población total está constituida por los equipos de perforación que son: 6 jumbos emperadores en la unidad minera El Brocal.

### 3.6.2. Muestra

La muestra está constituida por el jumbo emperador Boltec S de código 2JE032. Se identificó el equipo de perforación de minerales a quien se le realizó el estudio de análisis de fallas eléctricas en el sistema de control RCS en funcionamiento con el motor de corriente alterna, también se colectó una muestra de producción del equipo en funcionamiento en el frente de perforación.

## 3.7. Técnicas de Investigación

### 3.7.1. Técnicas e Instrumentos de Investigación

#### a) Se utilizó la técnica documental:

- Datos históricos de los mantenimientos de equipos
- Datos históricos de la disponibilidad y confiabilidad
- Datos históricos de la disponibilidad mecánica del equipo
- Datos históricos de la utilización de equipo

**b) Se utilizó la técnica empírica:**

- Mediante la observación se realizó un análisis de la información obtenida de datos históricos mediante cuadros y gráficos de barras.
- La recolección de la información fue mediante entrevistas a los integrantes de las áreas de mantenimiento y producción.

**c) Los instrumentos de recolección de datos que se utilizaron fueron:**

- Ficha técnica del equipo
- Lista de chequeos de datos
- Cartilla de mantenimiento
- Reporte de guardia
- Historial de los equipos
- Historial de trabajos pendientes
- Registro de actividad de mantenimiento correctivo y preventivo realizado en cada sistema
- Registro de todas las reparaciones del equipo
- Parte diario del operador
- Tarea mecánico
- Órdenes de trabajo
- Récorde anecdóticos

**3.7.2. Técnicas de Procesamiento de Datos**

Se realizó mediante el principio de Pareto en la cual se determinó la influencia de fallas del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S 2JE032.

**3.8. Procedimientos**

- Evaluar la situación actual del jumbo emperador Boltec S.
- Revisar historial del jumbo emperador Boltec S.
- Revisar historial de disponibilidad y confiabilidad del jumbo Boltec.
- Revisar resultado de cumplimiento de los mantenimientos preventivos y correctivos realizados, cantidad de trabajos pendientes.

- Conformar el grupo de trabajo para el análisis de fallas mecánicas y eléctricas del sistema RCS del jumbo empernador Boltec S.
- Desarrollar la implementación de un control de fallas de componentes mayores.
- Determinar la confiabilidad después del análisis de fallas mecánicas y eléctricas del jumbo empernador Boltec S.
- Realizar las conclusiones y recomendaciones.

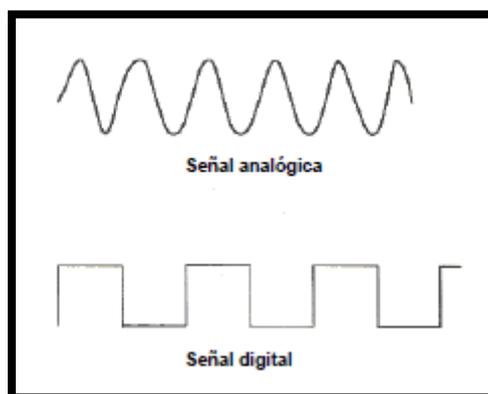
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE FALLAS ELÉCTRICAS EN EL SISTEMA DE CONTROL RCS DEL JUMBO EMPERNADOR BOLTEC S

#### 4.1. Análisis Documental

Se utilizaron tablas concernientes con los datos teóricos del manual del jumbo empernador Boltec S 2J032. Sirvieron como informe en los cálculos de la influencia de las presiones en la operación del Sistema de Control RCS para la confiabilidad y disponibilidad en la unidad minera El Brocal. A continuación, se muestran las señales de comunicación de los sensores del sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S 2JE032 de la unidad minera El Brocal.

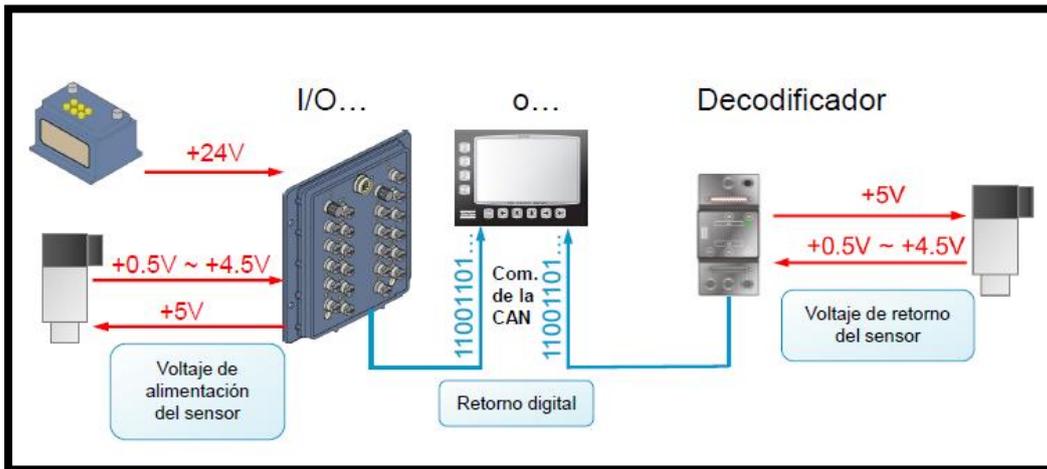
##### 4.1.1. Comunicación del Sensor



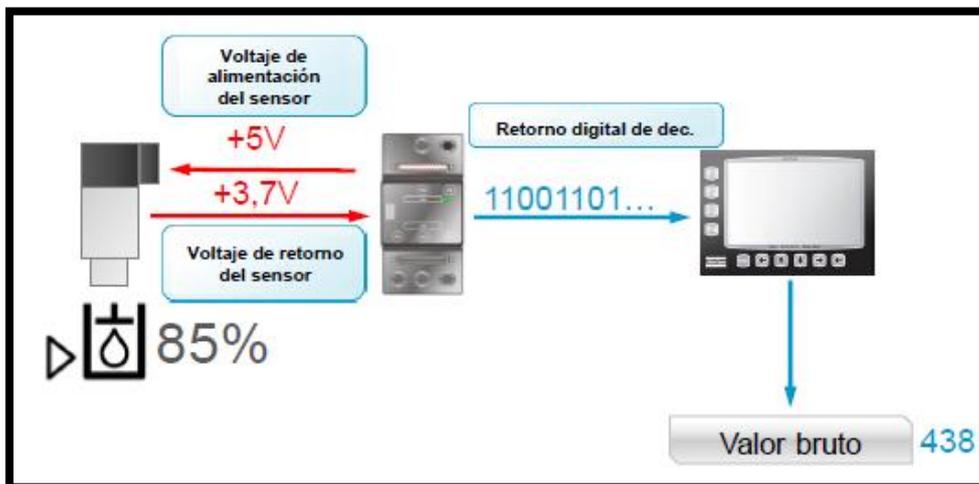
*Figura 25. Señales del Sistema de Control de Equipo RCS. Tomada de Atlas Copco*

**Las señales analógicas** varían constantemente. En este caso, las señales analógicas provienen de los sensores de temperatura, presión, longitud y ángulo.

**Las señales digitales** son constantes y discretas, es decir, encendido/apagado. No hay términos medios. Estas señales están representadas como 0 o 1 en las pantallas de resolución de problemas.



**Figura 26. Comunicación general con señal analógica. Tomada de Atlas Copco**



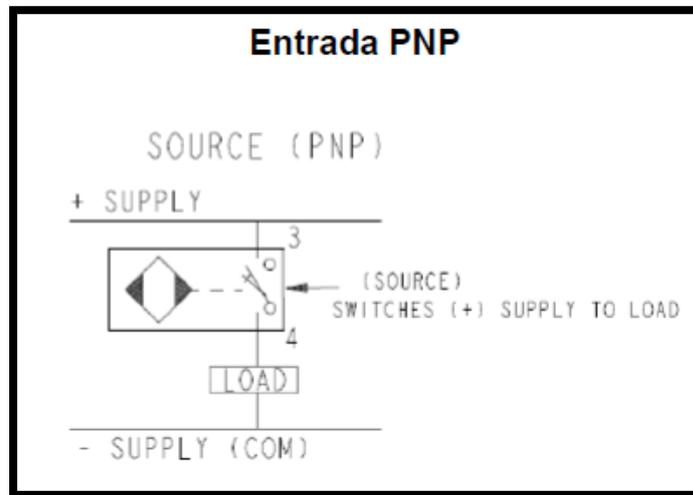
**Figura 27. Comunicación general con sensor analógico. Tomada de Atlas Copco**

**Tabla 10. Tabla de calibración para el sensor de nivel hidráulico**

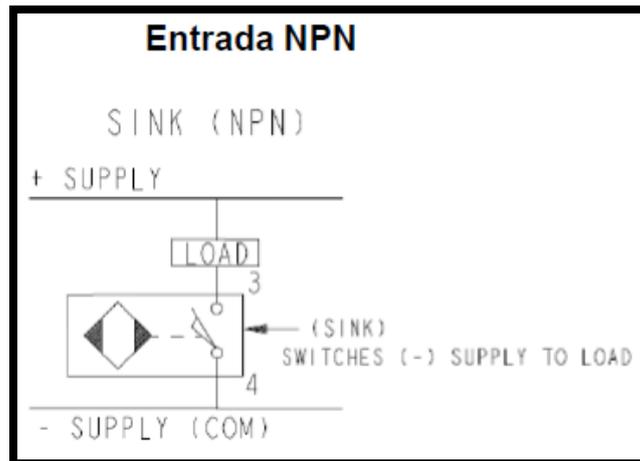
Valor bruto	Valor
102	0
204	42
438	85
616	100

*Tomada de Atlas Copco*

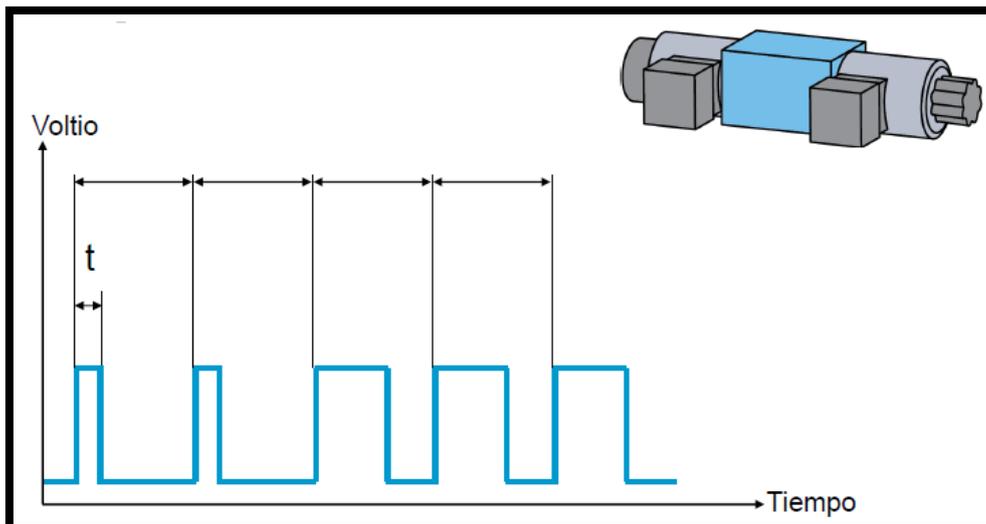
#### 4.1.2. Señales del Sensor



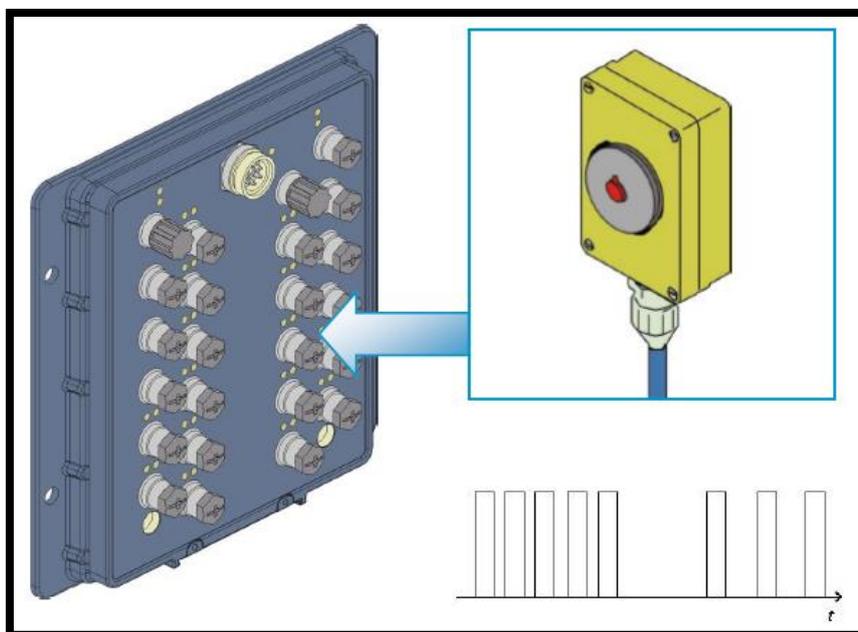
**Figura 28. Entrada PNP de la señal del sensor. Tomada de Atlas Copco**



