



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**IMPLEMENTACIÓN DE UN CATÁLOGO DE FALLAS PARA  
MEJORAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EQUIPOS  
PESADOS DEL PROYECTO DE EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA  
DE LA UNIDAD MINERA YANACOCCHA – 2020**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**WILBER HUARILLOCLA AYQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**IMPEMENTACIÓN DE UN CATALOGO DE FALLAS PARA MEJORAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EQUIPOS PESADOS DEL PROYECTO DE EXPLORACIÓN SUBTERRANÉA DE LA UNIDAD MINERA Y ANACocha -2020**

AUTOR

**Wilber Huarillocla Ayque**

RECuento DE PALABRAS

**25118 Words**

RECuento DE CARACTERES

**142298 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**161 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.7MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jun 9, 2023 5:53 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jun 9, 2023 5:55 PM GMT-5**

### ● 14% de similitud general


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

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

  
VºBº  
Sub Dirección de Investigaciones  
EPISME

VºBº   
M.Sc. JOSE MANUEL ROJAS  
UNIPA  
DIRECCIÓN GENERAL

Resumen



## DEDICATORIA

*A mis hijos: Heidi Katy, Wheeler André y mi esposa Arsenia C. Q.*

*Por su motivación y el tiempo que no les dediqué.*

**Wilber Huarillocla Ayque**



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por sobre todas las cosas.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano, con mucho cariño a la facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, Escuela Profesional de Ing. Mecánica eléctrica, por permitirme formarme profesionalmente.*

*A mis excelentísimos jurados, por sus aportes, recomendaciones y sabios consejos en la realización del presente trabajo de investigación.*

*Al M.Sc. José Manuel Ramos Cutipa, por sus enseñanzas y acompañamiento en la realización de la presente tesis.*

**Wilber Huarillocla Ayque**



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 16**

**ABSTRAC ..... 17**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... 20**

1.1.1 Problema general..... 20

1.1.2 Problemas específicos ..... 21

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 21**

**1.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN ..... 23**

1.3.1 Hipótesis general ..... 23

1.3.2 Hipótesis Específicas..... 23

**1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO ..... 24**

**1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 25**

1.5.1 Objetivo general ..... 25

1.5.2 Objetivos específicos..... 25

1.5.3 Variables..... 25

### **CAPÍTULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 26**



<b>2.2</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>27</b>
2.2.1	Conceptos básicos en mantenimiento de equipos pesados.....	27
2.2.1.1	Mantenimiento preventivo .....	27
2.2.1.2	Mantenimiento programado.....	27
2.2.1.3	Mantenimiento no programado.....	28
2.2.2	Gestión del mantenimiento.....	28
2.2.3	Modelos de Gestión de Mantenimiento .....	28
2.2.3.1	Mantenimiento productivo total (TPM).....	28
2.2.3.2	Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) .....	33
2.2.4	Equipo pesado de perforación con soporte de roca DS311.....	38
2.2.4.1	Principales sistemas de operación y mantenimiento.....	39
2.2.4.2	Boom.....	40
2.2.4.3	Sistema hidráulico.....	41
2.2.4.4	Bolting head. ....	41
2.2.4.5	Sistema eléctrico. ....	43
2.2.5	Equipo pesado de perforación Jumbo DD321.....	44
2.2.6	Equipo de acarreo de mineral Scoop R1600H .....	50
2.2.6.1	Cabina. ....	50
2.2.6.2	Motor.....	52
2.2.6.3	Tren de potencia.....	53
2.2.7	Sistema hidráulico.....	57
2.2.7.1	Sistema dirección. ....	59

### **CAPÍTULO III**

#### **MÉTODOS Y MATERIALES**

<b>3.1</b>	<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2</b>	<b>PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO .....</b>	<b>62</b>



<b>3.3</b>	<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO .....</b>	<b>62</b>
	3.3.1 Material experimental .....	62
<b>3.4</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>64</b>
	3.4.1 Criterios de inclusión. ....	65
<b>3.5</b>	<b>CRITERIOS DE EXCLUSIÓN. ....</b>	<b>66</b>
<b>3.6</b>	<b>TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>66</b>
	3.6.1 Tipo de investigación. ....	66
	3.6.2 Nivel de Investigación.....	66
	3.6.3 Método. ....	66
<b>3.7</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE LAS PRUEBAS. ....</b>	<b>67</b>
	3.7.1 Diagnóstico de los sistemas y subsistemas de componentes de los equipos críticos descritos.....	67
	3.7.2 Análisis modos y efectos de falla.....	68
	3.7.3 Determinación de la criticidad de los subsistemas de los equipos DD321. DS311 y R1600G. ....	70
	3.7.4 Análisis de criticidad.....	71
	3.7.5 Determinación de confiabilidad usando los parámetros Weibull.....	74
	3.7.5.1 Trazado de probabilidades. ....	76
<b>3.8</b>	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....</b>	<b>79</b>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1</b>	<b>RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE EQUIPOS.....</b>	<b>80</b>
<b>4.2</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS SUBSISTEMAS Y COMPONENTES DE LOS EQUIPOS DEL PROYECTO DE EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA YANACocha 2018 A 2019.....</b>	<b>81</b>



<b>4.3</b>	<b>ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS DE UNA FALLA Y CRITICIDAD (AMEF) DEL SUBSISTEMA DE EQUIPOS PESADOS. ....</b>	<b>85</b>
<b>4.4</b>	<b>COMPONENTES CRÍTICOS DE LOS EQUIPOS JUMBO DD321, ROBOLT DS311 Y SCOOP R1600G DEL PROYECTO EXPLORACION YANACOCHA. ....</b>	<b>99</b>
4.4.1	Análisis de criticidad.....	99
<b>4.5</b>	<b>CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD CON LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL.....</b>	<b>110</b>
<b>4.6</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE COMPONENTES DEL PROYECTO DE EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA YANACOCHA 2019 A 2020 .....</b>	<b>136</b>
<b>4.7</b>	<b>CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....</b>	<b>138</b>
4.7.1	Hipótesis de Investigación. ....	139
<b>4.8</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>143</b>
<b>4.9</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>147</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>148</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>149</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>154</b>

**ÁREA:** Mecánica: Implementación de Catálogo de fallas en equipos pesados minería subterránea.

**TEMA:** Mejora del mantenimiento preventivo.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22 de junio del 2023**





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Pirámide de madurez en mantenimiento .....	19
<b>Figura 2:</b> Los 8 pilares del TPM.....	33
<b>Figura 3:</b> Filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) .....	34
<b>Figura 4:</b> Equipo Empernador DS311 .....	39
<b>Figura 5:</b> Perforadora hidráulica RD314 .....	39
<b>Figura 6:</b> Soporte brazo de torreta .....	40
<b>Figura 7:</b> Torreta Boltin Head .....	42
<b>Figura 8:</b> Jumbo DD321. ....	44
<b>Figura 9:</b> Brazo boom SB40 .....	45
<b>Figura 10:</b> Viga TF. ....	45
<b>Figura 11:</b> Viga TFX. ....	46
<b>Figura 12:</b> Perforadora RD520. ....	46
<b>Figura 13:</b> Motor Diesel OM 904 .....	47
<b>Figura 14:</b> Compresor CTN-16 .....	48
<b>Figura 15:</b> Bomba hidráulica y bombas tándem.....	49
<b>Figura 16:</b> Cargador bajo perfil R1600H.....	50
<b>Figura 17:</b> Figura 2.15: Cabina.....	51
<b>Figura 18:</b> Grupo de instrumentos del panel cabina.....	52
<b>Figura 19:</b> Motor Diesel C11.....	53
<b>Figura 20:</b> Componentes de motor C11.....	53
<b>Figura 21:</b> Subcomponentes del tren de potencia.....	54
<b>Figura 22:</b> Sistema hidráulico del tren de potencia. ....	55
<b>Figura 23:</b> Sistema electrónico del tren de potencia.....	57
<b>Figura 24:</b> Subcomponentes hidráulicos .....	58
<b>Figura 25:</b> Diagrama Hidráulico de implementos .....	59



<b>Figura 26:</b> Subcomponentes dirección .....	59
<b>Figura 27:</b> Sistema hidráulico de dirección .....	60
<b>Figura 28:</b> Ubicación del proyecto .....	61
<b>Figura 29:</b> Base de datos Excel.....	63
<b>Figura 30:</b> SAP PM .....	63
<b>Figura 31:</b> Equipos predictivos pirómetro, megóhmetro, manómetro.....	64
<b>Figura 32:</b> Proceso del AMEF y criticidad.....	69
<b>Figura 33:</b> Ciclo de minado subterráneo.....	81
<b>Figura 34:</b> Diagrama de Pareto Jumbo DD321 .....	101
<b>Figura 35:</b> Diagrama de Pareto Robolt DS311 .....	102
<b>Figura 36:</b> Diagrama de Pareto Scoop R1600G .....	103
<b>Figura 37:</b> Distribución Weibull.....	114
<b>Figura 38:</b> Gráfica de la confiabilidad de “Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)” .....	116
<b>Figura 39:</b> Gráfica de la Desconfiabilidad de “Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)” .....	117
<b>Figura 40:</b> Distribución Weibull “Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos” .....	120
<b>Figura 41:</b> Confiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos” .....	120
<b>Figura 42:</b> Desconfiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos” .....	121
<b>Figura 43:</b> Distribución Weibull “Eje central” .....	123
<b>Figura 44:</b> Confiabilidad “Eje central” .....	123
<b>Figura 45:</b> Desconfiabilidad “Eje central” .....	124
<b>Figura 46:</b> Distribución Weibull “Martillo hidráulico” .....	126
<b>Figura 47:</b> Confiabilidad “Martillo hidráulico” .....	126
<b>Figura 48:</b> Desconfiabilidad “Martillo hidráulico” .....	127
<b>Figura 49:</b> Distribución Weibull “Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)” .....	128
<b>Figura 50:</b> Confiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)” .....	129



<b>Figura 51:</b> Desconfiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)” .....	129
<b>Figura 52:</b> Distribución Weibull “Bucket (Cuchara)” .....	131
<b>Figura 53:</b> Confiabilidad “Bucket (Cuchara)” .....	132
<b>Figura 54:</b> Desconfiabilidad “Bucket (Cuchara)” .....	132
<b>Figura 55:</b> Distribución Weibull “otros (Motor)” .....	134
<b>Figura 56:</b> Confiabilidad “otros (Motor)” .....	134
<b>Figura 57:</b> Desconfiabilidad “otros (Motor)” .....	135
<b>Figura 58:</b> Resultados contrastación de hipótesis.....	141
<b>Figura 59:</b> Elaboración propia. ....	144



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	Equipos en estudio .....	62
<b>Tabla 2:</b>	Equipos en proyecto.....	64
<b>Tabla 3:</b>	Resultados kpi´s 2018 y 2019 .....	65
<b>Tabla 4:</b>	Sistemas u subsistemas de equipos .....	68
<b>Tabla 5:</b>	Hoja de trabajo AMEF.....	70
<b>Tabla 6:</b>	Clasificación de Gravedad (S) .....	71
<b>Tabla 7:</b>	Clasificación Ocurrencia (O) .....	72
<b>Tabla 8:</b>	Clasificación y detección (D).....	72
<b>Tabla 9:</b>	Clasificación Criticidad.....	73
<b>Tabla 10:</b>	Acciones de mantenimiento .....	73
<b>Tabla 11:</b>	Registro de datos de los parámetros de Weibull.....	78
<b>Tabla 12:</b>	Operacionalización de variables .....	79
<b>Tabla 13:</b>	Jumbo_01 DD321 Diagnóstico.....	82
<b>Tabla 14:</b>	Scoop_01 R1600G Diagnóstico.....	83
<b>Tabla 15:</b>	Robolt_01 DS311 Diagnóstico .....	84
<b>Tabla 16:</b>	Jumbo DD321 análisis AMEF Perforación\percusión.....	85
<b>Tabla 17:</b>	Jumbo DD321 análisis AMEF Chasis / dirección .....	86
<b>Tabla 18:</b>	Jumbo DD321 análisis AMEF Eléctrico de carga .....	86
<b>Tabla 19:</b>	Jumbo DD321 análisis AMEF eléctrico luces\accesorios .....	87
<b>Tabla 20:</b>	Jumbo DD321 análisis AMEF Frenos .....	87
<b>Tabla 21:</b>	Jumbo DD321 análisis AMEF Implementos .....	88
<b>Tabla 22:</b>	Jumbo DD321 análisis AMEF Motor diésel.....	88
<b>Tabla 23:</b>	Jumbo DD321 análisis AMEF Perforación\percusión.....	89
<b>Tabla 24:</b>	Jumbo DD321 análisis AMEF Transmisión .....	90
<b>Tabla 25:</b>	Robolt DS311 análisis AMEF Agua\aire.....	90



<b>Tabla 26:</b> Robolt DS311 análisis AMEF Eléctrico de carga.....	91
<b>Tabla 27:</b> Robolt DS311 análisis AMEF Eléctrico industrial .....	91
<b>Tabla 28:</b> Robolt DS311 análisis AMEF eléctrico luces\accesorios.....	92
<b>Tabla 29:</b> Robolt DS311 análisis AMEF Frenos.....	92
<b>Tabla 30:</b> Robolt DS311 análisis AMEF Implementos.....	93
<b>Tabla 31:</b> Robolt DS311 análisis AMEF Motor diésel .....	93
<b>Tabla 32:</b> Robolt DS311 análisis AMEF Perforación\percusión .....	94
<b>Tabla 33:</b> Robolt DS311 análisis AMEF Transmisión/Dirección.....	95
<b>Tabla 34:</b> Scoop R1600G análisis AMEF chasis .....	95
<b>Tabla 35:</b> Scoop R1600G análisis AMEF dirección .....	96
<b>Tabla 36:</b> Scoop R1600G análisis AMEF Eléctrico de carga .....	96
<b>Tabla 37:</b> Scoop R1600G análisis AMEF eléctrico luces\accesorios .....	97
<b>Tabla 38:</b> Scoop R1600G análisis AMEF Implementos .....	97
<b>Tabla 39:</b> Scoop R1600G análisis AMEF Motor diésel.....	98
<b>Tabla 40:</b> Scoop R1600G análisis AMEF Transmisión / Freno .....	99
<b>Tabla 41:</b> Registro de eventos de Jumbo DD321 .....	100
<b>Tabla 42:</b> Registro de eventos de Robolt DS311 .....	102
<b>Tabla 43:</b> Registro de eventos de Scoop R1600G.....	103
<b>Tabla 44:</b> Clasificación Gravedad (S) .....	104
<b>Tabla 45:</b> Clasificación Ocurrencia (O) .....	104
<b>Tabla 46:</b> Clasificación Detección (D).....	105
<b>Tabla 47:</b> Clasificación Criticidad.....	105
<b>Tabla 48:</b> Análisis de criticidad del subcomponente Jumbo DD321 .....	106
<b>Tabla 49:</b> Análisis de criticidad del subcomponente Robolt DS311.....	107
<b>Tabla 50:</b> Análisis de criticidad del subcomponente Scoop R1600G .....	109
<b>Tabla 51:</b> Mangueras, cañerías, conectores (Implementos).....	111



<b>Tabla 52:</b> Rango promedio de fallas manguera y conectores de implementos .....	112
<b>Tabla 53:</b> Parámetros X, Y de la distribución Weibull. ....	113
<b>Tabla 54:</b> Cálculo de la confiabilidad .....	115
<b>Tabla 55:</b> Tabla de la Desconfiabilidad.....	117
<b>Tabla 56:</b> Análisis Weibull y confiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos” .....	119
<b>Tabla 57:</b> Distribución Weibull “Eje central” .....	122
<b>Tabla 58:</b> Distribución Weibull “Martillo Hidráulico” .....	125
<b>Tabla 59:</b> Distribución Weibull “Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)” .....	128
<b>Tabla 60:</b> Distribución Weibull “Bucket (Cuchara)” .....	130
<b>Tabla 61:</b> Distribución Weibull “Otros (Motor)” .....	133
<b>Tabla 62:</b> Robolt_01 sistemas y subsistemas de componentes 2019-2020.....	136
<b>Tabla 63:</b> Jumbo_01 sistemas y subsistemas de componentes 2019-2020.....	137
<b>Tabla 64:</b> Scoop_01 sistemas y subsistemas de componentes 2019-2020.....	138
<b>Tabla 65:</b> Diagnóstico de los subsistemas “Componentes” .....	139
<b>Tabla 66:</b> Valores críticos de la distribución t de student .....	140
<b>Tabla 67:</b> Resultados Confiabilidad 2018 al 2020 .....	142
<b>Tabla 68:</b> Resultados de costos por mantenimientos correctivos programados y no programados.....	142
<b>Tabla 69:</b> Resultados de las ordenes de trabajo por mantenimientos programados y no programados.....	143
<b>Tabla 70:</b> Catálogo de Fallas de equipos Jumbo DD321 (2018 al 2020).....	144
<b>Tabla 71:</b> Catálogo de Fallas de equipos Robolt DS311 (2018 al 2020).....	145
<b>Tabla 72:</b> Catálogo de Fallas de equipos SCOOP R1600G (2018 al 2020).....	146



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

$\gamma$	Parámetro de posición
$\theta$	Parámetro de escala o característica de vida útil
$\beta$	Parámetro de forma
RCM	Mantenimiento basado en la confiabilidad
R (t).	Confiabilidad
F (t).	Desconfiabilidad
Pieza	Un elemento físico inseparable de un mecanismo
Equipo	Conjunto de componentes interconectados en una instalación
Hr.	Horas
AMEF	Análisis de modos y efectos de fallos
MBTF	Tiempo medio entre fallas
MTTR	Tiempo medio por reparación
KPI's	Indicadores de rendimiento “confiabilidad, disponibilidad y utilización de la máquina”



## RESUMEN

La presente investigación se realiza con el objetivo de mejorar el mantenimiento preventivo en el proyecto de exploración subterránea Yanacocha con la contratista AESA, debido a presencia de fallas constantes en los equipos pesados durante el proyecto de exploración 2018 al 2020, lo cual nos llevó a la búsqueda de mejorar el mantenimiento preventivo a través de la implementación de un catálogo de fallas mediante el uso de la metodología RCM, análisis de subcomponentes con la herramienta AMEF y proyección de vida útil con el análisis Weibull, información recogida en campo noviembre 2018 a Julio 2019, se logró identificar los componentes más críticos optimizando su cambio de los diferentes sistemas de los tres equipos seleccionados con baja confiabilidad; La presente investigación es una investigación experimental, dentro del proceso cuasi experimental. Los resultados muestran que la implementación de un catálogo de fallas nos permite cuantificar y proyectar la vida útil de los componentes mejorando la confiabilidad en 4.6%; los costos de mantenimiento se han visto reflejados con un ahorro de 1.025% en un periodo de 8 meses y se logró reducir las ordenes de mantenimiento en 4%, lográndose de esta manera mejorar la gestión de mantenimiento en general, se logró mejorar el cambio oportuno de componentes en los mantenimientos preventivos y bajar considerablemente la carga laboral por falla en los equipos pesados.