**Figura 29. Entrada NPN de la señal del sensor. Tomada de Atlas Copco**



**Figura 30. Señal PWM modulación por ancho de pulso. Tomada de Atlas Copco**



**Figura 31. Señal de entrada del Codificador. Tomada de Atlas Copco**

### 4.1.3. Sensores

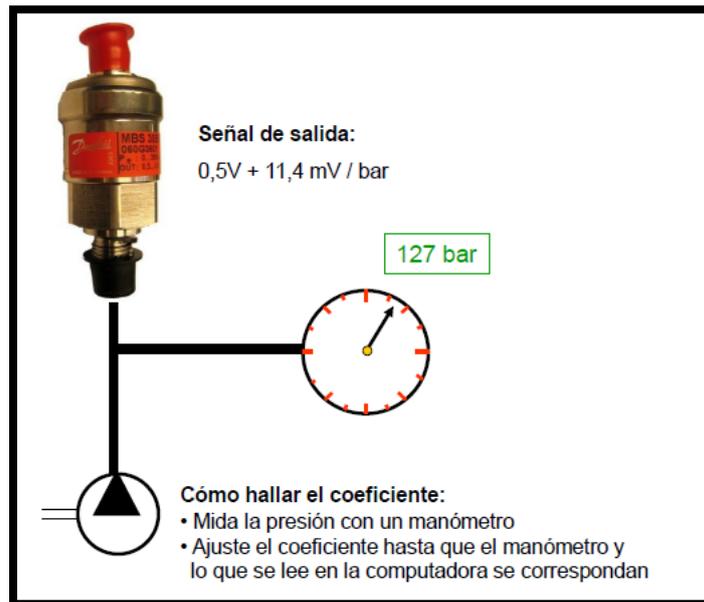


Figura 32. Sensor de presión. Tomada de Atlas Copco

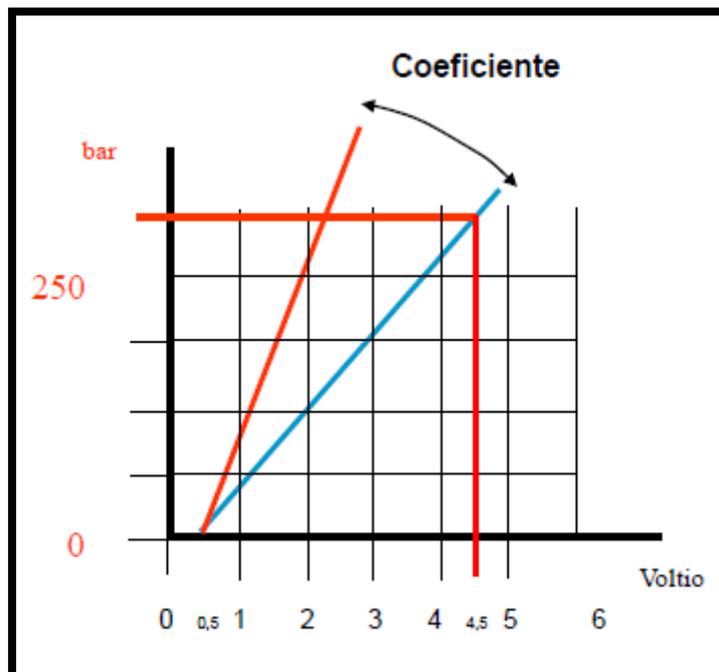
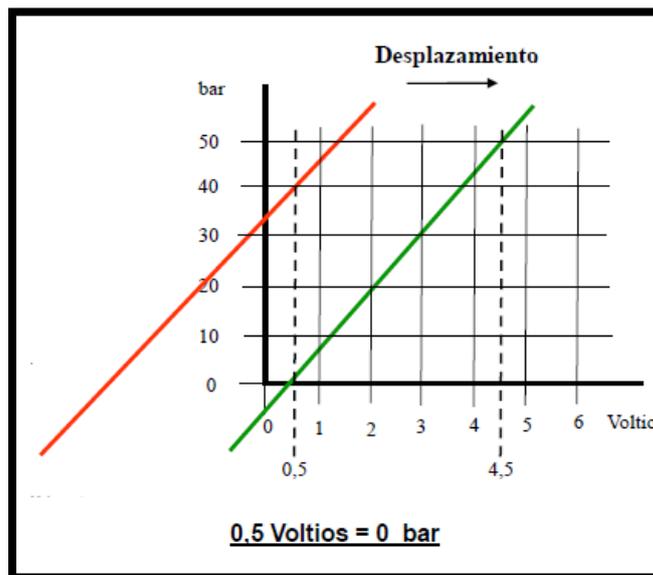


Figura 33. Gráfica de tensión vs. presión según el coeficiente. Tomada de Atlas Copco



**Figura 34. Sensor de presión en desplazamiento. Tomada de Atlas Copco**



**Figura 35. Gráfica de tensión vs. presión según el desplazamiento. Tomada de Atlas Copco**

#### **4.2. Análisis de los KPI del Equipo Jumbo Empernador Boltec S 2JE032**

Ayudaron a analizar la situación actual del equipo jumbo empernador Boltec S concerniente a la disposición del MTBF y MTTR mencionados, a continuación, como resultados de cada uno de ellos antes del estudio:

#### 4.2.1. Disponibilidad

Se determina la disposición del equipo jumbo empernador empleando la tabla de control de horas de parada.

**Tabla 11. Control de horas acumuladas de paradas y total programadas de trabajo**

Flota	Modelo	Código Interno	Sistema Funcional	Hrs Total Programadas	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20	Jul-20	Ago-20	Set-20	Horas trabajadas 2019	Hrs total Paradas
JUMBO	BOLTEC S	2JE032	Perf. 1	5976	138	132.2	133.20	133.90	92.3	98.2	111	70	83.3	991.90	1168.20
BOOMER	S1D	2JF033	Posc.1	3224.3	229.5	217.8	218.80	209.30	152.3	168.8	181	116.4	121.6	1615.70	4840.00
BOOMER	S1D	2JF033	Trans. 1	2050	84.5	83.1	84.10	94.50	81.4	98.3	92.7	80	101.5	800.10	2850.10
BOOMER	RB 282	2JF035	Perf. 1	2237.28	81.22	67.23	68.23	85.00	92.3	85.7	61.8	85	83.2	709.68	2946.96
BOOMER	RB 282	2JF035	Perf. 2	3041.78	81.29	52	53.00	84.50	81.2	89	59.7	80	78.2	658.89	3700.67
BOOMER	RB 282	2JF035	Posc.1	3090	148	150.5	151.50	160.10	153.4	177.8	126	169	151.3	1387.60	4477.60
BOOMER	RB 282	2JF035	Trans. 1	1977	180.88	201.4	202.40	251.90	214.5	166	97	138	113.9	1565.98	3542.98
BOOMER	RB 282	2JF037	Perf. 1	2205.3	115.8	79.5	80.50	110.80	98.3	105.3	104	99	76.1	869.30	3074.60
BOOMER	RB 282	2JF037	Perf. 2	1630	85.2	71.4	72.40	100.10	115.2	103.3	100	101	81.6	830.30	2460.30
BOOMER	RB 282	2JF037	Posc.1	2475	145.2	155.3	156.30	123.10	190.2	190.7	194	182.2	139.2	1475.90	3950.90
BOOMER	RB 282	2JF037	Trans. 1	1785.7	142.3	128.3	129.30	155.40	152.8	185.8	49.4	97.8	96.6	1137.70	2923.40
BOOMER	RB 282	2JF038	Perf. 1	1091.2	92.3	99.7	100.70	111.80	109.3	93	100	88	90.1	885.10	1976.30
BOOMER	RB 282	2JF038	Perf. 2	1054	89.2	92.9	93.90	113.10	104.1	94.9	104	95	93.2	880.20	1934.20
BOOMER	RB 282	2JF038	Posc.1	2200	200.9	205.9	206.90	196.10	240.2	189.8	206	180	184.3	1809.90	4009.90
BOOMER	RB 282	2JF038	Trans. 1	885	85.1	83	84.00	96.50	78.9	96.4	102	100	94.9	820.40	1705.40

**Tomada de la Data del reporte diario del estado del equipo 2JE032**

Según el cuadro de horas de paradas el equipo que tuvo más horas paradas fue el jumbo empernador Boltec S 2JE032 con 4840.0 horas.

De la Tabla 11 se determina la disponibilidad empleando la fórmula de disponibilidad (13)

$$D = (\text{horas total programadas} - \text{horas total de paradas}) / (\text{horas total programadas})$$

Donde:

Horas totales programadas = 5976 horas

Horas totales de paradas=1168.2 horas

$$D = \frac{5976 - 1168.2}{5976}$$

$$D = 0.804$$

$$D = 80.45\%$$

#### 4.2.2. Confiabilidad

Se determina la confiabilidad utilizando el tiempo promedio entre fallas (MTBF) corroborado en la siguiente fórmula (13):

$$MTBF = (Horas\ totales\ programadas - horas\ de\ fallas) / (N.^{\circ}\ total\ de\ paradas)$$

**Tabla 12. Control de Paradas del Boltec S 2JE032**

HTP	HD	HT	T.P.R.	DM	N° Parada	Hr. Falla
5976	4807.80	2754.8	1168.20	80.45%	197	755.15

Donde:

Horas totales programadas = 5976 horas

Horas de fallas = 755.15 horas

N.º total de paradas = 197 veces  $MTBF = (5976 - 755.15) / (197) MTBF = 26.489$  horas/fallas

Con este resultado se deduce que la confiabilidad es que cada 26.489 horas es factible que el equipo falle.