**Palabras claves:** Confiabilidad, Mantenimiento, MTTR, MTBF, Pareto, KPI's, SAP PM.





## ABSTRACT

The present investigation is carried out with the objective of improving preventive maintenance in the Yanacocha underground exploration project with the contractor AESA, due to the presence of constant failures in heavy equipment during the 2018 to 2020 exploration project, which sought to improve the preventive maintenance through the implementation of a failure catalog through the use of the RCM methodology, subcomponent analysis with the AMEF tool and useful life projection with the Weibull analysis, information collected in the field from November 2018 to July 2019, it was possible to identify the most critical components optimizing their change of the different systems of the three selected teams with low reliability; The present investigation is an experimental investigation, within the quasi-experimental process.

The results show that the implementation of a failure catalog allows us to quantify and project the useful life of the components, improving reliability by 4.6%; maintenance costs have been reflected with a saving of 1,025% in a period of 8 months and maintenance orders were reduced by 4%, thus improving maintenance management in general, it was possible to improve timely change of components in preventive maintenance and considerably lower the workload due to failure in heavy equipment.

**Keywords:** Reliability, Maintenance, MTTR, MTBF, Pareto, KPI's, SAP PM.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La constante evolución de la tecnología en los mercados obliga a las industrias, empresas a adaptarse tomando estrategias en todas sus fases de su proceso productivo con el objetivo de evitar fallas en su producción y garantizar la seguridad de todos los colaboradores con este fin van adquiriendo equipos con mejor tecnología, mejoran sus instalaciones adoptando nuevos estándares en su proceso, mantenimiento no es inmune a esto por lo que la gestión de mantenimiento en la organización contempla cuatro puntos importantes como la gestión de costos de mantenimiento la disponibilidad mecánica de los equipos su confiabilidad y la gestión de ordenes de trabajo de los técnico especialistas encargados de los mantenimientos preventivos en la unidad Minera Yanacocha con la empresa sub contratista Administración de Empresas SAC (AESAs) se aprecia una deficiente gestión de mantenimiento preventivo debido a la presencia de fallas repetitivas en los equipos en sus diferentes sistemas de funcionamiento lo que conlleva a incremento de costos de mantenimiento, baja disponibilidad y confiabilidad de los equipos, generando mayores ordenes de trabajo en los equipos, por tanto el estudio de la frecuencia de falla de los diferentes componentes de los equipos más críticos es una necesidad y se convierte en una alternativa viable para mejorar los mantenimiento preventivos de los equipos de la empresa.

Se propone un estudio de los equipos más críticos que se han desempeñado con altos costos de mantenimiento y baja disponibilidad utilizando los indicadores Kpi's que nos permitirán encontrar los equipos más críticos.

En el presente proyecto de tesis se realiza un estudio de los diferentes componentes que presentan mayor frecuencia de falla utilizando la metodología estadística de los equipos más críticos.

La mejora del mantenimiento preventivo es propuesta utilizando el análisis de distribución de Weibull que nos permitirá estimar la vida útil de los repuestos para su cambio preventivo de acuerdo con las condiciones de operación en la unidad minera Yanacocha.

La importancia de la tesis es aportar a la pirámide de gestión del mantenimiento (Figura 1.1); este objetivo es tan importante para la empresa que permitirá una mejora en su rentabilidad.

**Figura 1:** Pirámide de madurez en mantenimiento



Fuente: (Grupo ORS, 2022)

**En el capítulo I** se muestra la importancia de mejorar la gestión de mantenimiento en los equipos pesados Jumbo DD321, Robolt DS311 y Scoop R1600G.



**En el Capítulo II** Se desarrolla el fundamento teórico de la gestión de mantenimiento, y se muestra los objetivos del área de mantenimiento de clase mundial.

**En el Capítulo III** se definen la metodología para mejorar e implementar el catálogo de fallas en el mantenimiento preventivo, como se mide la gestión de mantenimiento, que KPI's se aplican a la gestión de mantenimiento y las metodologías a aplicar.

**En el Capítulo IV** se muestra el diseño, los resultados y la discusión de la implementación de un catálogo de fallas para la mejora del mantenimiento preventivo, se realiza el análisis de criticidad de los equipos del proyecto de exploración subterráneo Yanacocha, se determinan las frecuencias de intervención, los costos de mantenimiento, las ordenes de trabajo y se comparan con años pasados para poder evaluar la mejora en la gestión.

**En el Capítulo V** están las conclusiones de proyecto, las cuales confirman las hipótesis planteadas, mejorándose la gestión de mantenimiento y observando en menor costo de mantenimiento, mayor disponibilidad de equipos, menor cantidad de órdenes de trabajos del proyecto de exploración subterránea Yanacocha.

## **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1.1 Problema general**

¿De qué manera influirán la implementación de catálogo de fallas en la toma de Decisiones de un Buen Mantenimiento Preventivo de los equipos pesados del proyecto de exploración subterránea Yanacocha?



### **1.1.2 Problemas específicos**

¿En qué medida se incrementará la confiabilidad de equipos pesados al mejorar el mantenimiento preventivo?

¿En cuánto se reducirá los costos de mantenimiento al mejorar el mantenimiento preventivo?

¿En qué medida se reducirá las ordenes de trabajo por Emergencia al mejorar el mantenimiento preventivo?

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Administración de Empresas S.A.C “AESA” es una Empresa especializada en brindar servicios de exploración, desarrollo, preparación y explotación de yacimientos mineros, así como en gestionar operaciones mineras.

Yanacocha es la mina de oro más grande de Sudamérica ubicada en la provincia y departamento de Cajamarca a 800 kilómetros al noreste de la ciudad de Lima y 45km de la ciudad de Cajamarca; el proyecto de exploración subterránea se encuentra ubicada en el tajo Chaquicocha.

Se realiza las coordinaciones con el Jefe del Área de Mantenimiento de Equipos y maquinarias, donde se tiene definido un área de Planeamiento en mantenimiento de equipos en la Unidad Minera Yanacocha, donde usan el SAP y reporte de los indicadores de operatividad de equipos, el cual se pudo evidenciar algunas deficiencias administrativas debido a que se basan solo al indicador de disponibilidad de equipo y Uso del SAP solo para tener el control de salida de repuestos de almacén, figurando solamente control de Costos por tipo de mantenimiento.



En consecuencia, no se tiene un control de análisis por sistema de fallas de equipos llamado Pareto, no se cuenta con los indicadores principales de gestión basado a la confiabilidad de los equipos, no cuentan con la implementación del SAP PM basado en mantenimiento, cuentan con formatos de control deficientes para componentes mayores en los Equipos.

El control de reportes de indicadores basado en la Disponibilidad y confiabilidad del Mantenimiento nos ayudan a tomar decisiones, el uso de reporte y Formatos, nos ayudan a controlar Preventivamente, anticipándonos a fallas en el equipo, conllevándonos a la solicitud de repuestos preventivamente para su cambio, es un tema esencial el cual ha evolucionado en la última década a escala mundial, está relacionada el buen control del mantenimiento preventivo por tal razón, se requiere un tratamiento integral del problema desde diversos frentes estos comprenden, entre otros, investigación básica y aplicada, diseño, selección, programas de medición y evaluación, capacitación del personal. etc.

El uso del SAP PM es una Herramienta muy importante y brinda el soporte para control de: Solicitud de Repuestos y componentes, Pago por servicios de terceros, control de mantenimientos por tipo “PM01, PM02, PM03 y PM12”, control de Mano de Obra, control de mantenimientos, indicadores de mantenimiento, Proyección de mantenimientos, control de horas Maquina, etc. los mismo que no se usan eficientemente, ya sea por desconocimiento a falta de capacitación.

Por el lado operativo se ha observados que por la dimensionalidad del túnel dificulta su maniobrabilidad del equipo en operación, generando daño físico que en futuro conlleva a la inoperatividad del equipo.



Podemos decir que existe un problema de Falta de control de las fallas en los equipos ya que estos son repetitivos, reporte de indicadores de gestión deficientes, uso del SAP PM deficiente, esto nos conlleva a tomar malas decisiones y no actuar preventivamente, generando como impacto en la producción Minera, Perdida de Costos.

Los efectos asociados al problema de una deficiente gestión del mantenimiento preventivo oportuno de repuestos e indicadores se reflejan básicamente en:

- Incremento en las pérdidas de la producción Minera.
- Daños a la producción economía y la competitividad empresarial en el sector de operación.
- Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, la disponibilidad y el confort.
- Mala imagen a la compañía y clientes externos.

### **1.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 Hipótesis general**

La implementación de catálogo de fallas mejorara el mantenimiento preventivo de equipos pesados del proyecto de exploración subterránea Yanacocha.

#### **1.3.2 Hipótesis Especificas.**

- Se incrementará la confiabilidad de equipos pesados al mejorar el mantenimiento preventivo.
- Se reducirá los costos de mantenimiento al mejorar el mantenimiento preventivo de equipos pesados.



- Se reducirá las ordenes de trabajo por emergencia al mejorar el mantenimiento preventivo.

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La disponibilidad de los equipos pesados de la contratista AESA del proyecto de exploración subterránea Yanacocha, son conocedores de la Gestión de Mantenimiento, el que motivo realizar la presente investigación con el objetivo de proponer un Modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para el proyecto de exploración subterráneo Yanacocha.

El modelo planteado para la de Gestión de mantenimiento se basa en la implementación de un catálogo de fallas de los subcomponentes críticos que tienen los equipos pesados del proyecto de exploración subterránea Yanacocha, es el objetivo del presente proyecto investigación.

La propuesta del modelo planteado es de gran importancia para las empresas de este sector con la posibilidad de un beneficio de manera directa en el proceso el mismo que nos permitirá mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos pesados más críticos. Además, es un beneficio de manera directa para los clientes, por que genera confianza el cumplimiento de los objetivos del cliente.

El presente estudio planteado, se justifica a la deficiencia en el mantenimiento preventivo planificado en los equipos pesados los mismos que ocasionan constantes paradas en el proceso de su trabajo diario ocasionando perdidas en los trabajos y cambio de planificación de los proyectos en ejecución.

Aplicando la filosofía de mantenimiento apropiado y el uso de controles estadísticos, es posible tener una información que permita obtener variables de





comportamientos de los equipos pesados, el mismo que nos permite diseñar estrategias de mantenimiento preventivo con el objetivo de mejorar la confiabilidad y costos de mantenimiento y optimizar la generación de ordenes de trabajo que beneficiaran directamente a la empresa y al cliente.

## **1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 Objetivo general**

Mejorar el mantenimiento preventivo de equipos pesados del proyecto de exploración subterránea Yanacocha por medio de la implementación de un catálogo de fallas de equipos pesados.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la confiabilidad en los equipos al mejorar el mantenimiento preventivo
- Determinar la reducción de costos del mantenimiento por medio de la mejora del mantenimiento preventivo.
- Determinar la reducción de ordenes de trabajo por emergencia al mejorar el mantenimiento preventivo.

### **1.5.3 Variables.**

**Independientes:** Implementación de Catálogo de fallas

**Dependientes:** Mejora del mantenimiento preventivo



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### **Internacionales:**

En la investigación (Huamaní Díaz, 2020) propone una propuesta de mejora aplicando Systematic Layout Planning de Muther donde muestra las herramientas como el diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto para identificar los principales problemas de la planta con el objetivos de mejorar e incrementar la productividad de la empresa.

##### **Nacionales:**

En la investigación (Cruz Huayhua & León Sánchez, 2018) tiene como objetivo analizar el proceso del mantenimiento preventivo de un centro de servicio automotriz a partir de la aplicación de la metodología DMAIC Six Sigma dando como resultado que el nivel sigma actual del mismo es de 3.01 encontrando como punto critico la distribución de citas por el que propone medir el impacto de las capacitaciones y recompensarlos con incentivos y desarrolla un mecanismo poka yoke en el Sistema de Control de Tiempos, haciendo uso del software Arena concluye un nivel sigma de 4.04 que representa la mejora.

En la investigación (Avalos Medina & Avila Davila, 2019) tiene como objetivo que el mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de las maquinarias pesadas para ello uso la metodología experimental dentro del ámbito pre experimental con un enfoque cuantitativo como la recolección de datos estadísticos usando la distribución de probabilidad T de Student obteniendo como resultado un valor T esperado de 2,919 y el



valor T observado es de 6.340 con una significancia es sig. = 0.000 ubicado por debajo del margen de error 0.05 testificando que hay una mejora significativa. (Tabla 08 figura 08 p, 47).

En la investigación (Illanes Sotomayor & Manuel Quispe Apaza, 2022) propone un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad de la Concentradora Depósitos Lixiviables del asiento minero Toquepala - Ilabaya – Tacna usando la metodología RCM y distribución de Weibull para encontrar los componentes que requieran un rediseño como es el caso del motor eléctrico y propone una frecuencia óptima para un mantenimiento preventivo.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Conceptos básicos en mantenimiento de equipos pesados.**

#### **2.2.1.1 Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo es un conjunto de tareas con carácter técnico programadas periódicamente con el único objetivo de evitar futuras anomalías en componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos, electrónicos y piezas de rozamiento en los equipos pesados, de esta manera se garantiza la seguridad de operación por parte de los usuarios y aminorar costos para la empresa (John Moubray - Predictiva21, n.d.).

#### **2.2.1.2 Mantenimiento programado**

El mantenimiento programado es un enfoque de mantenimiento proactivo en el que el trabajo de mantenimiento se programa regularmente. Por lo tanto, el objetivo principal del mantenimiento programado es maximizar el rendimiento del componente de los subsistemas operando el equipo de la manera más segura posible; a manera de ejemplo



si cambio aceite a un equipo pesado cada vez que se activa el indicador de presión de aceite no es un mantenimiento programado sin embargo si se estable una frecuencia de cambio de aceite ya es programado (John Moubrey - Predictiva21, n.d.).

### **2.2.1.3 Mantenimiento no programado**

Cuando la aparición de fallo de un subcomponente es repentina esta requiere trabajos correctivos se retira al equipo de la producción esta se considera trabajo no programado.

### **2.2.2 Gestión del mantenimiento**

Es el conjunto de actividades que se realizan en una organización para asegurar que sus equipos y/o componentes operen de manera adecuada en el desarrollo de las actividades de la operación; preservando la función, en condiciones de operación, optimizando el rendimiento y garantizando la vida útil del equipo (Tavares, 1999).

El desempeño de la gestión de mantenimiento está basado en el óptimo funcionamiento de las empresas, el departamento de mantenimiento no debe limitarse solamente a la reparación de los equipos, sino también debe pilotear los costos de mantenimiento, recursos humanos y almacén de repuestos a fin de desarrollar una óptima gestión de mantenimiento (Wang et al., 2020).

### **2.2.3 Modelos de Gestión de Mantenimiento**

#### **2.2.3.1 Mantenimiento productivo total (TPM)**

La metodología TPM es una estrategia aplicada a una empresa dedica al rubro de mantenimiento o planta con un objetivo claro de encontrar oportunidades de mejora en la



producción y al mismo tiempo aumentar la motivación de los trabajadores y su satisfacción en el trabajo (BSG Institute, 2022).

Cuando se dieron los distintos sistemas de calidad, nos enfocamos en las “5M”, pero no en todas:

- Mano de obra
- Medio ambiente
- Materia prima
- Métodos
- Maquinas

Se puede decir que aparece un nuevo método denominado TPM que toma en cuenta las 5M y ofrece maximizar la certidumbre de los sistemas eliminando las pérdidas (Higuita Durán et al., 2012).

El TPM en el sistema Japonés de mantenimiento industrial ha sido como parte del concepto Mantenimiento Preventivo, basado en la industria de los Estados Unidos (Higuita Durán et al., 2012).

**2.2.3.1.1 Los 8 pilares del TPM.** – Conocido como la base fundamental de la metodología, cada uno representa la ruta a seguir en eliminar o reducir las pérdidas, como son: Paradas programadas de planta, Ajustes de la producción, evaluación de fallas en los equipos, fallas del proceso, mermas de la producción, defectos de calidad y reprocesamiento. Para la elección de que pilar a seguir, lo primero que el departamento de contabilidad de la planta debe analizar las pérdidas con esto definir la guía a aplicar (BSG Institute, 2022).

- 1) Enfoque de mejoras (Kobetsu Kaizen)



- Autonomía de los mantenimientos (Jishu Hozen)
- Mantenimiento planificado
- Calidad en los mantenimientos (Hinshitsu Hozen)
- Prevención del mantenimiento
- gestión de nuevos equipos y/o renovación
- Formación y Adiestramiento continuo.
- Gestión de la Seguridad del área.

Cabe aclarar que antes de revisar los pilares se recomienda revisar los alcances de la implementación del TPM.

Primero saber que TPM comprende cada área de la operación, se entiende que ningún un gerente del área de mantenimiento solo él no puede implementar TPM, no podría aplicarse mantenimiento autónomo.

Segundo una organización debe haber implementado el Análisis de Modos y Efectos de Fallas en todas sus maquinarias pesadas lo que implica el TPM en este punto (BSG Institute, 2022).

#### **2.2.3.1.2 Primer Pilar – Mejoras Enfocadas (Kobetsu Kaizen)**

Es encontrar la oportunidad de optimizar la planta, la capacidad de minimizar o eliminar los desperdicios, tenemos la capacidad de encontrarla con herramientas estratégicas como el mapeo de la cadena de valor, los estudios de brechas y la teoría de restricciones (BSG Institute, 2022).



#### **2.2.3.1.3 Segundo Pilar – Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen)**

Esto es para capacitar al operador para que pueda realizar trabajos de mantenimiento básico, pero es él quien informa correctamente las fallas al realizar el mantenimiento básico, la lubricación y los ajustes (BSG Institute, 2022).

#### **2.2.3.1.4 Tercer Pilar – Mantenimiento Planificado**

Cabe mencionar que realiza una buena recopilación de datos y una buena investigación para realizar la atención preventiva adecuada. Para luego realizar un mantenimiento planificado que reduzca costos y aumente la disponibilidad (BSG Institute, 2022).

#### **2.2.3.1.5 Cuarto Pilar – Mantenimiento De Calidad (Hinshitsu Hozen)**

No es solo cuánto hacemos, sino también qué productos es probable que fabriquemos, con qué tolerancias podemos trabajar y cuántos defectos quedan en cada proceso. La escasez surge de problemas mecánicos, problemas de materiales, problemas de procedimiento o problemas con el personal operativo. (BSG Institute, 2022).

#### **2.2.3.1.6 Quinto Pilar – Prevención del Mantenimiento**

En otras palabras, para planificar y conocer nuevas máquinas que probablemente se utilizarán en nuestra organización, necesitamos diseñar o rediseñar procesos para ella, revisar nuevos proyectos, crear y evaluar revisiones operativas y, finalmente, ver la instalación y puesta en marcha. (BSG Institute, 2022).



### **2.2.3.1.7 Sexto pilar – Actividades de Departamentos Administrativos y de Apoyo**

Para eso, debe usar el mapa de la cadena de costos transaccionales para encontrar oportunidades y luego puede lanzar el proyecto para corregir el tiempo y los errores. (BSG Institute, 2022).

### **2.2.3.1.8 Séptimo Pilar – Formación y adiestramiento**

La formación debe ser versátil, de acuerdo con las necesidades de las fábricas y organizaciones, algunos desperdicios se producen por el hecho de que los individuos no están debidamente formados, por lo que la idealización de la formación individual debe partir de las oportunidades. encontrado en funciones de empleado y operador (BSG Institute, 2022).

### **2.2.3.1.9 Octavo Pilar – Gestión de Seguridad y Entorno**

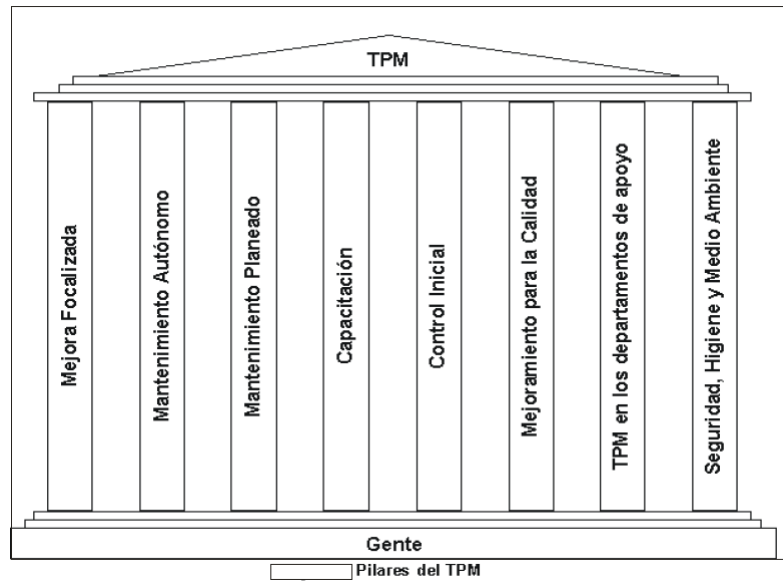
**2.2.3.1.10** La investigación sobre maniobrabilidad debe combinarse con la investigación sobre prevención de accidentes (BSG Institute, 2022).

El uso de todos los pilares no es del todo paralelo, pero elegir con qué pilar comenzar requiere formar grupos interdisciplinarios para cada pilar, por lo que para cada pilar se debe registrar el nivel de TPM (BSG Institute, 2022).

Muchas organizaciones intentan implementarlo y fallan porque no entienden que tenemos que empezar en un cierto nivel, otras organizaciones solo intentan implementarlo en el proceso de mantenimiento y es imposible hacerlo (BSG Institute, 2022).



**Figura 2: Los 8 pilares del TPM**



Fuente: (Higuita Durán et al., 2012)

### 2.2.3.2 Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM)

Este modelo se basa en la filosofía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), cuyo objetivo principal es optimizar la confiabilidad de los grupos en condiciones de trabajo definidas y establecer las actividades de mantenimiento más efectivas en términos de la funcionalidad de la criticidad de los conjuntos, tomando en cuenta los impactos probables. Los métodos de falla de tales ensambles afectan la estabilidad, el medio ambiente y la operación (Mago Ramos et al., 2020).

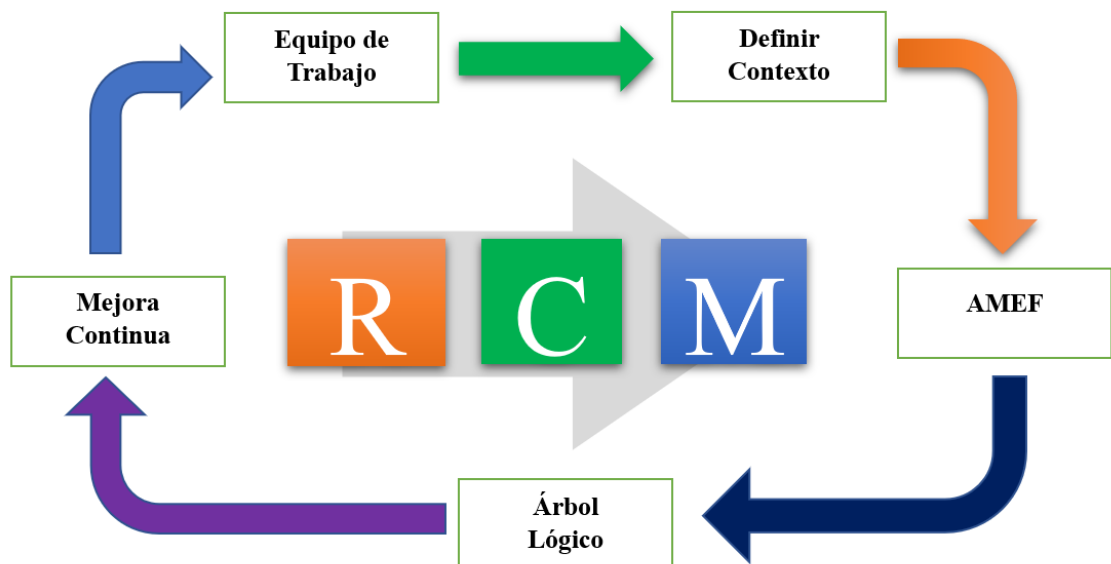
Este modelo se apoya en la gestión de montaje y logística, que a través de sus procesos asegura el adecuado suministro de recursos para la tramitación de las tareas de mantenimiento (Luna et al., 2017).

Nuestro modelo combina métodos de mantenimiento preventivo y correctivo basados en el estado y la experiencia que tenemos como organización en el sector de minería

subterránea, tratando de encontrar formas de minimizar la ocurrencia de fallas y su impacto en la producción de kits. aumentando su disponibilidad. (Luna et al., 2017).

Dentro del modelo de mantenimiento se determinó como métrica de confiabilidad la disponibilidad mecánica inherente, ya que esta métrica nos da la capacidad de medir tanto el diseño de los equipos como el nivel de mantenibilidad de nuestro soporte de mantenimiento (Luna et al., 2017).

**Figura 3:** Filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)



Fuente: (John Moubray - Predictiva21, n.d.)

#### 2.2.3.2.1 Las siete preguntas básicas del RCM. -

¿Cuáles son las restricciones funcionales y de gestión asociadas con el activo en su entorno operativo actual?

¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

¿Cuál es la causa de cada falla funcional?



¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

¿En qué sentido es importante cada falla?

¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (Luna et al., 2017)

#### 2.2.3.2.2 Funciones y parámetros de funcionamiento

Antes es posible aplicar un proceso con el objetivo de determinar un activo físico continúe trabajando en su proceso normal (Luna et al., 2017), necesitamos hacer 2 cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga.
- Hay que asegurar que el proceso garantice que los usuarios quieren que haga.

Por lo tanto, el primer paso en el proceso de RCM es conceptualizar las funciones de cada activo en su entorno operativo, junto con las restricciones de control deseadas (Luna et al., 2017):

- **Funciones primarias.** - Esta categoría de funcionalidad cubre temas como velocidad, producción, almacenamiento o capacidad de carga, calidad del producto y servicio al cliente (Luna et al., 2017).
- **Funciones Secundarias.** - Los usuarios también tienen expectativas en términos de seguridad, control, contención, comodidad, integridad estructural, economía, custodia, eficiencia operativa, cumplimiento ambiental e incluso puntos de activos (Luna et al., 2017).



Los usuarios de activos están en una mejor posición para saber exactamente qué contribución física y financiera hacen los activos a la organización en su grupo (Luna et al., 2017).

Además, permite que el equipo que realiza el escaneo obtenga información importante, a menudo una parte alarmante de cómo funciona realmente el accesorio (Luna et al., 2017).

El RCM tiene interés de estudio los siguientes puntos:

#### **2.2.3.2.3 Fallas funcionales. -**

1. Identificar que fallas pueden ocurrir.
2. Que eventos pueden causar esta falla.

#### **2.2.3.2.4 Modos de Falla.**

Todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla (Cordova Vargas et al., 2019).

#### **2.2.3.2.5 Efectos de la Falla.**

Que ocurre con cada modo de falla

1. Evidencia la existencia de la falla ocurrida
2. Es la evidencia de un modo de amenaza para la seguridad o medio ambiente
3. Es la evidencia directa a la producción o a las operaciones
4. Son los daños físicos a causa de la falla
5. Que debe hacerse para la corrección de la falla



#### **2.2.3.2.6 Consecuencias de la Falla.**

La particularidad del RCM es que el desempeño técnico tiene menor importancia que la consecuencia de una falla. Por cierto, admite que la única razón para el mantenimiento preventivo no es evitar una falla por sí, sino evitar las consecuencias de una falla (Luna et al., 2017).

1. Cuáles son las consecuencias de fallas ocultas,
2. Cuáles son las consecuencias ambientales y de seguridad originados por fallas,
3. Cuáles son las consecuencias operativas
4. Cuáles son las consecuencias no operativas.

#### **2.2.3.2.7 Tareas Proactivas.**

**2.2.3.2.8** Se aplican cuando las consecuencias de los fallos son relevantes, con el fin de prevenir o anticipar los fallos, o al menos minimizar las consecuencias (**Luna et al., 2017**).

1. Reacondicionamientos cíclicos.
2. Sustitución cíclica.
3. Tareas a condición.

#### **2.2.3.2.9 Acciones a falta de tareas proactivas.**

Se reconoce tres categorías en cuanto a las acciones por fallas:

1. Búsqueda de fallas
2. Rediseño
3. Ningún mantenimiento programado



#### **2.2.3.2.10 Beneficios del RCM.**

Los principales beneficios del RCM son:

1. Mejor seguridad e integridad ambiental
2. Mayor funcionamiento operacional
3. Mayor costo-eficacia de Mantenimiento
4. Incremento de vida útil de componentes costosos
5. Una mejor base de datos a nivel global
6. Incremento de confianza en la motivación del personal tecnico
7. Mejor organización de trabajo en equipo

(John Moubray - Predictiva21, n.d.)

#### **2.2.4 Equipo pesado de perforación con soporte de roca DS311**

EL Empernador electrohidráulico DS311 es un equipo pesado muy versátil y compacto el que está diseñado para el sostenimiento de la roca en minería subterránea con secciones transversales pequeñas y medianas DS311 (Bolter & Set, n.d.).

El equipo pesado DS311 cuenta con una torreta diseñada para perforar e insertar varillas de perno como sujetador de roca, también tiene el dispositivo para del sistema de inflado que permite insertar pernos splicet. (Bolter & Set, n.d.)

**Figura 4:** Equipo Empernador DS311



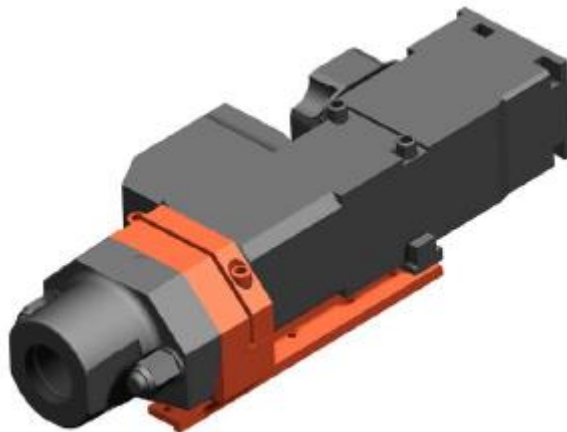
Fuente: Página Oficial Sandvik del Perú

## 2.2.4.1 Principales sistemas de operación y mantenimiento

### 2.2.4.1.1 Hydraulic rock drill.

Perforadora de roca hidráulica utilizada para la perforación e instalación de malla.