#### 4.2.3. Mantenibilidad

Se determina la mantenibilidad utilizando el tiempo promedio para reparación (MTTR) (13):

$$MTTR = (Total\ de\ horas\ de\ reparación) / (N.^{\circ}\ total\ de\ paradas)$$

**Tabla 13. Control de horas de reparación**

HTP	HD	HT	T.P.R.	DM	UE	MTTR	MTBR	MTBF	N° Parada	HR
5976	4807.80	2754.8	1168.20	80.45%	57.30%	4.71	24.41	26.49	197	928.2

Donde:

Total de horas de reparación = 928.2 horas

N.º total de paradas = 197 veces

$$MTTR = (928.2)/197 \quad MTTR=4.71 \text{ horas/reparación}$$

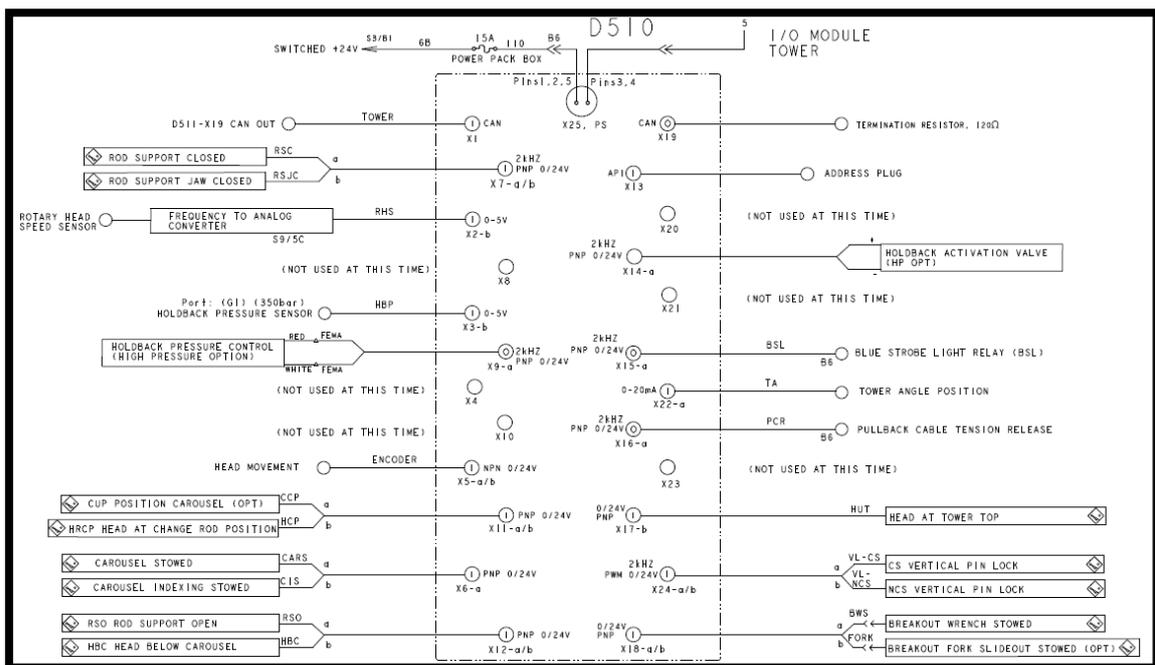
Con este resultado se concluye que, mínimamente, para una reparación se emplean 4.71 horas.

Con la obtención de estos resultados de disponibilidad de 80.45% que indica que está por debajo del límite mínimo que es de 85%, la confiabilidad con 26.489 horas, la mantenibilidad con 4.71 horas, todos estos resultados conllevaron a realizar un análisis de falla ya que estos indicadores son inaceptables para el equipo jumbo emperrador Boltec S 2JE032, a continuación, se desarrolla el análisis a partir del historial de fallas del equipo. (16)

### 4.3. Diagrama de Módulos I/O

De las siguientes Figuras, desde la 36 hasta la 45, se obtuvieron las tablas de conexiones de módulos I/O en el punto IV.3.5. Estos diagramas están incluidos en los planos de la máquina y dan a conocer las configuraciones de los módulos en su versión RCS3 y RCS4, para las referencias citadas en el desarrollo revisar los planos.