**Figura 5:** Perforadora hidráulica RD314



Fuente: Manual operación del equipo Sandvik DS311

Las características de la perforadora hidráulica son:

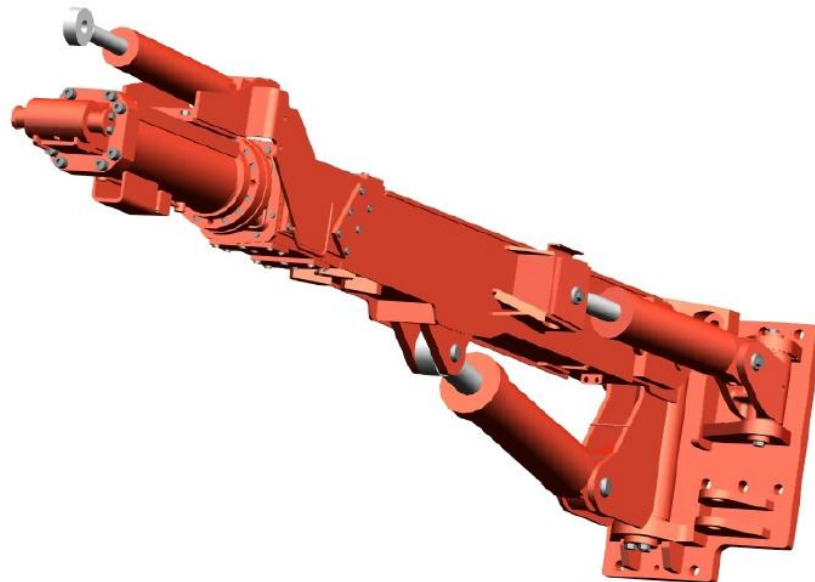
- Tipo de martillo RD314 (TS2-137)
- Potencia de percusion 14 kW

- Presión de percusión máximo 180 bar
- Frecuencia de rotación 110 Hz
- Velocidad de rotación Max. 530 rpm
- Rotación torque Max. 340 Nm
- Hole dimension diametro 33 – 43 mm (1”5/16 – 1”23/32)
- Varilla recomendada R32 – HEX25 – R25
- Shank hembra R32 adaptador
- Peso 115kg
- Dispositivo de llenado para acumuladores TS2-430

#### 2.2.4.2 Boom.

Soporte brazo de la torreta equipada con actuadores hidráulicos para su articulación.

**Figura 6:** Soporte brazo de torreta



Fuente: Manual operación del equipo Sandvik DS311

- Tipo de boom B26XLB (TS2-207)
- Boom extension 1 700 mm





- Peso del Boom, net 1 500 kg
- Angulo de giro 360°

#### **2.2.4.3 Sistema hidráulico.**

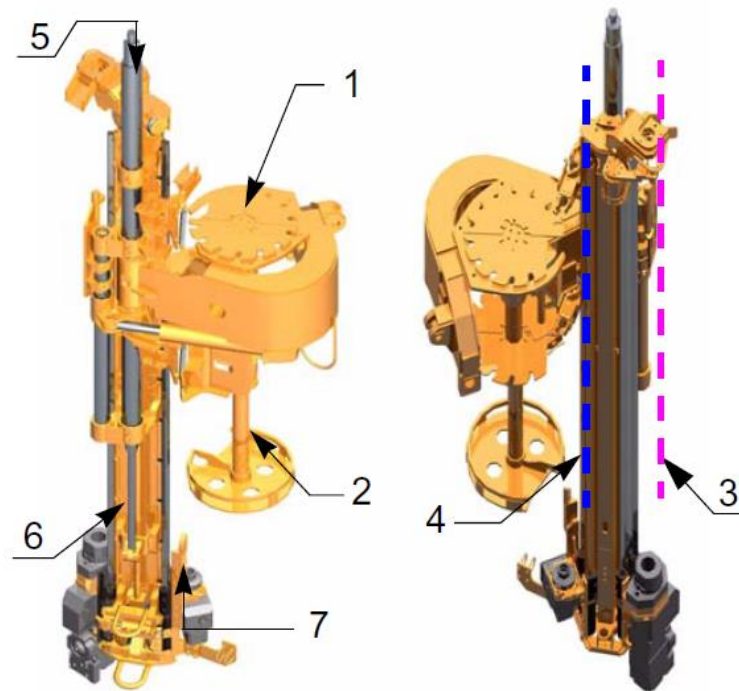
El equipo está formado por un sistema electrohidráulico comandado por un control llamado THC 561 que controla los diferentes componentes principales del equipo como:

- Tipo de Sistema de control THC561 (TS2-362)
- Sistema de control hidráulico
- Control Manual hidráulico de paralelismo
- Control manual de perforación, avance / presión de percusión, avance /monitoreo de la presión de percusión, Anti-jamming system y Flushing control (On /Off/Auto.)
- Drilling safety Boom movements inhibition switches

#### **2.2.4.4 Bolting head.**

Mas conocido como torreta terminología minera, es un mecanismo diseñado para perforar e instalar platinos y mallas en la roca.

**Figura 7:** Torreta Boltin Head



Fuente: Manual operación del equipo Sandvik DS311

- SBH (TS2-208) SBH5 SBH6 SBH7 SBH8 SBH10
- Longitud de Perno mm 1 525 1 830 2 135 2 440 3 050
- Longitud de acero de perforación mm 1 975 2 175 2 475 2 795 3 405
- Profundidad del agujero mm 1 755 1 950 2 250 2 570 3 185
- Longitud total (A) (drilling) mm 2 520 2 820 3 120 3 440 4 090
- Longitud total (B) with RHR50 (bolting) mm 2 710 3 010 3 310 3 630 4 280
- Longitud total (B) with RD315 (bolting) mm 2 770 3 070 3 370 3 690 4 340
- Altura operative recomendada RD315 (min.) mm 2 970 3 270 3 570 3 890 4 540
- Peso total\* kg 1 040 1 070 1 100 1 150 1 280



#### 2.2.4.5 Sistema eléctrico.

El equipo tiene tres subsistemas eléctricos, sistema eléctrico 440V AC, sistema Eléctrico 24V DC y sistema electrónico 5V DC.

- Voltaje nominal 380 - 690 V ( $\pm 10\%$ )
- Potencia instalada del sistema 70 kW
- Sistema switch MSE 5
- Especificación de clasificación IP TS2-132
- Método de inicio Star Delta 380 V - 575 V
- DOL 600 -690 V
- Enrollador de cable automático TCR1
- Control del carrete de cable automática, incluye en la parte posterior el manual.
- Junta AGM batería 2 x 12 V, 95 Ah
- Soporte de enchufe parte posterior
- Luces delanteras (trabajo y conducción combinados) 4 x 50 W LED (4 200 lm, 6 000 K)
- Luces traseras (trabajo y conducción combinados) 4 x 50 W LED (4 200 lm, 6 000 K)
- Luz de búsqueda remota: 1 x 40W LED (2 300 lm, 5 700 K)
- Manual de capote: 1 x 17W LED (600 lm, 6 000K)
- Freno trasero / Luces de estacionamiento 2 x Red LED

## 2.2.5 Equipo pesado de perforación Jumbo DD321.

**Figura 8:** Jumbo DD321.

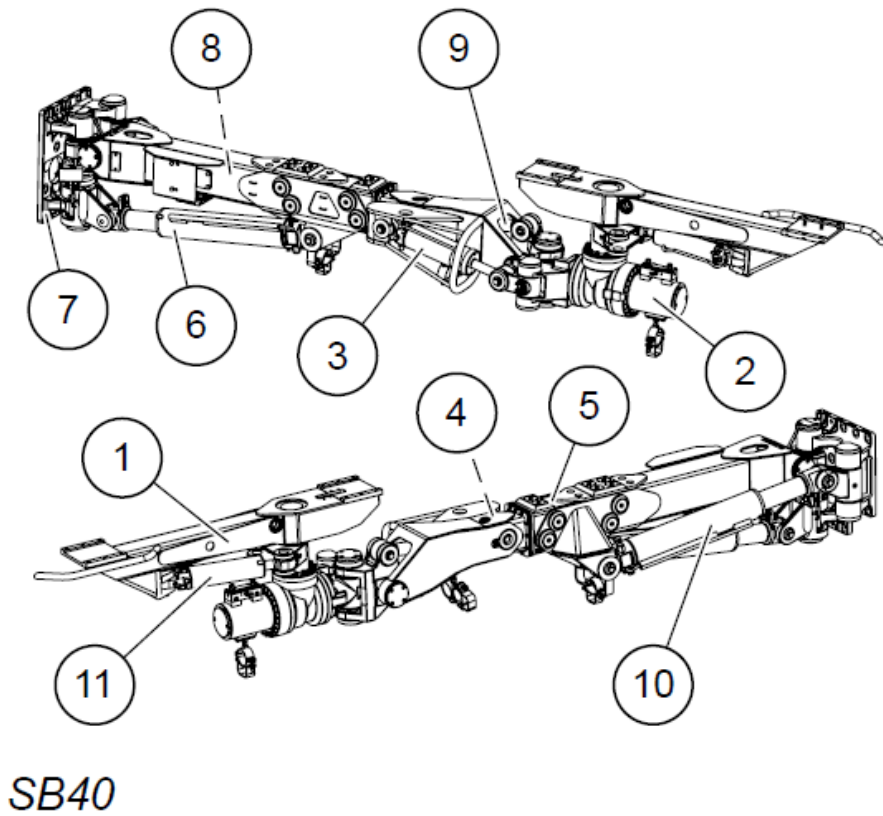


Fuente: Manual de Operación Jumbo DD321

### 2.2.5.1.1 Sistema viga brazo.

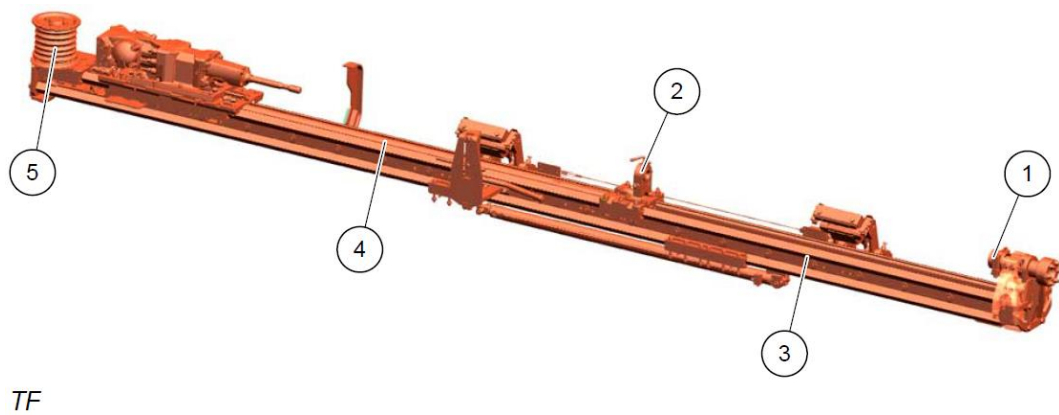
El equipo cuenta con un brazo de modelo SB40 y una viga TF y TFX (retráctil) para el proceso de perforación de roca.

**Figura 9:** Brazo boom SB40



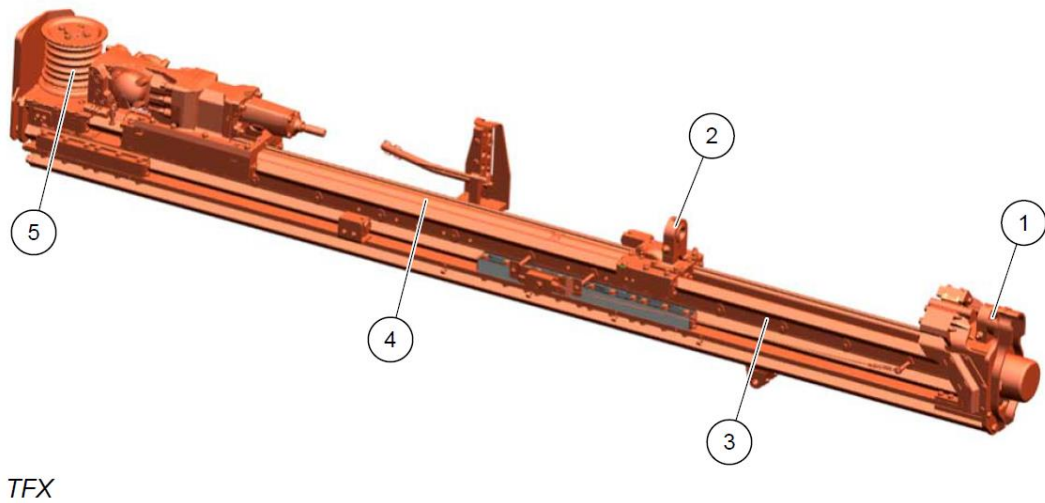
Fuente: Manual de Operación de Jumbo DD321

**Figura 10:** Viga TF.



Fuente: Manual de Operación de Jumbo DD321

**Figura 11:** Viga TFX.



TFX

Fuente: Manual de Operación de Jumbo DD321

#### 2.2.5.1.2 Sistema perforación.

Cuenta con un sistema de perforación THC520 para su control de perforación desde cabina y cuenta con una perforadora hidráulica RD520

**Figura 12:** Perforadora RD520.

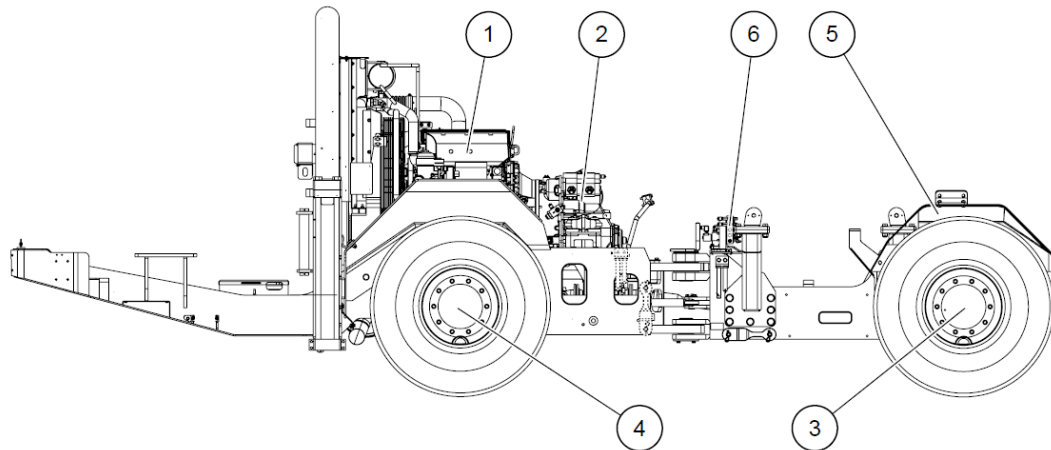


Fuente: Manual de Operación de Jumbo DD321

#### 2.2.5.1.3 Motor Diesel.

El equipo trae un motor de marca mercedes Benz Modelo OM 904.

**Figura 13:** Motor Diesel OM 904

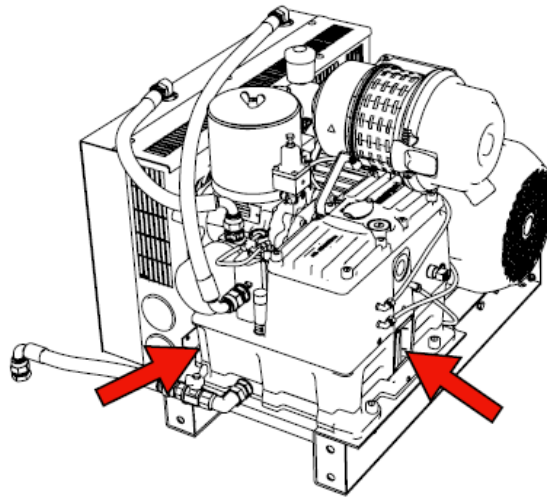


- |   |                         |   |                                      |
|---|-------------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | <b>Motor diésel</b>     | 2 | Transmisión                          |
| 3 | Eje delantero           | 4 | Eje trasero                          |
| 5 | Acumuladores de presión | 6 | Adaptadores de medición del portador |

Fuente: Manual de Operación de Jumbo DD321

2.2.5.1.4 **Sistema Aire.** – el equipo cuenta con una compresora CTN-16 que desarrolla una presión de 7bar y sirve para el sistema de perforación en lubricación de la perforadora.