#### 4.3.1. Diagramas de RCS3



**Figura 36. Puntos y conexiones del módulo I/O D51. Tomada de Atlas Copco**





### 4.3.2. Diagramas de RCS4

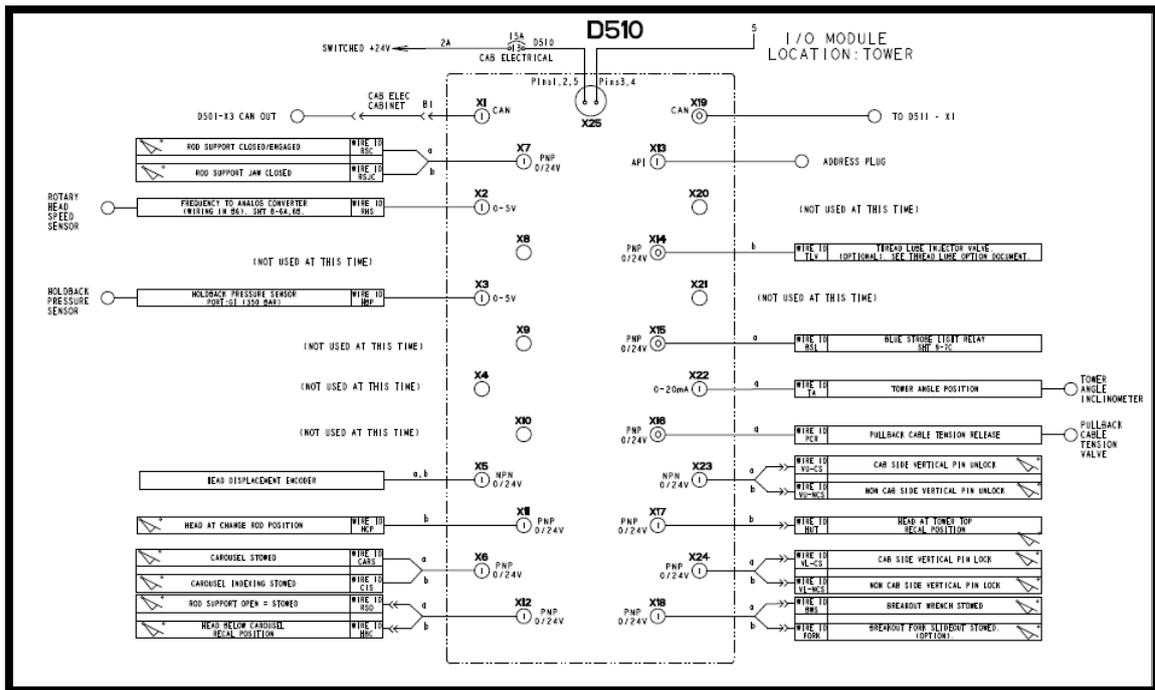


Figura 41. Puntos y conexiones del módulo I/O D510. Tomada de Atlas Copco

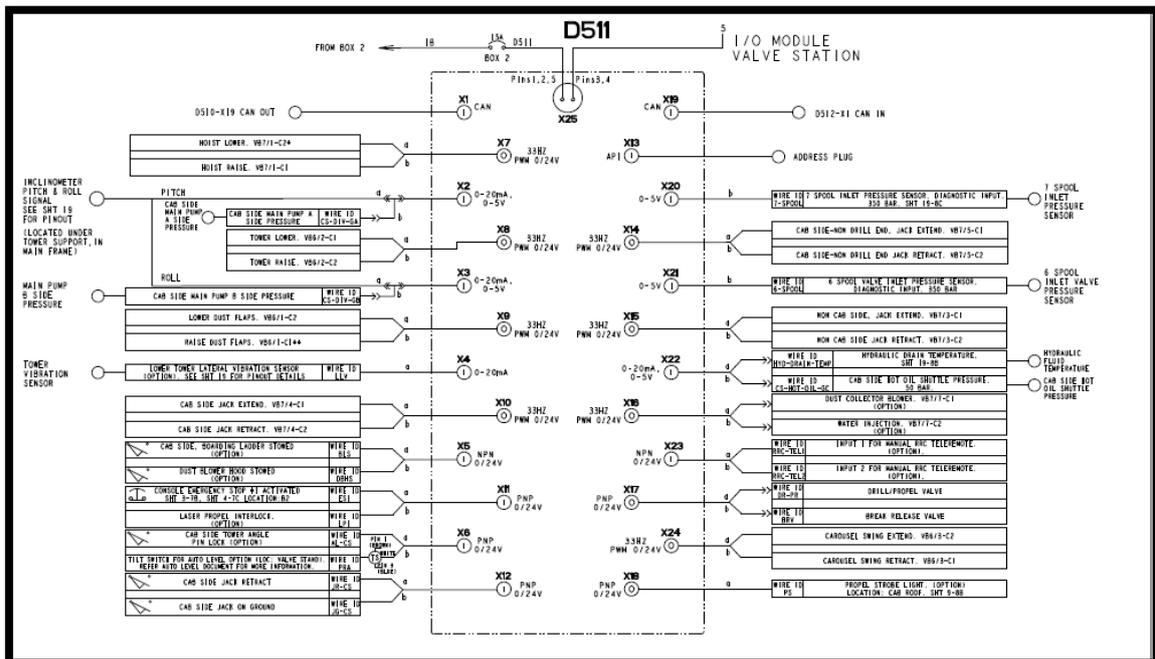


Figura 42. Puntos y conexiones del módulo I/O D511. Tomada de Atlas Copco

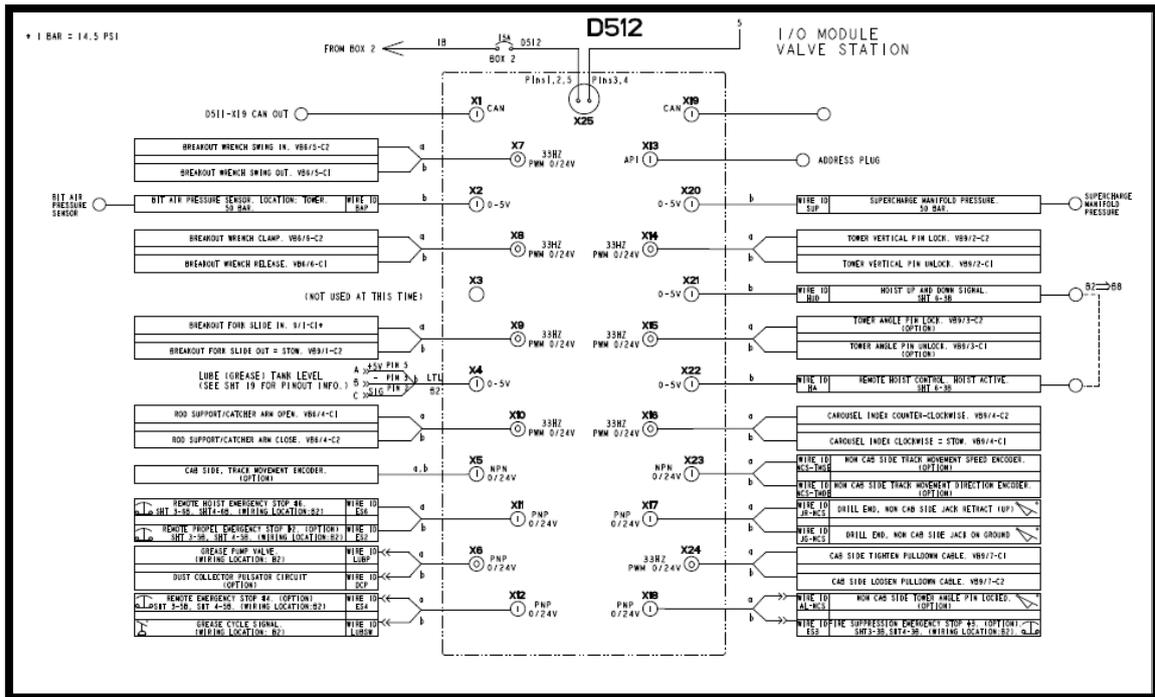


Figura 43. Puntos y conexiones del módulo I/O D512. Tomada de Atlas Copco

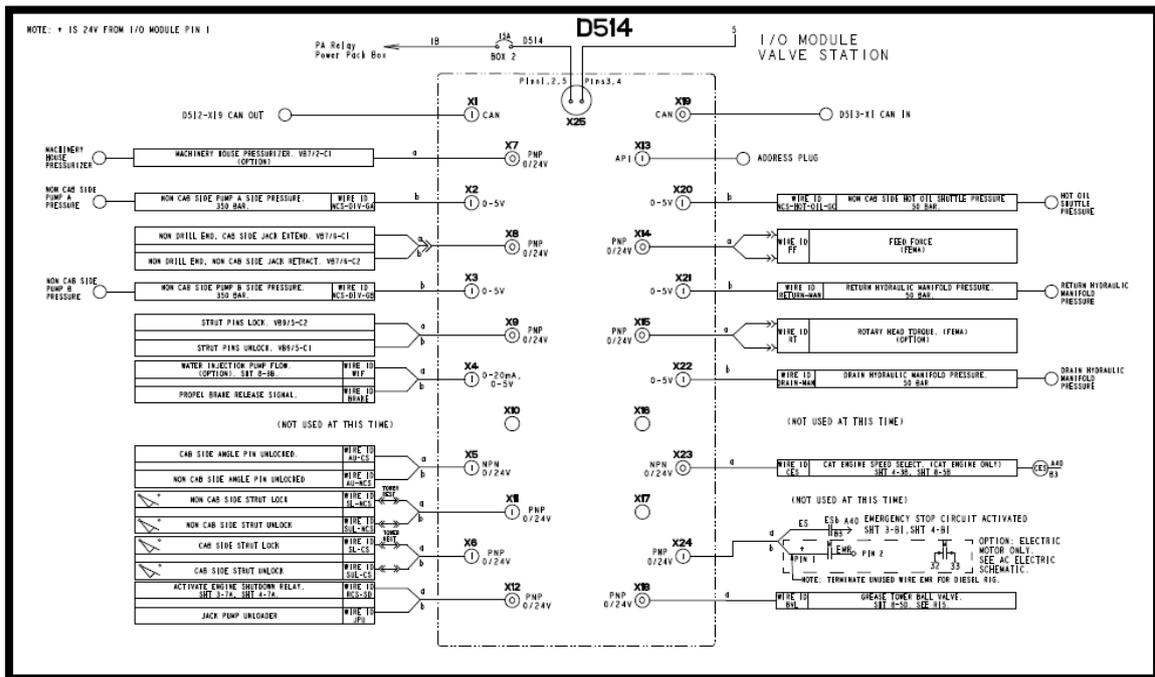


Figura 44. Puntos y conexiones del módulo I/O D514. Tomada de Atlas Copco

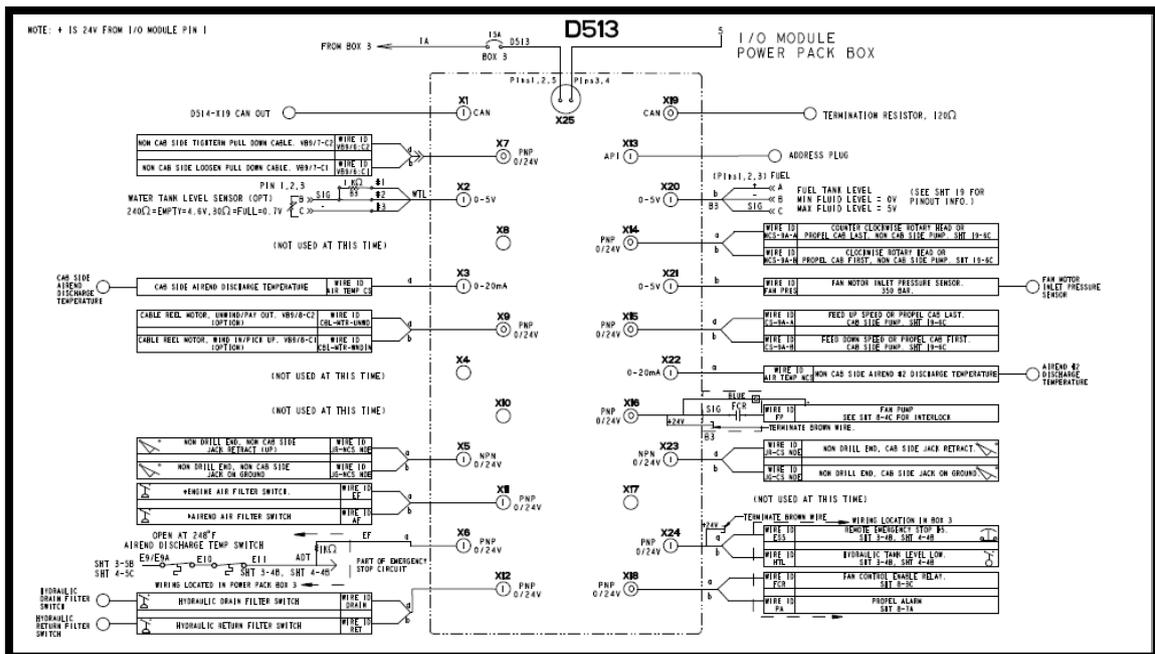


Figura 45. Puntos y conexiones del módulo I/O D513. Tomada de Atlas Copco

#### 4.4. Conexiones, Tipo de Conductores y Especificaciones de Estos

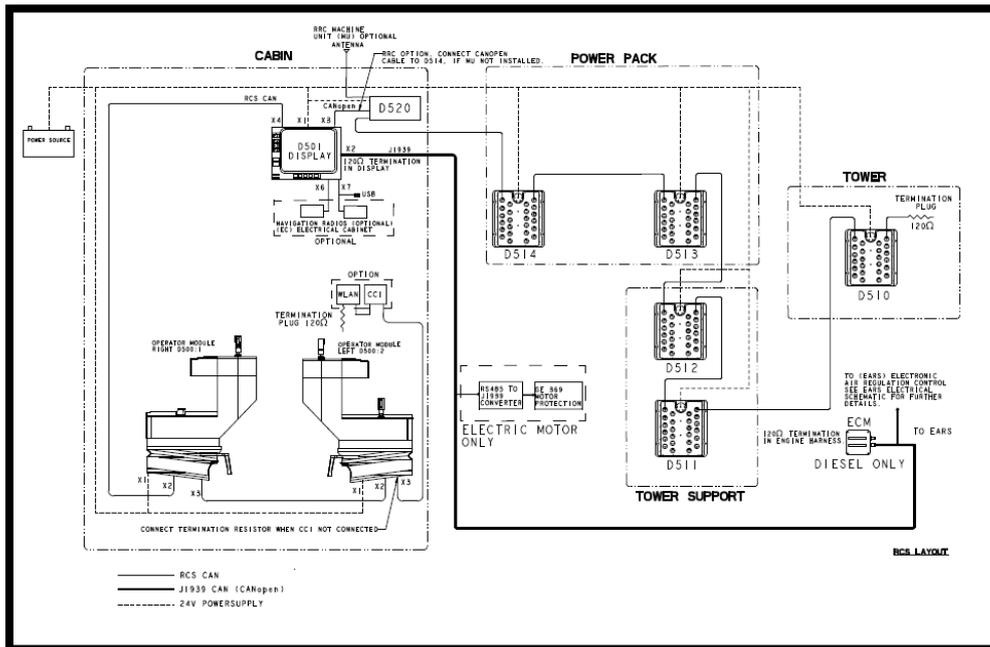
En esta sección se dará a conocer algunas especificaciones de los conductores, cuáles unen a qué módulos y un cuadro con la información de las señales que transportan estos cables incluyendo la disposición de sus pines.

Como se puede apreciar en la Figura 46, se observan los distintos módulos del RCS3 presentados anteriormente, la ubicación de los módulos y los conductores que interconectan a estos.

En la cabina se pueden encontrar los módulos D500:1y2, D501 y D520. Luego se tienen los D514 y D513 en el *power pack*, D512 y D511 en el soporte de la torre, D510 en la torre y el ECM junto con el EARS en la plataforma, cercanos al motor diésel.

Las distintas conexiones tienen un tipo de conductor específico, para la alimentación de los módulos se utiliza un conductor del tipo 24V *Powersupply*, para la comunicación entre los módulos D5xx se utiliza un conductor tipo *Can* que puede ser RCS *Can* o *Can open*. Y para el ECM y el EARS se utiliza un conductor tipo J1939 *Can*. Todos los módulos se comunican con D501, ya que

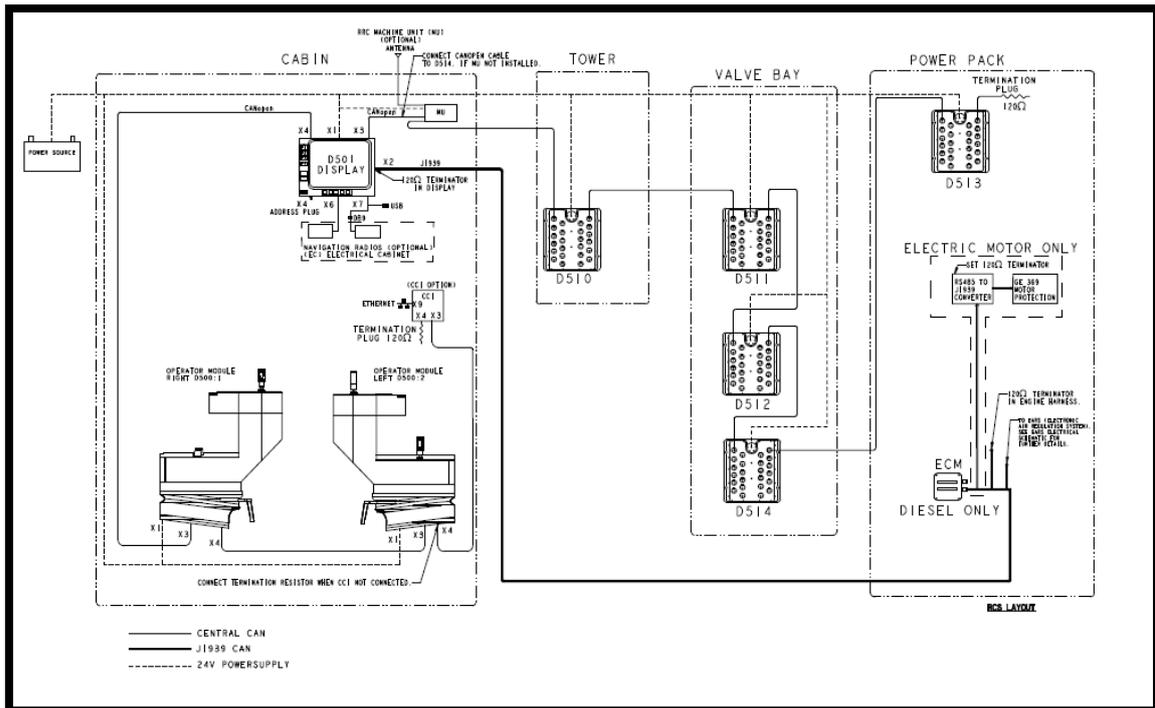
siendo el computador central debe tener todos los tipos de conexiones disponibles.



**Figura 46. Disposición RCS 3 (RCS3 Layout). Tomada de Atlas Copco**

En la Figura 47 se puede observar la forma en que están conectados los distintos módulos del RCS4 y dónde se ubica cada uno de estos módulos. Al igual que en el RCS3 se pueden encontrar en la cabina los módulos D500:1y2, D501 y D520. Luego se tienen el D510 en la torre, los módulos D511, D512 y D514 en la bahía de válvulas (*Valve Bay*), y el módulo D513 y el ECM junto con el EARS en *Power Pack*.

Las distintas conexiones tienen un tipo de conductor específico, para la alimentación de los módulos se utiliza un conductor del tipo 24V *Powersupply*, para la comunicación entre los módulos D5xx se utiliza un conductor tipo *Can open*. Y para el ECM y el EARS se utiliza un conductor tipo J1939 *Can*. Todos los módulos se comunican con D501, ya que siendo el computador central debe tener todos los tipos de conexiones disponibles.



**Figura 47. Disposición RCS 4 (RCS4 Layout). Tomada de Atlas Copco**

## 4.5. Prueba de hipótesis

### 4.5.1. Hipótesis General

Se logra determinar que las fallas eléctricas en el sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S 2JE032 genera pérdidas en la producción de mineral por lo que al disminuir estas fallas se logró aumentar la productividad y el tiempo de vida de los equipos, a su vez se redujo el costo en repuestos mejorando, de esta forma, la confiabilidad y disponibilidad mecánica del jumbo empernador Boltec S de la unidad minera El Brocal.

### 4.5.2. Hipótesis Específicas

- Se logró identificar las fallas eléctricas del sistema de control del jumbo empernador Boltec S 2JE032 permitiendo tener un mayor control sobre el tiempo y periodo de mantenimiento del jumbo en la unidad minera El Brocal
- Al alargar la vida útil de los equipos y componentes del jumbo empernador Boltec S se lograron reducir los costos de adquisición de los repuestos.
- Mediante el análisis de fallas eléctrica del jumbo empernador Boltec S 2JE032 se determinaron las fallas más frecuentes que se generan en el sistema de control RCS.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Resultados de la Investigación**

En este análisis se contemplará la mejora, si existe el conocimiento y la experiencia necesaria para desarrollar la confiabilidad y disponibilidad del sistema RCS en el jumbo empernador Boltec S 2JE032.

Luego, haciendo variar las pruebas de fallas eléctricas y de operación del sistema de control RCS en el jumbo empernador Boltec S se determinan los valores de la Tabla 13 donde se visualiza el mejor resultado, se realizarán nuevas comparaciones para observar su influencia en la disponibilidad y confiabilidad, lo cual se verá en la Tabla 14; dentro del kit de actualización de RCS3 a RCS4 en el jumbo empernador Boltec S se pueden apreciar distintas mejoras en accionamientos, controladores y *software*, como se menciona anteriormente, las palancas del operador tienen nuevo decodificador, se incluyen tapones de dirección, palancas de mando que incluyen sensores *Hall efect* y la reorganización de algunos botones de funciones, además, se agregaron otros en el panel izquierdo para controlar la llave de corte. La velocidad de comunicación antes era de 125 Kbits, ahora es de 250 Kbits y ya no se utiliza el RSC CA, es reemplazado por el *Can Open*. El controlador CCI se cambia por uno con aspecto nuevo. Y los módulos I/O, sensores, pantalla RCS4 y la radio

remota RRC se reemplazan más por compatibilidad que por nuevas funcionalidades.

La actualización contempla un nuevo software de arranque Atlas versión 4.xx que posee un arranque más rápido e intuitivo, posee un arranque recuperativo, se agrega un registro de arranque y se agregan nuevas funciones como un USB de seguridad que permite un acceso seguro y permite un mayor control en la intervención de la máquina. También incluye un sistema de perforación preciso, la detección de tricono, se permite agregar bloqueos de supresión para que el operador no pueda eliminar las alarmas. Para cuando los cilindros no están apoyados o el carrusel se mueve de su posición durante la perforación se entrega una alerta y un sistema para reiniciar el pozo perforado, se pueden visualizar temperaturas hidráulicas y descargas de aire, y finalmente se eliminan unos parámetros no utilizados en el compresor.

## 5.2. Análisis de los Resultados

En las Tablas 13 y 14 se verán con detalle las fallas eléctricas y detenciones de la máquina durante el año 2019 – 2020.

**Tabla 14. Fallas eléctricas y tiempos de detenciones del equipo Boltec S 2JE032**

Equipo	Fecha	Hora	Duración	Razón	Fecha Final
2JE032	18-ago-19	21:47:39	5:44:42	Sist. izado / gabinete de control	19-08-2019 3:32
2JE032	19-ago-19	8:36:11	4:09:22	Sist. izado / falla encoder	19-08-2019 12:45
2JE032	22-oct-19	20:17:31	29:32:29	Control / PLC	24-10-2019 1:50
2JE032	6-nov-19	10:31:44	0:59:54	24 V / batería-cables batería	06-11-2019 11:31
2JE032	20-dic-19	2:31:46	2:42:04	Elect. aux. / consola operador	20-12-2019 5:13
2JE032	1-feb-20	15:11:37	5:14:13	24 V / batería-cables batería	01-02-2020 20:25
2JE032	17-feb-20	16:31:13	2:35:43	Sist. izado / falla encoder	17-02-2020 19:06
2JE032	17-feb-20	19:06:56	0:09:24	Sist. izado / falla encoder	17-02-2020 19:16
2JE032	11-mar-20	20:25:23	1:02:28	24 V / Sist. sensores alarmas	11-03-2020 21:27
2JE032	16-mar-20	20:00:00	425:27:09	Sist. izado / gabinete de control	03-03-2020 13:27
2JE032	8-abr-20	23:55:32	0:47:41	24 V / Sist. sensores alarmas	09-04-2020 0:43
2JE032	9-abr-20	6:45:10	1:14:50	24 V / Sist. sensores alarmas	09-04-2020 8:00

2JE032	10-abr-20	16:30:00	44:50:00	24 V / Sist. sensores alarmas	12-04-2020 13:20
2JE032	24-abr-20	8:57:03	2:19:12	24 V / relays-bracker	24-04-2020 11:16
2JE032	11-jun-20	5:19:00	19:16:41	24 V / alternador	12-06-2020 0:35
2JE032	18-jun-20	8:00:00	15:01:48	24 V / alternador	18-06-2020 23:01
2JE032	4-jul-20	6:30:53	8:56:23	24 V / Sist. sensores alarmas	04-07-2020 15:27
2JE032	21-jul-20	15:36:35	3:24:12	Control / PLC	21-07-2020 19:00

En esta tabla se puede observar con detalles los tiempos y las fechas específicas de las fallas en el sistema RCS3, las horas de fallas al sumarlas dan 573,47 horas al año de detención de la máquina.

**Tabla 15. Fallas eléctricas y tiempos de detenciones del equipo Boltec S 2JE032**

Equipo	Fecha	Hora	Duración	Razón	Fecha Final
2JE032	02-ago-19	0:45:11	0:35:15	Elect. Aux. / MCC cab. aux.	02-08-2019 1:20
2JE032	27-ago-19	15:14:50	4:46:10	24 V / motor arranque	27-08-2019 20:01
2JE032	06-oct-19	13:25:34	2:58:41	Eléct. aux. / switch sensor	06-10-2019 16:24
2JE032	11-nov-19	6:23:44	0:50:13	24 V / bobinas válvula control	11-11-2019 7:13
2JE032	1-dic-19	9:13:52	2:28:48	24 V / sist. sensores alarmas	01-12-2019 11:42
2JE032	5-feb-20	20:41:27	6:26:06	24 V / batería-cables batería	06-02-2020 3:07
2JE032	8-may-20	11:40:47	0:00:13	24 V / sist. sensores alarmas	08-05-2020 11:41
2JE032	10-may-20	8:45:00	32:51:26	24 V / alternador	11-05-2020 17:36
2JE032	1-jul-20	0:39:27	5:53:35	Rotación / gabinete de control	01-07-2020 6:33

Como se puede apreciar en esta tabla, se mencionan los detalles de tiempo y fecha de las fallas eléctricas y detenciones de la máquina producto de fallas en el sistema de control RCS4 del jumbo emperador Boltec S 2JE032. Se nota que las fallas de RCS4 son mucho menores en comparación a las del RCS3. Si se suman las horas de fallas de RCS4 tenemos 56,84 horas de detención al año.

### 5.3. Discusión de Resultados

#### 5.3.1. Interpretación de los Resultados

Al analizar la influencia de las fallas eléctricas del jumbo empernador Boltec S sobre la disponibilidad y confiabilidad, se determina que se mejora la disponibilidad mecánica del jumbo. Se presentarán las siguientes tablas (Tablas 15 y 16) en donde se pueden ver las fallas eléctricas asociadas a RCS3, RCS4 y se entrega el tiempo de detención producto de estas. Luego, con estos datos de detención en horas y con el valor de cada análisis, se calculan las pérdidas para el RCS3 y para el RCS4, estos valores se compararán para ver qué sistema genera menor pérdida. También, con estos datos, se verá cómo se afecta la disponibilidad de la máquina al actualizarla y así poder tener una mayor confiabilidad mecánica y optimización en aspectos técnicos.

#### 5.3.2. Análisis de Disponibilidad y Confiabilidad

La intervención en la máquina será solo en la parte de control RCS y sensores, no en los circuitos de control, de partida, circuitos hidráulicos o partes mecánicas. Lo que lleva a observar que el grado de intervención no será muy alto, la máquina estará 5 días detenida, con personal calificado y especializado de Atlas Copco, trabajando según las normas.

**Tabla 16. Fallas eléctricas en sistema del equipo Boltec S 2JE032**

Equipo	Fecha	Duración	Razón	h	Sub sistema
2JE032	18-dic-13	5:44:42	Sist. izado / gabinete de control	5,75	Gabinete de control
2JE032	19-dic-13	4:09:22	Sist. izado / falla encoder	4,16	Falla encoder
2JE032	22-feb-14	29:32:29	Control / PLC	29,54	PLC
2JE032	6-mar-14	0:59:54	24 V / batería-cables batería	1,00	Batería-cables batería
2JE032	20-abr-14	2:42:04	Elect. aux. / consola operador	2,70	consola operador
2JE032	1-jun-14	5:14:13	24 V / batería-cables batería	5,24	Batería-cables batería
2JE032	17-jun-14	2:35:43	Sist. izado / falla encoder	2,60	Falla encoder
2JE032	17-jun-14	0:09:24	Sist. izado / falla encoder	0,16	Falla encoder
2JE032	11-jul-14	1:02:28	24 V / sist. sensores alarmas	1,04	Sist. sensores alarmas
2JE032	16-jul-14	425:27:09	Sist. izado / gabinete de control	425,45	Gabinete de control
2JE032	8-ago-14	0:47:41	24 V / sist. sensores alarmas	0,79	Sist. sensores alarmas
2JE032	9-ago-14	1:14:50	24 V / sist. sensores alarmas	1,25	Sist. sensores alarmas
2JE032	10-ago-14	44:50:00	24 V / sist. sensores alarmas	44,83	Sist. sensores alarmas

2JE032	24-ago-14	2:19:12	24 V / relays-bracker	2,32	relays-bracker
2JE032	11-oct-14	19:16:41	24 V / alternador	19,28	Alternador
2JE032	18-oct-14	15:01:48	24 V / alternador	15,03	Alternador
2JE032	4-nov-14	8:56:23	24 V / sist. sensores alarmas	8,94	Sist. sensores alarmas
2JE032	21-nov-14	3:24:12	Control / PLC	3,40	PLC
Total			573,47		

**Tabla 17. Fallas eléctricas en sistema del equipo Boltec S 2JE032**

Equipo	Fecha	Duración	Razón	h	Subsistema
2JE032	2-ene-14	0:35:15	Elect. aux. / MCC cab. aux.	0,59	MCC cab. Aux.
2JE032	27-ene-14	4:46:10	24 V / motor arranque	4,77	Motor arranque
2JE032	6-mar-14	2:58:41	Elect. aux. / switch sensor	2,98	Switch sensor
2JE032	11-abr-14	0:50:13	24 V / bobinas válvula control	0,84	Bobinas válvula control
2JE032	1-may-14	2:28:48	24 V / sist. sensores alarmas	2,48	Sist. sensores alarmas
2JE032	5-jul-14	6:26:06	24 V / batería-cables batería	6,44	Batería-cables batería
2JE032	8-oct-14	0:00:13	24 V / sist. sensores alarmas	0,00	Sist. sensores alarmas
2JE032	10-oct-14	32:51:26	24 V / alternador	32,86	Alternador
2JE032	1-dic-14	5:53:35	Rotación / gabinete de control	5,89	Gabinete de control
Total			56,84		

Según estas tablas se pueden apreciar muy fácilmente las fallas más críticas y las horas totales al año de indisponibilidad de las máquinas producto de fallas eléctricas del sistema RCS que son mucho más altos en RCS3 que en RCS4. Lo que puede ser considerada una ventaja del sistema RCS4 a su vez de que brinda mayor capacidad para identificar dichas fallas críticas, pero antes de decidir qué tan conveniente es este sistema se hará un análisis un poco más detallado.

Entonces, se tiene que las horas de indisponibilidad u horas de detención por fallas eléctricas de la máquina, para RCS3 son 573,47 horas al año y para RCS4 son 56,84 horas al año, información obtenida desde las Tablas 15 y 16.

En la compañía se define el mes como 720 horas, esto quiere decir que en un año se tienen 8640 horas. Con estos datos se pueden pasar las horas a un porcentaje, lo cual facilitarán los cálculos. Se considera 8640 h como el 100%, entonces, por cálculo con regla de tres se obtiene que para RSC3 hay un 6,63% de indisponibilidad al año y para RCS4 un 0,65%.

Ahora, se debe considerar que al alargar la vida útil de los componentes mayores del jumbo empernador Boltec S tendrá como consecuencia una reducción en los costos de adquisición de los repuestos. Según los datos proporcionados por Atlas Copco en la cotización, la máquina estaría detenida por 5 días lo que significan 120 h o un 1,38% de indisponibilidad. Y al analizar la influencia de las fallas eléctricas y su corrección la indisponibilidad disminuirá hasta un valor similar o cercano a 0,65% como se observó en la 2JE032 con RCS4. Entonces es válido decir que se tendrá un porcentaje de disponibilidad para perforación dado por  $6,63\% - 0,65\% = 5,98\%$  de disponibilidad. Lo que significa 516,67 h de actividad.

Entonces, aplicando este análisis de fallas eléctricas y mecánicas del jumbo empernador Boltec S, permite identificar las fallas más frecuentes que se generan en la máquina de manera óptima.