**Figura 14:** Compresor CTN-16



Fuente: Manual de Operación de Jumbo DD321

#### 2.2.5.1.5 Sistema eléctrico.

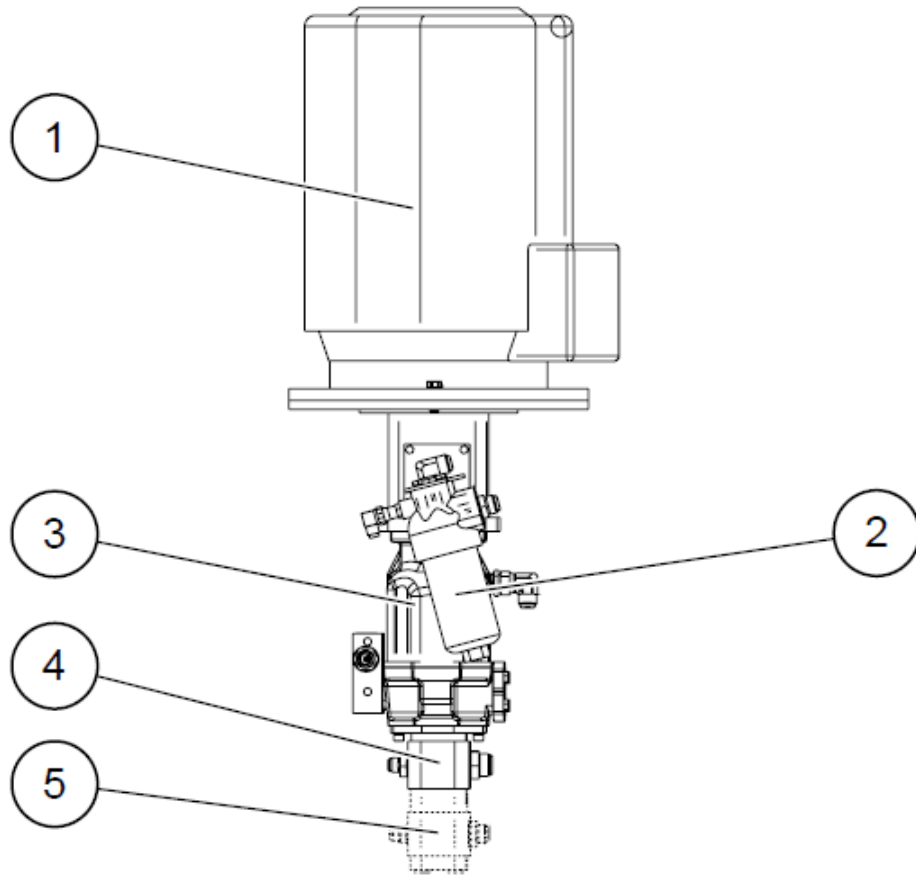
El equipo cuenta con un sistema eléctrico de 440v AC para dos motores eléctricos de 75KW y un sistema de 24v DC para la motorización mencionada.

#### 2.2.5.1.6 Sistema hidráulico.

El equipo trae un sistema hidráulico impulsado por una bomba hidráulica variable y bombas tándem que permiten el trabajo de las perforadoras que implica rotación, percusión y avance del sistema de perforación.



**Figura 15:** Bomba hidráulica y bombas tándem.



Fuente: Manual de Operación de Jumbo DD321

1. Motor eléctrico de bomba
2. Filtro de presión de la bomba
3. Bomba de caudal variable de percusión y avance
4. Bomba de engranajes (rotación)
5. Bombas de engranajes (brazo de uso general) (solo si el equipo dispone de un brazo de uso general)

## 2.2.6 Equipo de acarreo de mineral Scoop R1600H

**Figura 16:** Cargador bajo perfil R1600H.



Fuente: Manual de operación y mantenimiento R1600H

### 2.2.6.1 Cabina.

CAT.MS es un sistema flexible y modular que incluye el Módulo de Mensajes Primordial (Primordial Display Module – Message Center), varios interruptores y sensores, luces de acción y alarmas de acción, dependiendo de la máquina, teniendo además la alternativa de utilizar un 4-Clock Módulo y/o módulo de velocímetro/tacómetro, el sistema de monitoreo Caterpillar es la próxima generación de sistemas de monitoreo CMS computarizados (Viña Miranda, 2019).

El módulo tiene una pantalla que muestra:

- Horómetro (horas de servicio de la máquina)
- Tacómetro (velocidad del motor)
- Odómetro (distancia recorrida)
- Códigos de Diagnóstico

**Figura 17:** Figura 2.15: Cabina



Fuente:

Manual de operación y mantenimiento R1600H

SMCS es un sistema de monitoreo electrónico que supervisa los sistemas de las máquinas; estos sistemas sirven para alertar al operador de problemas inminentes o inminentes de uno o más sistemas de la máquina.

**Figura 18:** Grupo de instrumentos del panel cabina.

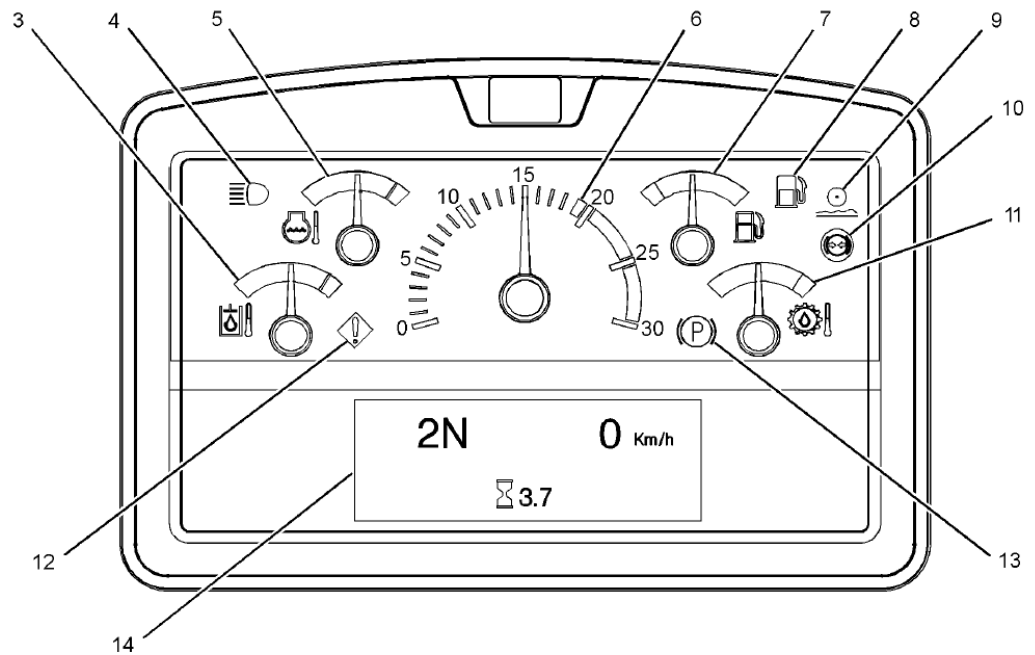


Ilustración 121

g02796815

(3) Temperatura del aceite hidráulico  
(4) Luz alta  
(5) Engine Coolant Temperature  
(Temperatura del refrigerante del motor)  
(6) Tacómetro

(7) Indicador de combustible  
(8) Nivel bajo de combustible  
(9) Control de amortiguación  
(10) Presión residual del aceite del freno

(11) Temperatura del aceite del convertidor de par  
(12) Luz de acción  
(13) Freno de estacionamiento  
(14) Pantalla de cristal líquido (LCD)

Fuente: Manual de operación y mantenimiento R1600H

### 2.2.6.2 Motor.

El fabricante cuenta con sus propios motores en este caso corresponde a un C11.

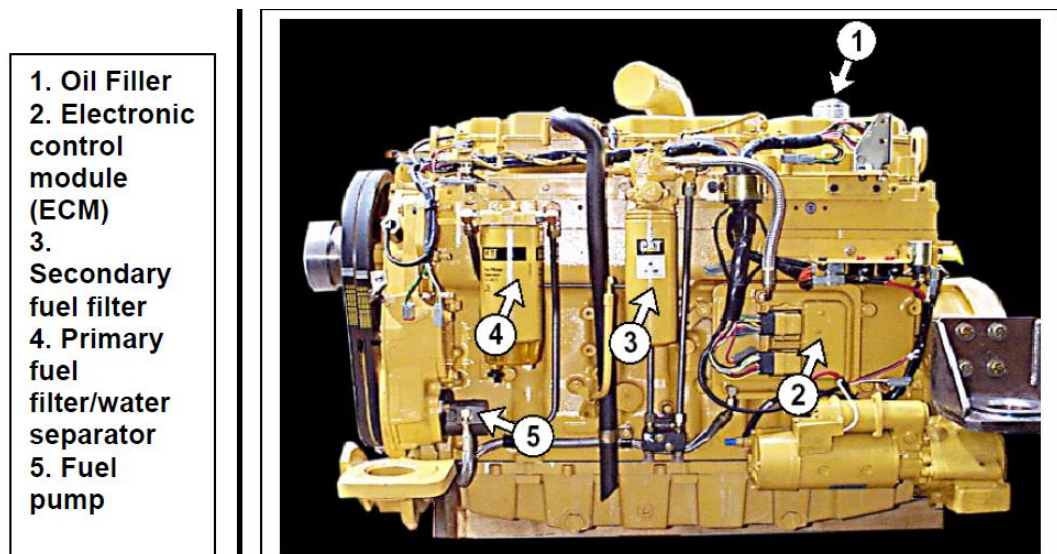
**Figura 19:** Motor Diesel C11



Fuente: Manual de operación y mantenimiento R1600H

Componentes principales del motor C11

**Figura 20:** Componentes de motor C11

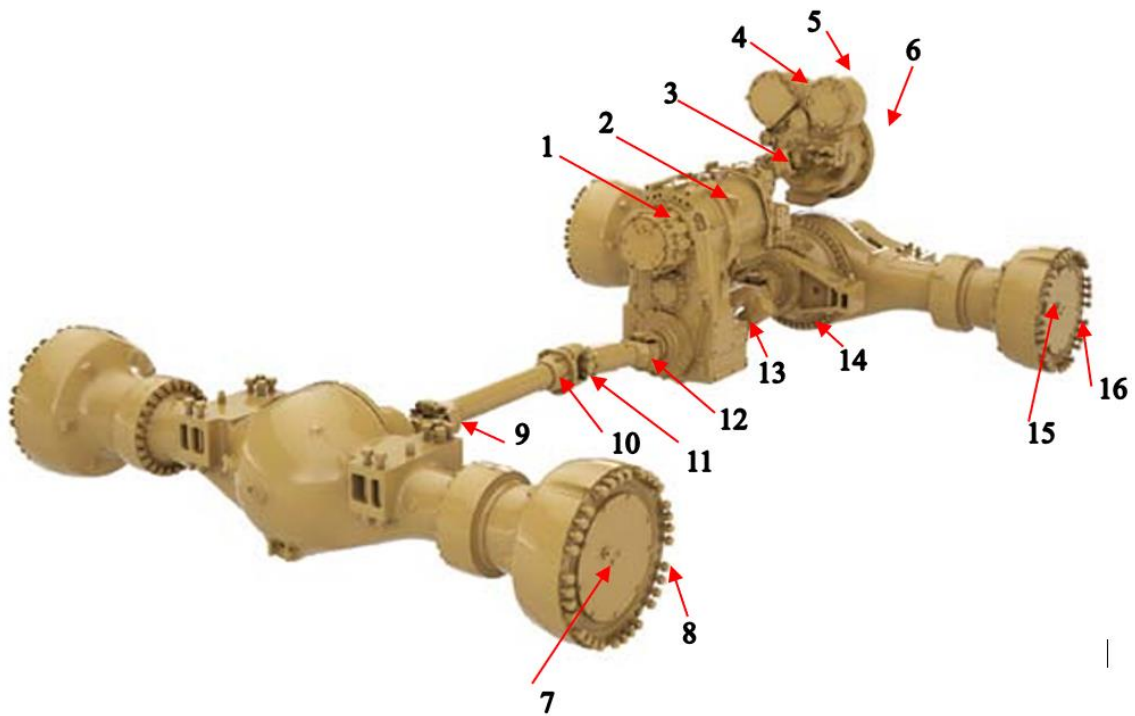


Fuente: Manual de operación y mantenimiento R1600H

### 2.2.6.3 Tren de potencia.

El equipo trae 16 subcomponentes en este sistema las que se detallan en la figura\_19.

**Figura 21: Subcomponentes del tren de potencia**



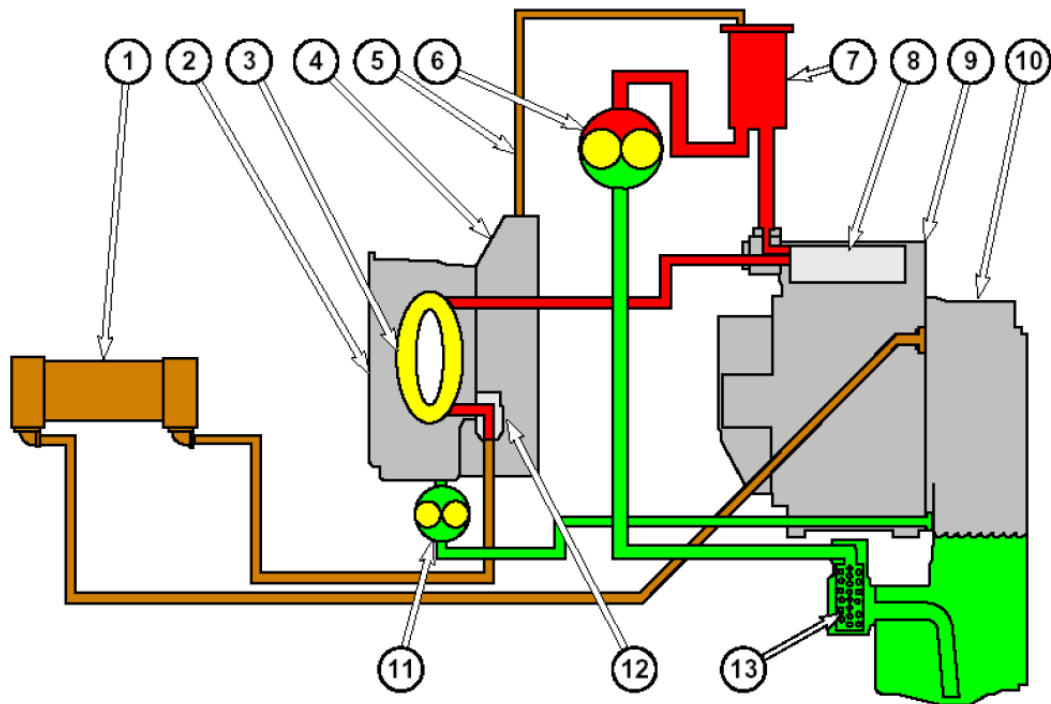
Fuente: Manual de operación y mantenimiento R1600H

- |                            |                                       |
|----------------------------|---------------------------------------|
| (1) Output transfer gears  | (2) Upper drive shaft                 |
| (3) Transmission planetary | (4) Transmission hydraulic control    |
| (5) Torque converter       | (6) Engine                            |
| (7) Front final drive      | (8) Front differential                |
| (9) Front drive shaft      | (10) Front driveshaft support bearing |
| (11) Center drive shaft    | (12) Rear driveshaft support bearing  |
| (13) Rear drive shaft      | (14) Rear final drive                 |
| (15) Rear differential     | (16) Torque converter case            |

### 2.2.6.3.1 Sistema Hidráulico del Tren de Potencia R1600H

El equipo cuenta con dos sistemas hidráulicos, uno que es la principal y el segundo es el sistema piloto.

**Figura 22:** Sistema hidráulico del tren de potencia.



Fuente: Manual de operación y mantenimiento R1600H

- (1) Enfriador de aceite
- (2) Carcasa del convertidor del par
- (3) Convertidor de par
- (4) Caja de engranajes de ascendencia ascendente
- (5) Línea de lubricación
- (6) Bomba de aceite
- (7) Filtro de presión
- (8) Válvula de control



- (9) transmisión
- (10) Case
- (11) Bomba de barrido
- (12) Válvula de alivio de salida
- (13) Pantalla magnética

El aceite del sumidero (parte inferior de la caja de engranajes de transferencia) fluye a través de un filtro magnético hacia la bomba de transmisión.