#### **5.4. Aportes y Aplicaciones de los Resultados**

En el análisis de fallas eléctricas en el sistema de control RCS para la disponibilidad y confiabilidad del jumbo empernador Boltec S 2JE032 se pudo apreciar que influyen severamente en la eficiencia de la máquina reduciendo su tiempo de vida e incrementando el gasto en la compra de repuestos por lo que obtuvo como resultado una mayor identificación de estas fallas y su posterior mantenimiento para obtener un eficiente rendimiento.

## CONCLUSIONES

Al término del presente trabajo de investigación se alcanzaron las siguientes conclusiones:

- El jumbo emperrador Boltec S 2JE032 mejora el proceso de trabajo en la compañía minera El Brocal, lo que indica que, el análisis de fallas eléctricas en el sistema de control RCS a tiempo, permitió reflejar resultados positivos en un incremento en la disponibilidad y confiabilidad del equipo e incremento en la producción de mineral, como consta en la Tabla 11, donde antes de realizar el análisis de fallas eléctricas se tenía una disponibilidad de 80.45% y una vez realizado el análisis de fallas eléctricas se incrementó la disponibilidad y confiabilidad del equipo en 5.98%.
- Al analizar las fallas eléctricas del sistema de control RCS empleando el método del diagrama de Pareto ayudó a identificar qué componentes eléctricos son los que presenta mayor frecuencia de fallas, tal es el caso de los sensores, cableado y módulos de control electrónico fusibles, reduciendo la vida útil del jumbo emperrador Boltec S.
- Luego de ver los circuitos del sistema RCS3 y RCS4 y las distintas partes del RCS, se analiza el funcionamiento y otras características que posee el RCS4 donde es conveniente realizar el cambio de versión de RCS3 a RCS4 en el jumbo emperrador Boltec S, ya que es un sistema más resistente a las condiciones operativas del equipo y los trabajos de mantenimiento son más prolongados.
- Finalmente, sí ha sido conveniente el desarrollo de la investigación donde se utilizó el concepto de porcentaje de disponibilidad y confiabilidad. Por lo tanto, se referirá en valores de porcentaje de disponibilidad que es lo que le interesa a la compañía, entonces aplicando esta actualización se tiene un aumento en la disponibilidad de la máquina en +5,98%, lo que significa 516,67 horas de operación. Lo que es conveniente frente al 6,63% de indisponibilidad (disponibilidad negativa -6,63%).

## RECOMENDACIONES

- El área de mantenimiento y los departamentos de gestión han de poseer información técnica del fabricante para planear las acciones de mantenimiento apoyado por el seguimiento a los ajustes de cada elemento de parámetros eléctricos, voltaje, amperaje, resistencia eléctrica sin peligro de desperfecto por maniobra fuera del estándar.
- Realizar un seguimiento estadístico a la utilización del equipo, porque de este factor depende la efectividad global del equipo y por ende la productividad.
- El ingeniero residente debe capacitar al personal operador del equipo en temas de operación, seguridad y cuidado del equipo porque los resultados son muy alentadores y aseguran la evaluación confiable de la productividad en altos índices cuando el equipo no presenta fallas por mala operación.
- Realizar un control minucioso de los componentes eléctricos y mecánicos, para ello se elabora un programa de mantenimiento e inspección con lo que ayudará a incrementar el tiempo de vida útil de los componentes eléctricos del jumbo empernador Boltec S 2JE032.
- Cumplir con los mantenimientos preventivos programados semanal y mensualmente.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **ATLAS COPCO.** *Productora de maquinaria de perforación.* 2012
2. **VILCAPOMA ROMAN, F. J.** *Análisis de fallas mecánicas en el brazo B26XLB del jumbo empernador JO129YA en la compañía minera Volcan S. A. A. unidad Andaychagua.* 2017.
3. **GOMEZ HIDALGO, M. R.** *Análisis de fallas en la maquinaria minera jumbo DPJ-029 de la empresa IESA S. A. Bolivia: Oruro e Impresos S. A.* 2013.
4. **MAGO GUTIERREZ, K. I.** *Diagnóstico de falla a los equipos de la gerencia de materiales de la empresa Orinoco Iron S. C. S. Colombia: Editorial Versus S. A.* 2006.
5. **RUIZ GONZÁLES, Jason Mauricio.** *Hidráulica.* 2015.
6. **CORIS ROJAS, Uver Frank.** *Optimización y confiabilidad del sistema de izaje del Loading Pochet Nv. 250 mediante la automatización del proceso de Winche Esperanza (Minera Animon Cerro de Pasco) [en línea].* Universidad Continental, 2017.  
[http://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/continental/3895/3/INV\\_FIN\\_109\\_TE\\_Coris\\_Rojas\\_2017.pdf](http://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/continental/3895/3/INV_FIN_109_TE_Coris_Rojas_2017.pdf)
7. **VILLALOBOS, Francisco.** *Joy Global: perforadora eléctrica & H320 XPC para la minería.* [en línea]. 2018. [Consultado el 5 de marzo de 2018].  
<http://leadersandmining.com/article/joy-global-perforadora-electrica-ph320-xpcpara-la-mineria.html>
8. **LÓPEZ JIMENO, Carlos.** *Equipos de perforación subterránea.* [en línea]. 2015. [Consultado el 5 de marzo de 2018].  
<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407993358845947/EQUIPOS%0A>
9. **MOUBRAY, J.** *Mantenimiento centrado en la confiabilidad.* 2000.
10. **CAMBA REYES, N. J.** *Mantenimiento basado en la confiabilidad en el equipo más crítico del área de molinos de planta Monaca Maracaibo I.* Venezuela. 2011.
11. **MOUBRAY, J.** *Mantenimiento centrado en la confiabilidad.* 2002.
12. **GOOGLE.COM.** *Representación del esquema del diagrama de Pareto.*  
[www.google.com/diagrama% /de\\_/Pareto](http://www.google.com/diagrama%20de%20Pareto)

13. **OLAZABAL MORA, Javier Octavio.** *Factibilidad del cambio de sistema de control de mina en la unidad minera Toquepala* [en línea]. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013.  
[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4950/BALTUANO\\_EDWIN\\_DISEÑO\\_MAQUINA\\_COMPACTADORA\\_LATAS\\_BEBIDAS\\_ALUMINIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4950/BALTUANO_EDWIN_DISEÑO_MAQUINA_COMPACTADORA_LATAS_BEBIDAS_ALUMINIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
14. **BERNAOLA ALONSO, José, CASTILLA GÓMEZ, Jorge y HERRERA HERBERT, Juan.** *Perforación y voladura de rocas en minería.* [en línea]. 2013. [Consultado el 5 de marzo de 2018].  
[http://oa.upm.es/21848/1/20131007\\_PERFORACION\\_Y\\_VOLADURA.pdf](http://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf)
15. **RUIZ GONZÁLES, Jason Mauricio.** *Hidráulica.* 2017.
16. **ESPINOZA, Ciro.** *Metodología de la investigación tecnológica.* Huancayo-Perú : Imagen Gráfica. 2010.
17. **URIBARRI URBINA, Moner Wilson.** Módulo técnico ambiental 1. perforacion : [en línea]. 2004. [http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download\\_wiki\\_attachment.php?attId=127](http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=127)
18. **CARIAPAZA TURPO. Eduardo Héctor, ALMERÓN, Marcos y HUAMANÍ SULLA, Briam.** *Normas SAE. Normas que regulan la calidad del acero. SAE:JA1011, 1999.*
19. **VASQUEZ OYARZUN, D. E.** *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Condelco División Andina.* Chile. 2008.

## **ANEXO**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

**Autor:** Bach. Gavilan Crispin, Roger Gregorio

**Título:** Análisis de fallas eléctricas en el sistema de control RCS que influyen en la disponibilidad y confiabilidad del jumbo empernador Boltec S en la unidad minera El Brocal – 2020.

**Tabla 18. Matriz de consistencia**

Planteamiento del problema	Marco teórico	Metodología
Problema general	Antecedentes	Método
¿Cómo influyen las fallas del sistema de control RCS en la disponibilidad mecánica del jumbo empernador Boltec S en la empresa minera El Brocal?	1. Vilcapoma Román (2017), tesis “Análisis de fallas en el brazo B26XLB del jumbo empernador J0129YA en la unidad minera Andaychagua”. 2. Gómez Hidalgo (2013), tesis “Análisis de fallas en la maquinaria minera jumbo DPJ-029 en la empresa minera IESA S. A.” 3. Mago Gutiérrez (2006), tesis “Diagnóstico de análisis de fallas en los equipos pesados de la gerencia de materiales de la empresa Orinoco Iron. S. C. S.”	Inductivo - deductivo
Problemas específicos	4. Ruiz Pinzón (Bolivia 2009), tesis “Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Interglobal INC”. 5. Figueroa Morales (Colombia 2009), tesis “Diseño de un programa de mantenimiento preventivo a los equipos pesados de la empresa Centtracar”.	Tipo:
¿Cómo analizar las fallas eléctricas en cada subsistema que componen el sistema de control RCS del jumbo empernador Boltec S 2JE032 en la empresa minera El Brocal?		Básico
¿Cómo analizar la baja disponibilidad y confiabilidad del jumbo empernador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal?	Teoría básica	Nivel:
		Descriptivo
		Diseño de la investigación

<p>¿Cómo realizar un control adecuado de los componentes eléctricos del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal?</p>	<p><b>Conceptos de las palabras claves:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de falla</li> <li>• Falla</li> <li>• Causas de una Falla</li> <li>• Principio de Pareto</li> <li>• Mantenibilidad</li> <li>• Parámetros básicos de la Mantenibilidad</li> <li>• Confiabilidad</li> <li>• Tiempo promedio entre falla (MTBF)</li> <li>• Tiempo predio de reparación (MTTR)</li> <li>• Disponibilidad</li> <li>• Importancia de la disponibilidad</li> <li>• Equipo jumbo emperador Boltec S</li> <li>• Sistema de control de equipo RCS</li> </ul>	<p>Diseño No experimental. Descriptivo simple  M → O  Donde:  M: muestra el objeto que se realizara el estudio.  O: observación de la muestra  Para la tesis se aplicará:  M → O  Donde:  M: las actividades que se realizarán al identificar la influencia del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S en la disponibilidad.  O: observación de las fallas funcionales del sistema RCS.</p>
<p>Variable independiente</p>	<p>Definición conceptual</p>	<p>Población:</p>
<p>Sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S.</p>	<p>Son las fallas principales del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S.  Disponibilidad mecánica</p>	<p>Son las fallas principales del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S.  Muestra:  Los 6 jumbos emperador Boltec S</p>
<p>Variable dependiente</p>	<p>Definición conceptual</p>	<p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</p>
<p>Disponibilidad mecánica</p>	<p>Es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.</p>	<p>Se utilizará la técnica documental (base de datos antiguos)  Se utilizará la técnica empírica (observación)  Se utilizará como instrumentos (las herramientas de gestión de mantenimiento)</p>
<p>Objetivo general</p>	<p>Hipótesis general</p>	<p>Técnicas de procesamiento de datos:</p>
<p>Determinar la influencia de las fallas eléctricas del sistema de control RCS que influyen en la disponibilidad y confiabilidad</p>	<p>Si se determina la influencia de las fallas en el sistema de control RCS mediante el análisis del diagrama de Pareto entonces se mejora la disponibilidad mecánica del jumbo emperador Boltec S 2JE032 de la unidad minera El Brocal.</p>	<p>Se realizará mediante el principio de Pareto y se determinará la influencia de fallas del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S.</p>

del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal.		
<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Procedimientos de la investigación:</b>
Analizar las fallas eléctricas en cada subsistema que componen el sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera el Brocal.	Si se analizan las fallas del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec antes y después se identificarán las fallas más críticas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la situación actual del jumbo emperador Boltec S</li> <li>• Revisar historial del jumbo emperador Boltec S</li> <li>• Revisar historial de disponibilidad y confiabilidad del jumbo Boltec S.</li> <li>• Revisar resultado de cumplimiento de los mantenimientos preventivos y correctivos realizados, cantidad de trabajos pendientes.</li> </ul>
Analizar la baja disponibilidad y confiabilidad del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal.	Si se acrecienta el tiempo utilizable de los dispositivos mayores del jumbo emperador Boltec S, se reducen los costos de adquisición de repuestos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conformar el grupo de trabajo para el análisis de fallas mecánicas y eléctricas del sistema RCS del jumbo emperador Boltec S.</li> <li>• Desarrollar la implementación de un control de fallas de componentes mayores.</li> <li>• Determinar la confiabilidad después del análisis de fallas mecánicas y eléctricas del jumbo emperador Boltec S.</li> <li>• Realizar las conclusiones y recomendaciones.</li> </ul>
Realizar un control adecuado de los componentes eléctricos del sistema de control RCS del jumbo emperador Boltec S 2JE032 en la unidad minera El Brocal.	Si se realiza el análisis de fallas eléctricas y mecánicas del jumbo emperador Boltec S por el principio de Pareto, se identifican las fallas más frecuentes que se viene generando.	