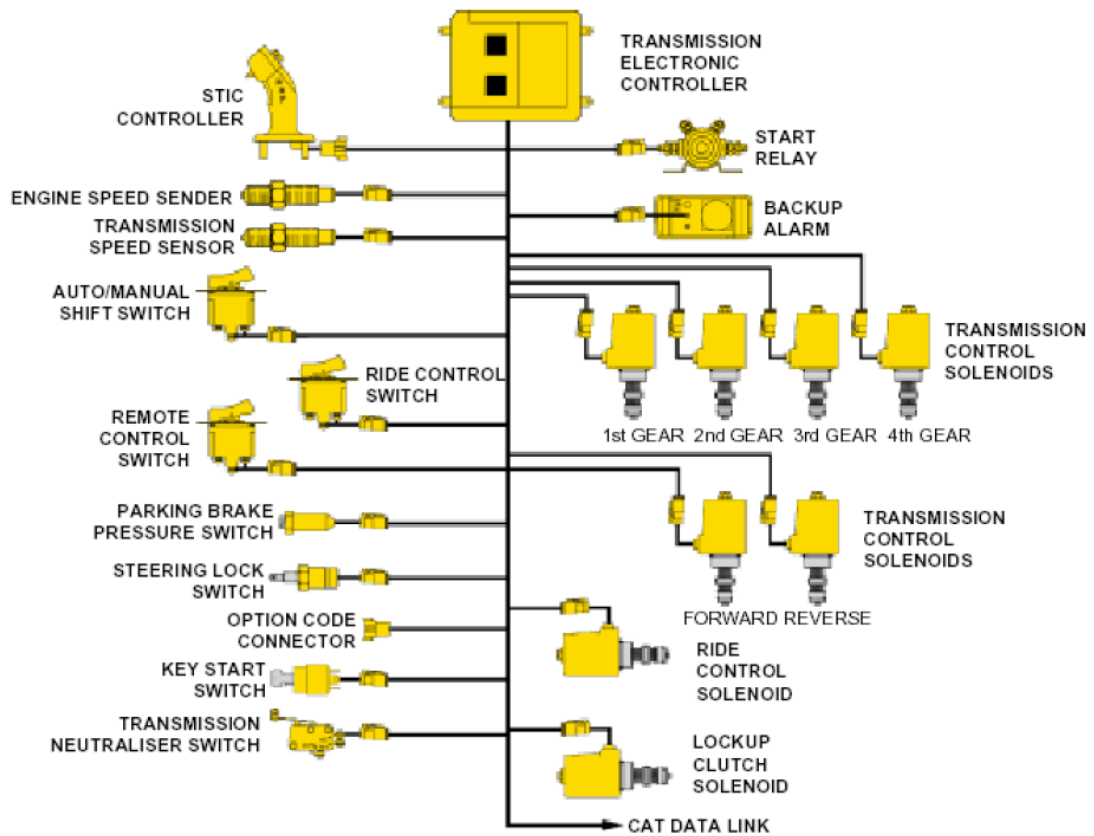
Desde esta válvula de control de la transmisión, el aceite fluye al convertidor de torque, de allí al enfriador de aceite y luego regresa a la caja de cambios de transferencia

#### **2.2.6.3.2 Sistema Electrónico del Tren de Potencia.**

Se muestra el funcionamiento y lógica del sistema electrónico, la ubicación de los elementos esenciales, la identificación de los elementos de entrada y salida para el ECM y la verificación de los límites de calibración con el ET. (Viña Miranda, 2019)



**Figura 23:** Sistema electrónico del tren de potencia

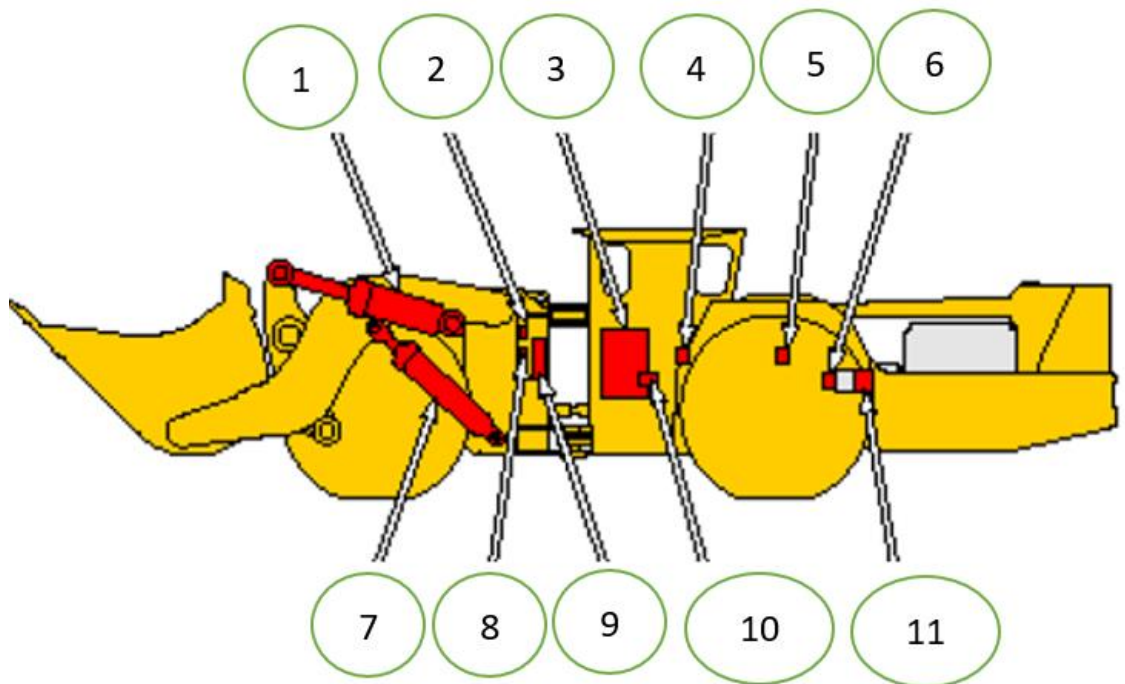


Fuente: Manual de operación y mantenimiento R1600H

### 2.2.7 Sistema hidráulico.

Se presentará el desempeño del sistema hidráulico de los dispositivos, identificaremos sus elementos y los métodos de ajuste del manual de servicio.

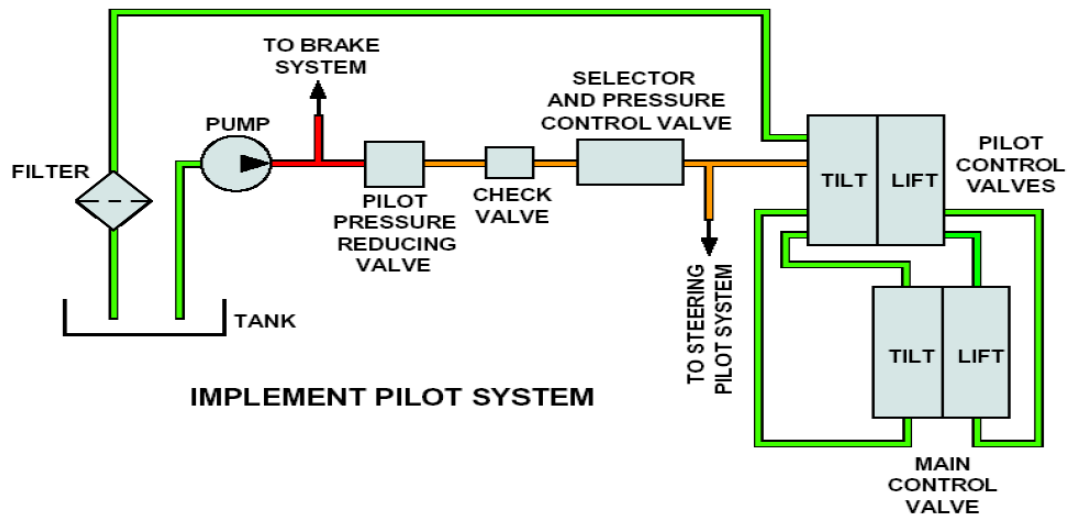
**Figura 24:** Subcomponentes hidráulicos



Fuente: Manual de operación y mantenimiento R1600H

- (1) Cilindro de Inclinación hidráulica
- (2) Válvula de secuencia y flotación
- (3) Tanque hidráulico
- (4) Válvula joystick de control piloto
- (5) Válvula reductora de presión
- (6) Bomba piloto de aceite
- (7) Cilindro de Levante
- (8) Válvula de posicionamiento de la cuchara
- (9) Válvula de control principal
- (10) Válvula de control de presión y selectora
- (11) Bomba hidráulica principal

**Figura 25:** Diagrama Hidráulico de implementos

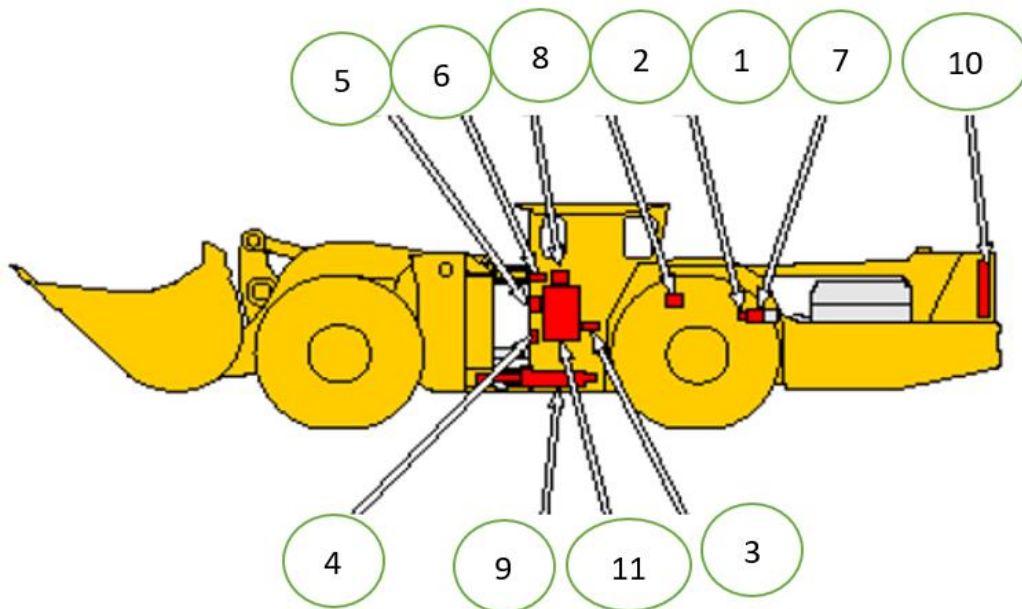


**Fuente:** Manual de operación y mantenimiento R1600H

### 2.2.7.1 Sistema dirección.

Se presenta con subcomponentes y sistema hidráulico de funcionamiento.

**Figura 26:** Subcomponentes dirección

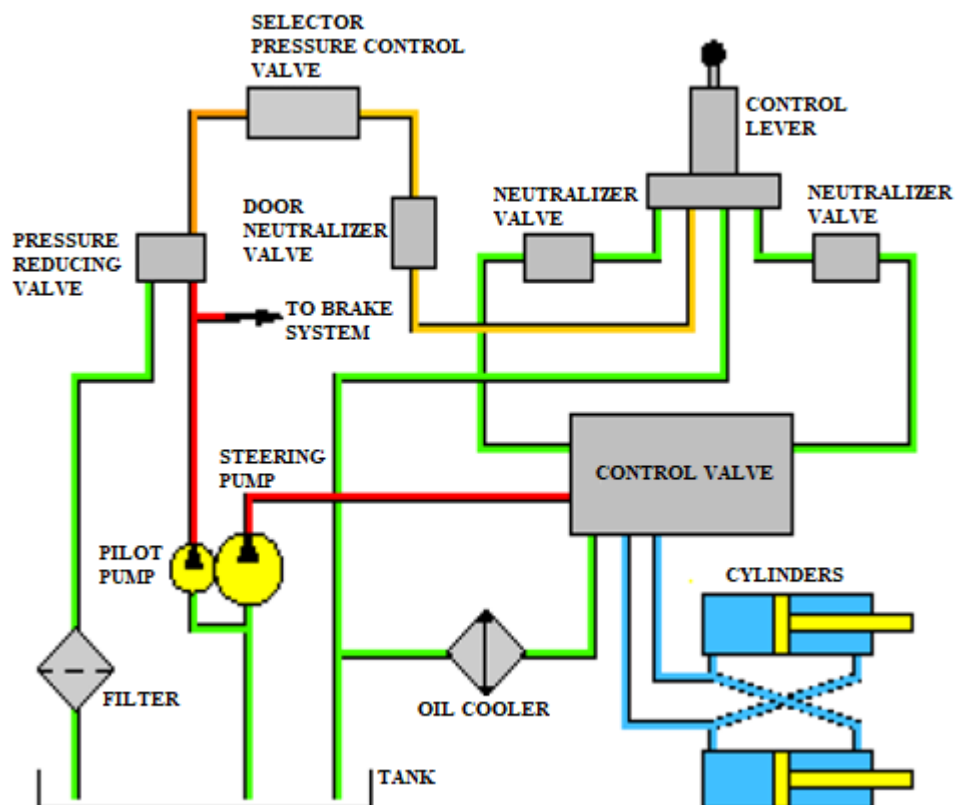


**Fuente:** Manual de operación y mantenimiento R1600H

- (1) Bomba piloto
- (2) Válvula de presión reductora

- (3) Válvula de control de presión y selectora
- (4) Neutralizador de puerta
- (5) Válvula de control piloto
- (6) Neutralizadores de giro
- (7) Bomba de dirección
- (8) Válvula de control principal
- (9) Cilindro de dirección
- (10) Enfriador de aceite
- (11) Tanque hidráulico

**Figura 27:** Sistema hidráulico de dirección



Fuente: Manual de operación y mantenimiento R1600H

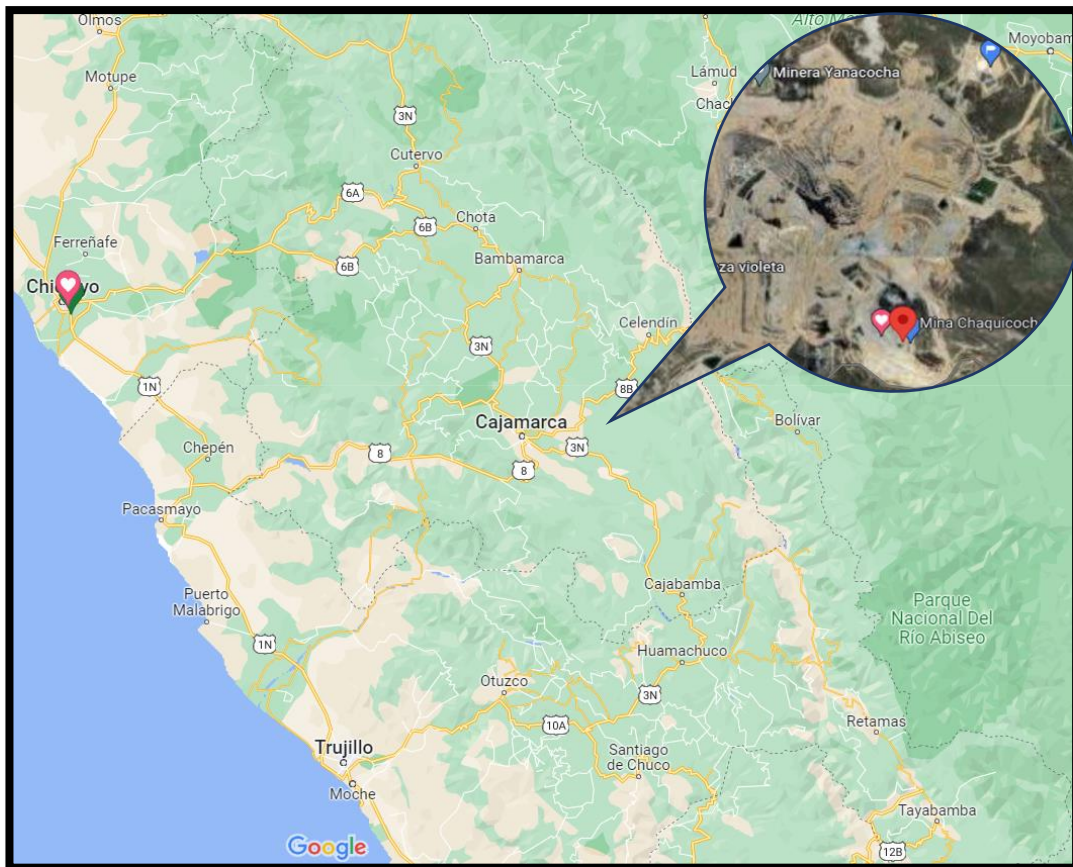
## CAPÍTULO III

### MÉTODOS Y MATERIALES

#### 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La empresa se ubica en el departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca y Distrito de Combayo en las coordenadas UTM Zona 17 coordenada este: 777903.84 m E coordenada norte: 9225605.70 m S.

**Figura 28:** Ubicación del proyecto



Elaboración propia

### 3.2 PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El proyecto de exploración subterránea inicia en enero 2018 y es paralizada a consecuencia del coronavirus en febrero 2020, el estudio inicia en noviembre 2018 y culmina en febrero 2020.

### 3.3 PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

Como objeto de esta investigación tenemos los sistemas, subsistemas y elementos del plan de investigación subterráneo de Yanacocha, los cuales se configuran de la siguiente manera:

- Jumbo DD321 de fabricación Sandvik
- Robolt DS311 de fabricación Sandvik
- Scoop R1600G de fabricación Caterpillar

#### 3.3.1 MATERIAL EXPERIMENTAL

En la presente investigación se trabajó con el 100% de información recolectada de la base de datos en Excel para el caso de indicadores de falla Kpi's, para el control de componentes de falla y uso de un software SAP PM que nos sirvió como control de costos y salida de ordenes de trabajo de los equipos mencionados en la tabla 3.3.