## Anexo 2

### Programa de mantenimiento semanal



## PROGRAMA SEMANAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO PROGRAMADO

## SEMANA 36

**Semana:** SEMANA 36 **Unidad:** JRC - BROCAL  
**Mes:** Setiembre **Area:** Mantenimiento  
**Año:** 2020 **Respons.:** Supervision de Mantenimiento Equipos Mina  
**Periodo:** Del 2 de Setiembre al 8 de Setiembre **Jefatura:** Maximiliano Lihua

MODELO	TAG	SISTEMA	PREV			CPRO		FECHA DE INICIO	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	CORRECTIVOS PROGRAMADOS
			TIPO MANTTO	HOR. ACTUAL (acum)	PROX. MANTTO (acum)	TIPO CORREC.	HOR. ACTUAL (acum)		2/09/2020	3/09/2020	4/09/2020	5/09/2020	6/09/2020	7/09/2020	8/09/2020	
<b>FLOTA DE JUMBOS</b>																
BOLTEC S	2JE032	PERF														CAMBIO DE CONTACTOR
BOOMER H282	2JF035	PERF 1														MEGADO DEL CABLE 440V
		PERF 2														
BOOMER H282	2JF037	PERF 1														
		PERF 2														
BOOMER H282	2JF038	PERF 1	40 H	2393	2366			8.9.2020								CABEZAL
		PERF 2	40 H	2336	2362			8.9.2020								GUIDE
BOOMER H282	2JF039	PERF 1	600 H	520	545			2.9.2020								
		PERF 2	600 H	690	658			2.9.2020								

### Anexo 3

## Control de componentes mecánicos y eléctricos del equipo 2JE032

Epiroc												BACKLOG DE REPARACIONES PROGRAMADAS			ESTADO	
												EN PROCESO	ANULADO	REALIZADO		
26/10/2020																
ÍTEM	MES	SEM.	FECHA SOLICITADA	EQUIPO	FLOTA	DESCRIPCION TRABAJO A REALIZAR	N PARTE	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	CANT.	ESTADO DE ACTIVIDAD	FECHA INSTALACION	RESPONSABLE	SOLICITADO POR		
1	ENERO	1	10/01/2020	2JF035 B1	JUMBOS	CAMBIAR DRIVER RAJADO	3115 5314 00	DRIVER	MANTTO	01	REALIZADO	29/01/2020	GAVILAN	MONTERO		
2	ENERO	1	11/01/2020	2JF037 B2	JUMBOS	CAMBIAR DRIVER ROTO	3115 5314 00	DRIVER	INSPECCION	01	REALIZADO	25/01/2020	GAVILAN	ASTO		
3	ENERO	1	12/01/2020	2JF038 B1	JUMBOS	CAMBIAR CASQUILLO DESGASTADO	3115 2968 01	ROT BUSHING	INSPECCION	01	EN PROCESO	26/01/2020	GAVILAN	HINOSTROZA		
4	ENERO	1	13/01/2020	2JF038 B1	JUMBOS	CAMBIAR DRIVER DESGASTADO	3115 5314 00	DRIVER	INSPECCION	01	EN PROCESO	27/01/2020	GAVILAN	HINOSTROZA		
5	ENERO	1	14/01/2020	2JF038 B2	JUMBOS	CAMBIAR CASQUILLO DESGASTADO	3115 2968 01	ROT BUSHING	INSPECCION	01	EN PROCESO	28/01/2020	GAVILAN	HINOSTROZA		
6	ENERO	1	15/01/2020	2JF038 B2	JUMBOS	CAMBIAR STOP RING DESGASTADO	3115 5340 20	STOP RING	INSPECCION	01	REALIZADO	12/02/2020	GAVILAN	HINOSTROZA		
7	ENERO	1	16/01/2020	2JL018	SIMBAS	CAMBIAR STOP RING DESGASTADO	3115 5340 20	STOP RING	MANTTO	01	REALIZADO	13/02/2020	GAVILAN	HINOSTROZA		
8	ENERO	1	17/01/2020	2JL018	SIMBAS	CAMBIAR GUIDE	3115 5045 01	GUIDE	MANTTO	01	REALIZADO	14/02/2020	GAVILAN	MONTERO		
9	ENERO	1	18/01/2020	2JL027	SIMBAS	CAMBIAR GUIDE	3115 2119 00	GUIDE	MANTTO	01	REALIZADO	15/02/2020	GAVILAN	ASTO		
10	ENERO	1	19/01/2020	2JL027	SIMBAS	CAMBIAR CASQUILLO DESGASTADO	3115 2968 01	ROT BUSHING	MANTTO	01	REALIZADO	16/02/2020	GAVILAN	ASTO		
11	ENERO	1	20/01/2020	2JL027	SIMBAS	CAMBIAR STOP RING DESGASTADO	3115 2123 80	STOP RING	MANTTO	01	REALIZADO	17/02/2020	GAVILAN	ASTO		
12	ENERO	1	21/01/2020	2JL028	SIMBAS	CAMBIAR DRIVER DESGASTADO	3115 5314 00	DRIVER	MANTTO	01	REALIZADO	1/02/2020	GAVILAN	ASTO		
13	ENERO	1	22/01/2020	2JL028	SIMBAS	CAMBIAR GUIDE	3115 5045 01	GUIDE	INSPECCION	01	REALIZADO	22/01/2020	GAVILAN	ASTO		
14	ENERO	3	20/01/2020	2JL023	SIMBAS	CAMBIAR DRIVER	3115531400	DRIVER	INSPECCION	01	REALIZADO	25/01/2020	GAVILAN	GAVILAN		
15	ENERO	3	20/01/2020	2JL026	SIMBAS	CAMBIAR STOP RING DESGASTADO	3115212380	STOP RING	MANTTO	01	REALIZADO	26/01/2020	GAVILAN	GAVILAN		
16	ENERO	4	26/01/2020	2JF035 B1	JUMBOS	CAMBIAR ROT. CH.BUSHING	3115296801	ROT. CH.BUSHING	MANTTO	01	EN PROCESO		GAVILAN	HINOSTROZA		

## Anexo 4

### Control de vida útil de componentes mecánicos eléctricos del 2JE032

Equipo		Componente					Ultima Instalación					Actualización	Proyección			
Unidad	Flota de equipo	Código interno	Descripción en español	Tipo de componente	Ciclos de vida	PCR(h)	Fecha de última instalación	Horometro total de instalación (según sistema funcional)	Horas del componente instalado	Horas de última reparación	Estado del componente (Nuevo/Usado/Reparado)	Horometro total (según sistema funcional)	Horas trabajadas desde su última instalación	Horas trabajadas totales del componente	Primera fecha (cambio o reparación)	Segunda fecha (cambio o reparación)
Brocal	JUMBO	2JE032	Perforadora	Mayor	2	6,000	3/05/2019	231.0	9,037.4	0.0	Usado	3,299.5	3,069	9,037.4	1/03/2021	9/04/2025
Brocal	Boomer	2JF035	Perforadora	Mayor	2	6,000	11/04/2017	2,717.0	2,792.6	0.0	Usado	2,793.3	76	2,792.6	19/03/2023	27/04/2027
Brocal	Boomer	2JF035	Perforadora	Mayor	2	6,000	11/07/2019	1,056.3	44.7	0.0	Usado	3,564.5	2,508	44.7	19/07/2021	27/08/2025
Brocal	Boomer	2JF037	Perforadora	Mayor	2	6,000	11/04/2017	2,795.5	2,249.8	0.0	Usado	2,895.0	99	2,249.8	14/03/2023	22/04/2027
Brocal	Boomer	2JF037	Perforadora	Mayor	2	6,000	11/04/2017	2,177.6	2,223.5	0.0	Usado	2,243.9	66	2,223.5	22/03/2023	30/04/2027
Brocal	Boomer	2JF038	Perforadora	Mayor	2	6,000	11/04/2017	1,698.0	1,822.0	0.0	Usado	1,822.5	125	1,822.0	7/03/2023	15/04/2027
Brocal	Boomer	2JF038	Perforadora	Mayor	2	6,000	11/04/2017	1,642.1	1,762.0	0.0	Usado	1,764.8	123	1,762.0	8/03/2023	16/04/2027
Brocal	Simba	2JL010	Perforadora	Mayor	2	6,000	30/06/2019	230.0	4,622.7	0.0	Usado	3,233.6	3,004	4,622.7	11/07/2020	7/04/2023
Brocal	Simba	2JL018	Perforadora	Mayor	2	6,000	21/04/2019	1,005.1	978.8	0.0	Usado	7,776.7	6,772	978.8	22/10/2018	24/11/2021
Brocal	Simba	2JL020	Perforadora	Mayor	2	6,000	2/12/2018	286.0	848.5	0.0	Usado	6,955.0	6,669	848.5	8/11/2018	24/11/2021
Brocal	Simba	2JL023	Perforadora	Mayor	2	6,000	30/06/2019	1,225.0	402.7	0.0	Usado	3,613.8	2,389	402.7	21/10/2020	18/07/2023
Brocal	Simba	2JL026	Perforadora	Mayor	2	6,000	11/04/2017	1,515.4	1,656.6	0.0	Usado	1,656.8	141	1,656.6	31/10/2021	27/07/2024
Brocal	Simba	2JL027	Perforadora	Mayor	2	6,000	11/04/2017	749.9	947.4	0.0	Usado	878.8	129	947.4	2/11/2021	29/07/2024
Brocal	Simba	2JL028	Perforadora	Mayor	2	6,000	27/07/2019	192.0	12,000.0	0.0	Usado	255.9	64	12,000.0	13/11/2021	9/08/2024