**Tabla 1:** Equipos en estudio

IT	COD.U.M	MARCA	MODELO	NRO. SERIE	PROPIEDAD	AÑO FRAB.
1	ROBOLT_01	SANDVIK	DS-311	L16B6574	AESA	2016
2	JUMBO_01	SANDVIK	DD321	117D46222-1	AESA	2017
3	SCOOP_01	CATERPILLAR	R1600 CCR	9YZ78029	AESA	2018

Elaboración propia

**Figura 29:** Base de datos Excel

Fecha	Tipo Equipo	Código Equipo	Horas Programadas	Inicio Horómetro Motor	Fin Horómetro Motor	Inicio Horómetro Compresor	Fin Horómetro Compresor	Inicio Horómetro Percusión Brazo 1	Fin Horómetro Percusión Brazo 1	Inicio Horómetro Percusión Brazo 2	Fin Horómetro Percusión Brazo 2	Estado del Equipo a fin de guardia	Horas Motor	Horas Hidráulico	Horas Percusión
1/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	942.2	942.7	1154.9	1156.9	570	571.6	568.8	570.4	Operativo	0.5	2	1.6
1/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	942.7	944	1156.9	1158.1	571.6	572.6	570.4	571.4	Operativo	1.3	1.2	1
2/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	944	945.5	1158.1	1159.4	572.6	573.2	571.4	572.3	Operativo	1.5	1.3	0.9
2/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	945.5	947.3	1159.4	1160.8	573.2	574.1	572.3	573.4	Operativo	1.8	1.4	1.1
3/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	947.3	948.7	1160.8	1162.8	574.1	574.9	573.4	574.6	Operativo	1.4	2	1.2
3/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	948.7	949.2	1162.8	1163.9	574.9	575.8	574.6	575.1	Operativo	0.5	1.1	0.9
4/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	949.2	950.9	1163.9	1165.7	575.8	576.9	575.1	576.6	Operativo	1.7	1.8	1.5
4/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	950.9	951.8	1165.7	1166.7	576.9	577.5	576.6	577.2	Operativo	0.9	1	0.6
5/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	951.8	952.7	1166.7	1169.9	577.5	580.1	577.2	579	Operativo	0.9	3.2	2.6
5/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	952.7	953.5	1169.9	1171.7	580.1	582.9	579	581.7	Operativo	0.8	1.8	2.8
6/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	953.5	953.6	1171.7	1171.7	582.9	582.9	581.7	581.1	Operativo	0.1	0	0
6/03/2019	JUMBO FRONTONERO	JUMBO_01	12	953.6	954.8	1171.7	1173.6	582.9	584.3	581.1	582.2	Operativo	1.2	1.9	1.4

Elaboración propia

**Figura 30:** SAP PM

Nombre	Descripción del sistema	IdS	Grupo/Servidor
Acceso SUMMA CENTER		123	summacenter.dyndns
AESA PRD		AEP	10.73.1.7
global talen peru		TEC	181.64.117.209

Elaboración propia

En lo que es referente a control predictivo en la prevención de fallas se ha tenido presente analizador de aceite (contrato Ferreyros), pirómetro, megóhmetro, manómetro.

**Figura 31:** Equipos predictivos pirómetro, megóhmetro, manómetro.



Elaboración propia

### 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto tiene una población de 12 equipos, durante el desarrollo del proyecto 2018 al 2020, en el como se muestra en la tabla 3.1.

**Tabla 2:** Equipos en proyecto

IT	COD.U.M	MARCA	MODELO	NRO. SERIE	PROPIEDAD	AÑO FRAB
1	CARMIX_01	CARMIX	3.5TT	N25T25	UNIMAQ	2017
2	CARMIX_02	CARMIX	3.5TT	M25T11	UNIMAQ	2017
3	CARMIX_02	CARMIX	3.5TT	M25U87	UNIMAQ	2017
4	ROBOLT_01	SANDVIK	DS-311	L16B6574	AESA	2016
5	JUMBO_01	SANDVIK	DD321	117D46222-1	AESA	2017
6	ALPHA_01	NORMET	ALPHA 30	EQ128	ROBOCOM	2015
7	BOBCAT_01	CATERPILLAR	262D	MC001	YANACOA	2016
8	SCAMEC_01	NORMET	2000M	55	NORMET	2011
9	SCOOP_01	CATERPILLAR	R1600 CCR	9YZ78029	AESA	2018
1	TELEHANDER_0	CATERPILLAR	TLG642	THL00182	YANACOA	2013
0	1					
1	VOLQUETE_01	MERCEDES BENZ	ACTROS 3344K	AAC-905	ICDP	2013
1	VOLQUETE_02	VOLVO	FMX 6X4R	C9R-810	LA SHASCHA	2011
2						

Elaboración propia



Para la muestra de objeto de estudio se determina de acuerdo con los resultados obtenidos en los indicadores Kpi's del 2018 y 2019 de la flota de equipos en estudio donde se observa que la confiabilidad se encuentra por debajo de 85% en los equipos Jumbo DD321, Robolt DS311 y Scoop R1600H como se visualiza en el siguiente cuadro.

**Tabla 3:** Resultados kpi's 2018 y 2019

Código Equipo	Horas Trabajadas.	N° Fallas	DO	DM	Utiliz.	MTBF.	MTTR.	Confiab.
ALPHA_01	942.00	1	89.43%	89.43%	28.69%	942.00	12.50	98.69%
BOBCAT_01	370.60	2	94.10%	94.13%	6.19%	185.30	11.70	94.06%
CARMIX_38_02	553.60	8	85.36%	85.36%	17.06%	69.20	5.64	92.47%
CARMIX_39_01	884.40	8	94.34%	94.34%	18.34%	110.55	4.33	96.23%
<b>JUMBO_01</b>	1,155.40	30	85.37%	<b>85.63%</b>	20.68%	38.51	4.33	<b>89.90%</b>
<b>ROBOLT_01</b>	1,155.45	50	81.38%	<b>81.71%</b>	21.67%	23.11	3.97	<b>85.33%</b>
SCAMEC_01	642.90	8	91.76%	91.80%	10.69%	80.36	7.72	91.24%
<b>SCOOP_01</b>	877.50	25	80.37%	<b>80.37%</b>	31.70%	35.10	4.57	<b>88.48%</b>
SCOOP_02	2,344.80	9	94.26%	94.26%	41.05%	260.53	2.18	99.17%
TELEHANDLER_01	1,241.40	4	93.02%	93.05%	36.09%	310.35	7.29	97.70%
VOLQUETE_A5Q-739	66.20	1	95.16%	95.16%	9.35%	66.20	5.00	92.98%
VOLQUETE_AAC-905	1,272.00	17	93.71%	93.71%	21.63%	74.82	3.57	95.45%
VOLQUETE_AFX-777	890.00	7	90.35%	90.35%	18.02%	127.14	4.38	96.67%
<b>Total, general</b>	<b>12,396.25</b>	<b>170</b>	<b>89.79%</b>	<b>89.86%</b>	<b>21.48%</b>	<b>72.92</b>	<b>4.50</b>	<b>94.19%</b>

Elaboración propia

### 3.4.1 Criterios de inclusión.

Los equipos en el presente proyecto tienen un régimen continuo ya que son indispensables para el cumplimiento del proyecto.

- El Jumbo DD321 (perforación horizontal) depende el avance del proyecto subterráneo.
- El Empernador DS311 va a depender el sostenimiento de roca en el avance del proyecto subterráneo.
- El Scoop R1600H va a depender el retiro de mineral para el avance del proyecto subterráneo.



Se debe cumplir con los mantenimientos programados de acuerdo con el departamento de mantenimiento de equipos Trackless.

### **3.5 Criterios de exclusión.**

Para el caso de los Equipos pesados mencionados que no cumplan con las condiciones de operación, se extenderá el trabajo con una demora máxima de 2 días previa evaluación y coordinación con el departamento operativo.

## **3.6 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.6.1 Tipo de investigación.**

Según (Roberto Hernández Sampieri et al., 2014), Las investigaciones son de 2 tipos, experimentales y no experimentales: los diseños experimentales se dividen en pre experimentos empíricos, cuasiexperimentales y puros. (p. 126).

La presente investigación es una investigación experimental, dentro del proceso cuasi experimental.

### **3.6.2 Nivel de Investigación.**

El nivel de investigación está determinado por el nivel de profundidad y/o alcance pretendido por la misma, según, la investigación es exploratoria, descriptiva, correlacional y explicativa.

### **3.6.3 Método.**

- **Se plantea el uso del método científico.** - Alcanzar una comprensión que ha caracterizado históricamente a la ciencia y se basa en la observación sistemática,



la medición, la experimentación y la formulación, estudio y modificación de hipótesis (Roberto Hernández Sampieri et al., 2014).

- **Se plantea el método empírico.** - Cuando se utilizan procedimientos experimentales, se tienen en cuenta métodos de observación, medición y estudios de evaluación crítica de conjuntos y sus elementos internos (Hernández Sampieri et al., 2014).
- **Se plantea el método Analítico.** - Que nos permitirá analizar los datos de la realidad problemática identificando las causas que lo propiciaron (Hernández Sampieri et al., 2014).
- **Se plantea el método Inductivo / Deductivo.** - Nos ayuda a continuar el continuo lógico en el estudio de varios problemas porque comenzamos con hechos observables y llegamos a conclusiones más tarde (Hernández Sampieri et al., 2014).
- **Se plantea el Método Estadístico.** – Este procedimiento nos servirá para procesamiento de los datos obtenidos y comparación del antes y después, operacionalización de la hipótesis.

La presente investigación es una investigación explicativa; La investigación explicativa se orienta al estudio de las condicionantes de la situación problemática.

### **3.7 PROCEDIMIENTO DE LAS PRUEBAS.**

#### **3.7.1 Diagnóstico de los sistemas y subsistemas de componentes de los equipos críticos descritos.**

Mediante el análisis de campo se realizará el diagnóstico de la situación actual de los sistemas, subsistemas y componentes de los equipos que están operando actualmente

en la operación minera subterránea Yanacocha. Los resultados del diagnóstico se registrarán en la siguiente tabla.

**Tabla 4:** Sistemas u subsistemas de equipos

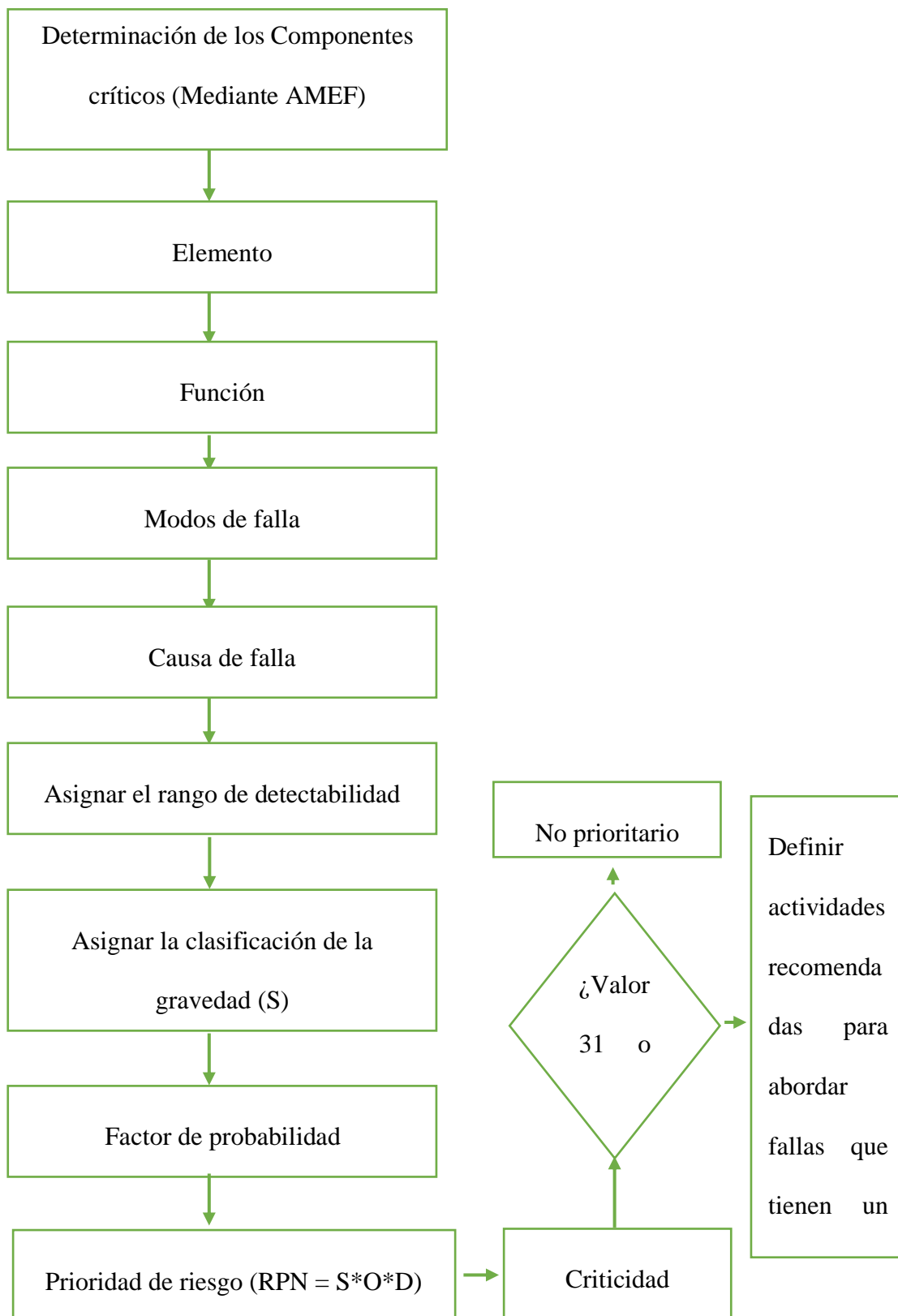
Sistema	Sub-Sistema	condición de	Operación
	Subsistema 1		
	Subsistema 2		
	Subsistema 3		
Sistema	Subsistema 4		
	Subsistema 5		
	....		
	Subsistema n		

Elaboración propia

### 3.7.2 Análisis modos y efectos de falla.

El proceso seguirá la secuencia del diagrama, considera las implicaciones de seguridad de cada modo de fallo, evalúa las consecuencias de seguridad y las consecuencias ambientales (Andrade-Solórzano & Herrera-Suárez, 2021)

**Figura 32:** Proceso del AMEF y criticidad



Fuente: (Andrade-Solórzano & Herrera-Suárez, 2021)

Para realizar el análisis modos y efectos de las fallas utilizaremos la hoja de trabajo que se muestra en la Tabla 3.4. En la tabla se registrará las funciones, fallas funcionales y modos de fallas de cada subsistema de los tres equipos Jumbo DD321, Robolt DS311 y Scoop R1600G del proyecto de exploración subterránea Yanacocha.

**Tabla 5:** Hoja de trabajo AMEF

<b>SISTEMA:</b>	<b>Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha</b>	<b>AMEF</b>	
<b>SUBSISTEMA:</b>			
<b>FUNCIÓN</b>	<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
1	A	1	
	B	1	

Fuente: (Andrade-Solórzano & Herrera-Suárez, 2021)

### **3.7.3 Determinación de la criticidad de los subsistemas de los equipos DD321, DS311 y R1600G.**

Para el presente propósito se utilizará la metodología AMEF y las consecuencias de las fallas y su criticidad, cuya secuencia se explicará a continuación:

- Definir el sistema a estudiar.
- Construir un diagrama de bloques del sistema.
- Detectar posibles formas de falla de recursos y conceptualizar su impacto en la funcionalidad o componentes inmediatos, sistemas y tareas a realizar.
- Evaluamos cada modo de falla en términos de su impacto potencial y otorgamos una categoría de clasificación de gravedad.
- Identificación de procedimientos de detección de fallas y provisión de medidas preventivas para cada modo de falla.

- Identificar acciones correctivas u otras acciones esenciales para corregir el error o mantener el peligro bajo control.
- Documentar la investigación y revelar las desventajas que el diseño no pudo resolver.
- El propósito del método propuesto es identificar los elementos más críticos de un sistema de priorización de mantenimientos.

Según (Mago Ramos et al., 2020).