## Anexo 5

### Consumo de repuestos del equipo 2JE032

ITEM	Fecha	Nro. Docum.	Equipo	FLOTA	CODIGO DINAMIC	NP	Descripción	Cant.	U.M.	Prec. Unit. \$ Desc.	Prec. Unit. C/ el Desc. Del 20%	TOTAL	TOTAL C/ 20 % Desc.	VALE DINAMIC	CC	EXPEDITY Y/O RECIBIDO
1	2/08/2020	VS-D3-028240	JUMBO 2JE032	EMPERNADOR	400000577	P829333	SENSOR DE PRESION DE INFLADO	1.00	Pza	14.38	11.50	14.38	11.50	302451	OPERACIONES	A. CALIXTO
2	3/08/2020	VS-D3-028240	JUMBO 2JE032	EMPERNADOR	4000008922	P606951	CABLE DE AVANCE	1.00	Pza	11.77	9.42	11.77	9.42	302451	OPERACIONES	A. CALIXTO
3	4/08/2020	VS-D3-028240	JUMBO 2JE032	EMPERNADOR	400000576	P828889	CABLE DE ALIMENTACION 24 V	1.00	Pza	23.52	18.81	23.52	18.81	302451	OPERACIONES	A. CALIXTO
4	5/08/2020	VS-D3-028241	JUMBO 2JE032	EMPERNADOR	4000008922	P606951	MODULO IO	1.00	Pza	11.77	9.42	11.77	9.42	342084	OPERACIONES	A. CALIXTO
5	6/08/2020	VS-D3-028242	JUMBO 2JE032	EMPERNADOR	4000003943	0500450024	SENSOR DE TOPE DE MESA	4.00	Pza	30.19	24.15	120.76	96.60	342084	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
6	7/08/2020	VS-D3-028243	JUMBO 2JE032	EMPERNADOR	4000003937	3128078410	CABLE DE AVANCE	1.00	Pza	353.69	282.95	353.69	282.95	342084	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
7	8/08/2020	VS-D3-028244	JUMBO 2JE032	EMPERNADOR	4000004661	3177700105	SWITCH DE PRESION	1.00	Pza	90.88	72.70	90.88	72.70	342154	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
8	9/08/2020	VS-D3-028244	JUMBO 2JE032	EMPERNADOR	6000000600	3217958301	RELAY	1.00	Pza	135.57	108.45	135.57	108.45	342154	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
9	10/08/2020	VS-D3-028245	JUMBO 2JE032	EMPERNADOR	4000002666	0663214300	ANILLO DE JEBE	1.00	Pza	1.48	1.18	1.48	1.18	342225	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
10	11/08/2020	VS-D3-028245	JUMBO 2JF033	JUMBO	4000000547	3115233300	RETEN DE CAUCHO 3115336400	2.00	Pza	7.81	6.25	15.62	12.50	342225	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
11	12/08/2020	VS-D3-028245	JUMBO 2JF033	JUMBO	4000000548	3115519000	RETEN DE CAUCHO R.A.0665099921	1.00	Pza	17.64	14.11	17.64	14.11	342225	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
12	13/08/2020	VS-D3-028245	JUMBO 2JF033	JUMBO	4000000402	0663214501	ANILLO DE JEBE	1.00	Pza	1.38	1.10	1.38	1.10	342225	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
13	14/08/2020	VS-D3-028245	JUMBO 2JF033	JUMBO	4000003593	3115344500	ANILLO DE CIERRE	1.00	Pza	44.76	35.81	44.76	35.81	342225	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
14	15/08/2020	VS-D3-028246	JUMBO 2JF035	JUMBO	4000008922	P606951	FILTRO COMPRESOR	1.00	Pza	11.77	9.42	11.77	9.42	342226	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
15	16/08/2020	VS-D3-028246	JUMBO 2JF035	JUMBO	4000000576	P828889	FILTRO DE ADMISIÓN PRIMARIO AIRE	1.00	Pza	23.52	18.81	23.52	18.81	342226	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
16	17/08/2020	VS-D3-028246	JUMBO 2JF035	JUMBO	4000000577	P829333	FILTRO DE ADMISIÓN SECUNDARIO AIRE	1.00	Pza	14.38	11.50	14.38	11.50	342226	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO
17	18/08/2020	VS-D3-028247	SCALER 2DR002	MANTENIMIENTO	4000011816	P772529	FILTRO DE ADMISIÓN PRIMARIO AIRE	1.00	Pza	41.80	33.44	41.80	33.44	342249	MANTENIMIENTO	A. CALIXTO

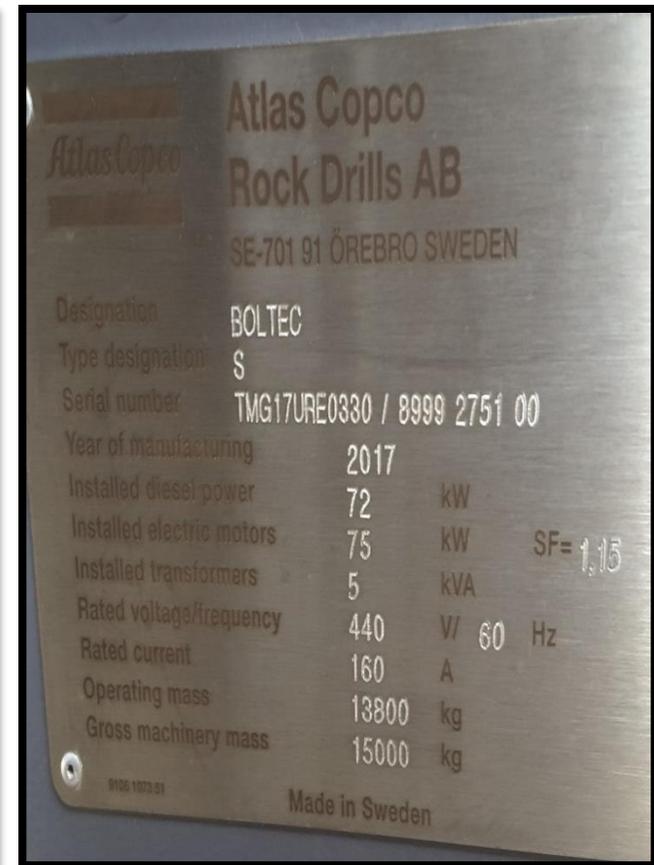
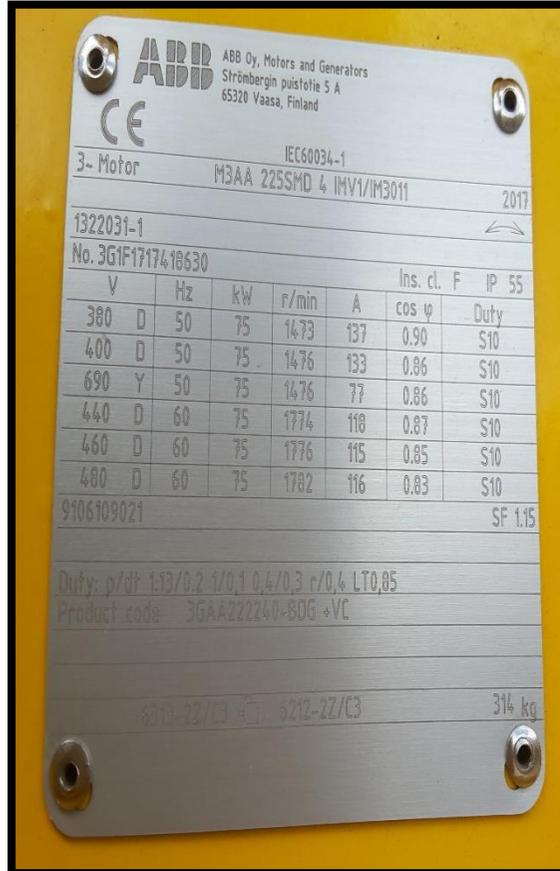
## Anexo 6

### Parámetros hidráulicos y eléctricos del equipo 2JE032

ITEM	DENOMINACION	Motor Eléctrico		Collarín		Full Drilling		Puntos de Inspección	OPERADOR	MECANICO
		Encendido		Emboquillado		Percusión Máxima				
		VALOR	Estado (Bien/Mal)	VALOR	Estado (Bien/Mal)	VALOR	Estado (Bien/Mal)			
<b>PARAMETROS HIDRAULICOS BOLTEC S</b>										
1	Presión de agua	2 - 6 bar		8 - 14 bar		8 - 14 bar		Manómetro Panel GWP	x	x
2	Presión de aire	2.5 - 3 bar		2.5 - 3 bar		2.5 - 3 bar		Manómetro Panel GAP	x	x
3	Presión de rotación	25 -35 bar		35 - 50 bar		35 - 50 bar		Manómetro Panel GRR	x	x
4	Presión de percusión	No aplica		100 - 140 bar		160 - 190 bar		Manómetro Panel GH	x	x
5	Avance Feed	Positiva	10 - 30 bar	25 - 35 bar		40 - 70 bar		Manómetro Panel GF	x	x
		Negativa		15 - 25 bar		15 - 50 bar				
6	Presión de avance emboquillado	No aplica		40 bar				Manómetro Panel GF	x	x
7	Presión amortiguación	40 bar		45 - 60 bar		45 - 70		Manómetro Panel GDP	x	x
8	Presión de lubricación	1 - 6 bar/25 - 30 gota x minuto						Manómetro Panel GLUB	x	x
<b>PARAMETROS ELECTRICOS BOLTEC S</b>										
9	Motor Electrico potencia	70 KW						Tablero electrico	x	x
10	Voltage	440 V						Voltmetro		x
11	Amperaje	30 - 80 A								x
12	Frecuencia	60 Hz						Amperimetro		x
14	Motor Electrico RPM	1800 RPM						Tablero Electrico		x
15	SF	1.5						Tacometro		x
16	IP	55						Tablero Electrico		x

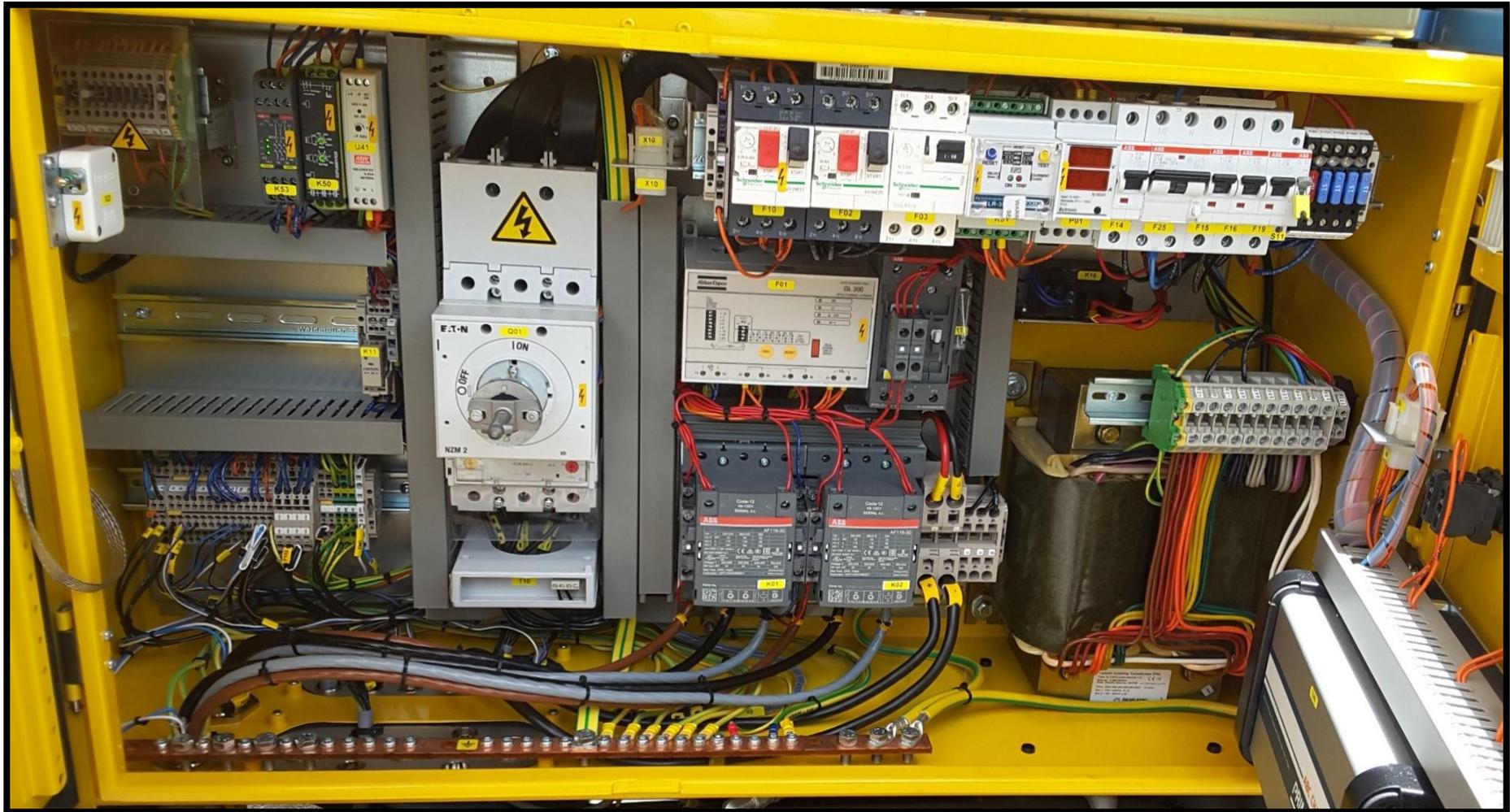
## Anexo 7

### Parámetros técnicos del motor, compresor de aire y del equipo 2JE032



## Anexo 8

### Tablero eléctrico de potencia del 2JE032



## Anexo 9

### Perforadora hidráulica cop 1435 del equipo 2JE032



**Anexo 10**  
**Cabina de operación del equipo 2JE032**



**Anexo 11**

**Imagen 1 del equipo 2JE032**



**Anexo 12**  
**Imagen 2 del equipo 2JE032**