#### 3.7.4 Análisis de criticidad.

Se realizará de acuerdo con el procedimiento recomendado por la norma IEC 60812, que utiliza el Número de Prioridad de Riesgo (RPN). La criticidad usando el análisis de modos y efectos de falla definida por el RPN se calculará mediante (Cordova Vargas et al., 2019):

$$RPN = S * O * D \quad (1)$$

Donde: S (Gravedad): Esta es la severidad de la falla y se expresa principalmente en niveles de criticidad.

**Tabla 6:** Clasificación de Gravedad (S)

Gravedad (S)		
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
> 8 h	Muy catastrófica	8
7 h	Catastrófico	7
6 h	Muy serio	6
5 h	Grave	5
4 h	Medio	4
3 h	Significativo	3
2 h	Menor	2
1 h	muy menor	1
(= 30) minutos	Pequeña	0.6
(< 30) minutos	Muy pequeña	0.2

Fuente: (Cordova Vargas et al., 2019)

- **Ocurrencia.** - Es probable que el modo de falla se manifieste dentro de un período predeterminado que suele corresponder a la vida efectiva del elemento bajo análisis.

**Tabla 7:** Clasificación Ocurrencia (O)

Ocurrencia (O)		
Posible tasa de ocurrencia	Criterio de Ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de la falla, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo falla	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Promedio, fallas ocasionales	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, falla frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto	10

Fuente: (Cordova Vargas et al., 2019)

- **Detección (D).**- Esta es una estimación de la probabilidad de identificar/diagnosticar y eliminar/prevenir la aparición de una falla antes de que su efecto se manifieste en los sistemas o en el personal (Cordova Vargas et al., 2019)

**Tabla 8:** Clasificación y detección (D)

Detección (D)		
Nivel de detección	Criterio de detección	Valor
No detectable	Imposible	10
Difíciles de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
detectar al azar (Improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Posible detección	Bajo	5
	tarde	4
Detección confiable	Fácil	3
	inmediato	2
Detección permanente	Acción correctiva inmediata	1

Fuente: (Cordova Vargas et al., 2019)





Para la clasificación de los subsistemas críticos se utilizará la siguiente tabla de clasificación de criticidad de acuerdo con el RPN.

**Tabla 9:** Clasificación Criticidad

CRITICIDAD (C)		
NIVEL DE CRITICIDAD	VALOR	RIESGO O PELIGRO
MENOR	0 - 30	ACEPTABLE
MEDIO	31 - 60	TOLERABLE
ALTO	61 - 180	
MUY ALTO	181 - 252	INACEPTABLE
CRITICO	253 - 324	
MUY CRITICO	> 324	

Fuente: (Cordova Vargas et al., 2019)

Para la iniciativa del proyecto de mantenimiento se realiza el procedimiento postulado de acuerdo con la criticidad y de acuerdo con los costos de la RPZ, los valores se toman de la siguiente tabla.

**Tabla 10:** Acciones de mantenimiento

Plan de Mantenimiento		
Elemento	Criticidad (C) RPN	Acciones de mantenimiento
	0 - 30	Acción correctiva
	31 - 60	Mantenimiento preventivo sistemático
	61 - 180	
	181 - 252	Revisión del diseño completo (Rediseño)
	253 - 324	
	> 324	

Fuente: (Cordova Vargas et al., 2019)

### 3.7.5 Determinación de confiabilidad usando los parámetros Weibull

La distribución Weibull es una de las distribuciones efectivas de vida útil más utilizadas en la ingeniería de confiabilidad y mantenimiento de equipos pesados (Illanes Sotomayor & Manuel Quispe Apaza, 2022)

La función densidad de probabilidad de una distribución Weibull el que representamos por tres parámetros es dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad \dots (1)$$

Donde:

$\theta$ : parámetro escala.

$\beta$ : parámetro forma.

$\delta$ : parámetro de localización.

La función densidad de probabilidad de la distribución Weibull el que representamos por dos parámetros es dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad \dots (2)$$

Donde:

$\theta$ : parámetro de escala.

$\beta$ : parámetro de forma.

La función de distribución está dada por.



$$f(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad \dots (3)$$

Donde:

$\theta$ : parámetro de escala.

$\beta$ : parámetro de forma.

La función de fiabilidad viene dada por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad \dots (4)$$

Donde:

$\theta$ : parámetro de escala.

$\beta$ : parámetro de forma.

La función de tasa de fallos correspondiente es expresada por:

$$h(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad \dots (5)$$

$\theta$ : parámetro de escala.

$\beta$ : parámetro de forma.

El parámetro de forma caracteriza la dispersión de los fallos.

- $\beta < 1$ : El riesgo de fallo de los subcomponentes disminuye a medida que aumenta el valor del parámetro de envejecimiento.
- $\beta = 1$ : El riesgo de fallo de los subcomponentes es constante.

- $\beta > 1$ : El riesgo de fallo de los subcomponentes aumenta a medida que aumenta el valor del parámetro de envejecimiento (Illanes Sotomayor & Manuel Quispe Apaza, 2022).

### 3.7.5.1 Trazado de probabilidades.

El método de trazado de probabilidades toma la función de distribución acumulativa (CDF) y trata de linealizarla empleando un papel especialmente construido (Illanes Sotomayor & Manuel Quispe Apaza, 2022).

La distribución Weibull representada por dos parámetros viene dada de la ecuación (3)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad \dots (6)$$

Esta función se puede poner en la forma lineal común de  $y = a + bx$  como:

$$1 - F(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right) \quad \dots (7)$$

Tomando el logaritmo de ambos lados obtenemos:

$$\ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \quad \dots (8)$$

Tomando el logaritmo una vez más, tenemos:

$$\ln\left(-\ln(1 - F(t))\right) = \beta \ln\left(\frac{t}{\theta}\right)$$

O

$$\ln\left(\frac{1}{-\ln(1 - F(t))}\right) = \beta \ln(t) - \beta \ln(\theta) \quad \dots (9)$$

Podemos deducir lo siguiente:

$$y = \ln\left(\frac{1}{\ln(1-F(t))}\right) \quad \dots (10)$$

Y

$$x = \ln(t) \quad \dots (11)$$

De la ecuación (10) y (11) podemos escribir.

$$y = \beta x - \beta \ln(\theta) \quad \dots (12)$$

Que ahora es una ecuación lineal con pendiente  $\beta$  e intercepción  $-\beta \ln \theta$ . Los valores de  $x$  pueden calcularse fácilmente a partir de los datos. Sin embargo, el cálculo de  $y$  requiere la estimación de  $F(t)$  a partir de los datos, que corresponden a la fracción de la población que falla antes de cada valor de la muestra valor de la muestra (Illanes Sotomayor & Manuel Quispe Apaza, 2022).

Se calcula el rango de la mediana, conocida como aproximación de Benard's que viene dada por:

$$\text{Rango de la mediana} = \frac{i-0.3}{i+0.4} \quad \dots (13)$$

Donde  $i$  es el índice del orden ascendente y  $n$  es el tamaño de la muestra.

El parámetro  $\beta$  de la distribución de Weibull se obtiene de la pendiente de la recta ajustada a los puntos trazados. En cuanto a la estimación del parámetro de escala  $\theta$ , se puede obtener de la siguiente manera.

Para  $t = \theta$ . Entonces tenemos:

$$F(\theta) = 1 - e^{-\left(\frac{\theta}{\theta}\right)^\beta} = 1 - e^{-1} = \mathbf{0.632} \quad \dots (14)$$



Por lo tanto, el valor del parámetro  $\theta$  es el valor de  $t$  en el eje  $x$  que corresponde al valor del 63,2% en el eje  $y$ .

Los cálculos aplicando en el procedimiento descrito se realizó en el programa Microsoft Excel, cuyos resultados se registrarán en la siguiente tabla.

**Tabla 11:** Registro de datos de los parámetros de Weibull

<b>Recurrencia (i)</b>	<b>Tiempo de falla (t)</b>	<b>X=Ln(t)</b>	<b>Rango medio</b> <b>F(t) = (1-0.3)/(N+0.4)</b>	<b>Ln(Ln(1/1-F(t)))</b> <b>Y</b>
1				
2				
...				
N				

Elaboración propia.

### 3.8 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 12:** Operacionalización de variables

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
<b>Independiente:</b> <b>Catálogo de fallas</b>	El tiempo transcurrido del equipo en operación.	Este indicador será recogido del reporte por los técnicos y operadores del equipo.	Tiempo (h)	Horas de trabajo
	La tasa de fallos es la frecuencia de fallos en un tiempo determinado	Este indicador será calculado de la base de datos recogida de campo.	Tasa de Fallas (MTBF)	Tiempo medio entre fallas
<b>Dependiente:</b> <b>Mejora del mantenimiento preventivo</b>	La confiabilidad es la posibilidad de que la máquina, sistema realice su función sin presentar falla.	Este indicador será calculado de la base de datos recogida de campo.	Confiabilidad (%)	Porcentaje de probabilidad
	La disponibilidad es la disposición de la maquina según el requerimiento operacional	Este indicador será calculado de la base de datos recogida de campo.	Disponibilidad (%)	Porcentaje de disponibilidad
	Los costos es la contabilidad de acuerdo con el consumo de repuestos de cada equipo	Los costos serán calculados de acuerdo con el sistema SAP PM de la empresa	Costos (\$)	Expresados en dólares americanos
	El costo unitario representa el valor por unidad de un repuesto, componente de la máquina.	El valor del precio unitarios es calculado con el sistema SAP MM	Precio Unitario (\$/h)	Precio unitario de un componente en su modo de fallo.

Elaboración propia



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE EQUIPOS.

Los equipos que intervienen en el proceso de la construcción de túnel según el ciclo de minado son:

- 1) Perforación: El equipo que interviene es el Jumbo DD321 de marca Sandvik
- 2) Voladura: El equipo que interviene en este proceso es
- 3) Ventilación: El equipo que interviene en este proceso es un motor eléctrico
- 4) Desate y limpieza: los equipos que intervienen en este proceso, desate Scamec 2000 y Limpieza Scoop R1600G.
- 5) Carguío y acarreo: los equipos que intervienen en este proceso para acarreo es el Scoop R1600G y para el Acarreo es Volquete Minero de Marca mercedes.
- 6) Sostenimiento: Los equipos que intervienen en este proceso es un equipo de sostenimiento Robolt DS311.



**Figura 33:** Ciclo de minado subterráneo.



Elaboración propia.

De la tabla 3.2 Resultados kpi's 2018 y 2019 los equipos estudiados son:

- Jumbo DD321
- Robolt DS311
- Scoop R1600G

Estos equipos pesados presentaron baja Disponibilidad en los años 2018 y 2019.

#### **4.2 DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS SUBSISTEMAS Y COMPONENTES DE LOS EQUIPOS DEL PROYECTO DE EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA YANACOCCHA 2018 a 2019.**

Se realizó de acuerdo con el método planteado para describir el estado real de operatividad de los equipos y componentes del presente proyecto de exploración subterránea Yanacocha.

**Tabla 13:** Jumbo\_01 DD321 Diagnóstico

EQ	Sistema	Subsistema	Operación
Jumbo_01	Agua\aire	Compresor de aire	Operativo
		Motor eléctrico de compresor	Operativo
		Otros (Agua, aire)	Operativo
		Válvulas neumáticas	Operativo
	Chasis	Otros (Chasis)	Operativo
	Dirección	Acumulador de dirección	Operativo
	Eléctrico de carga	Otros (Sistema eléctrico de carga)	Operativo
	Eléctrico industrial	Cable de potencia 440v	Operativo
		Líneas, cables eléctricos	Operativo
	Eléctrico luces\accesorios	Otros (Luces / accesorios)	Operativo
	Implementos	Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	Operativo
		Motor hidráulico de implementos	Operativo
		Otros (Implementos)	Operativo
	Motor diésel	Motor diésel	Operativo
		Otros (Motor)	Operativo
		Válvula de admisión / escape	Operativo
	Perforación\percusión	Bomba de perforación (Brazo der.)	Operativo
		Bomba de perforación (Brazo izq.)	Operativo
		Bomba de rotación (Brazo der.)	Operativo
		Brazo telescópico der.	Operativo
		Brazo telescópico Izq.	Operativo
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)	Operativo
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga izq.)	Operativo
		Cilindro de avance (Viga der.)	Operativo
		Cilindro de extensión brazo der.	Operativo
		Cilindro de vuelco /inclinación	Operativo
		Eje central	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	Operativo
		Martillo hidráulico	Operativo
		Martillo perforador der.	Operativo
		Otros (Perforación)	Operativo
		Tanque aceite hidráulico	Operativo
Unidad de rotación der.		Operativo	
Válvula control de perforación (Brazo der.)		Operativo	
Válvula control de perforación (Brazo izq.)		Operativo	
Viga der.		Operativo	
Transmisión	Otros (Transmisión)	Operativo	

Fuente: Mantenimiento AESA

**Tabla 14:** Scoop\_01 R1600G Diagnóstico

EQ	Sistema	Subsistema	Operación
Scoop_01	Chasis	Articulación central	Operativo
		Cabina	Operativo
		Otros (Chasis)	Operativo
	Dirección	Bomba de dirección / freno	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)	Operativo
		Otros (Sistema dirección)	Operativo
		Válvulas / palancas de dirección	Operativo
	Eléctrico luces\accesorios	Claxon, alarma de retroceso, luz estroboscópica	Operativo
		Luces delanteras	Operativo
		Luces laterales izq.	Operativo
		Otros (Luces / accesorios)	Operativo
	Implementos	Bucket (Cuchara)	Operativo
		Cilindro de levante der.	Operativo
		Otros (Implementos)	Operativo
		Válvula control de implementos	Operativo
	Llantas	Otros (Llantas)	Operativo
		Pernos / esparragos / tuercas	Operativo
	Motor diésel	Fajas /cadenas	Operativo
		Otros (Motor)	Operativo
		Refrigeración	Operativo
Transmisión	Mangueras, cañerías, conectores (Transmisión)	Operativo	
	Otros (Transmisión)	Operativo	

Fuente: Mantenimiento AESA

**Tabla 15:** Robolt\_01 DS311 Diagnóstico

EQ.	Sistema	Subsistema	Operación
Robolt_01	Agua\aire	Compresor de aire	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores (Agua y aire)	Operativo
	Eléctrico de carga	Otros (Sistema eléctrico de carga)	Operativo
	Eléctrico industrial	Colector	Operativo
		Dispositivos de control y protección	Operativo
		Otros (Eléctrico industrial)	Operativo
	Frenos	Otros (Frenos)	Operativo
		Paquete de frenos delantero der.	Operativo
	Implementos	Bomba de implementos	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	Operativo
		Otros (Implementos)	Operativo
		Válvula control de posicionamiento (Brazo der.)	Operativo
	Motor diésel	Bomba de combustible	Operativo
		Motor diésel	Operativo
		Otros (Motor)	Operativo
		Pedal de aceleración	Operativo
	Perforación\percusión	Bomba de perforación (Brazo der.)	Operativo
		Bomba de rotación (Brazo izq.)	Operativo
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)	Operativo
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga izq.)	Operativo
		Carrusel de pernos	Operativo
		Cilindro de avance (Viga der.)	Operativo
		Craddle (Viga der.)	Operativo
		Eje central	Operativo
		Eje lateral	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	Operativo
		Martillo hidráulico	Operativo
		Martillo perforador bulonaje	Operativo
		Martillo perforador der.	Operativo
		Otros (Perforación)	Operativo
		Pines y bocinas	Operativo
		Polea de líneas hidráulicas (Viga der.)	Operativo
		Tanque aceite hidráulico	Operativo
Unidad de rotación der.		Operativo	
Válvula control de empernado		Operativo	
Viga der.		Operativo	
Viga izq.	Operativo		
Transmisión	Mangueras, cañerías, conectores (Transmisión)	Operativo	
	Otros (Transmisión)	Operativo	

Fuente: Mantenimiento AESA

### 4.3 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS DE UNA FALLA Y CRITICIDAD (AMEF) DEL SUBSISTEMA DE EQUIPOS PESADOS.

De acuerdo con el procedimiento planteado y teniendo en consideración los subsistemas y elementos identificados de los equipos mencionados, se detalla el AMEF por equipo siendo los siguientes:

**Tabla 16:** Jumbo DD321 análisis AMEF Perforación\percusión

SISTEMA:		Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha		AMEF		
SUB-SISTEMA:		Agua\aire				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)
1	Sistema que permite la perforación de roca por rotación, percusión y avance de una perforadora.	A	Bomba de agua	1	Baja presión	Sistema de trabajo deficiente
		B	Válvulas neumáticas	1	Con presencia de fuga	Sistema de trabajo deficiente
		C	Compresor de aire	1	Baja presión	lubricación deficiente
		D	Mangueras, cañerías, conectores (Agua y aire)	1	Rotas por desgaste	Falla funcional
		E	Motor eléctrico de compresor	1	Baja aislamiento	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 17:** Jumbo DD321 análisis AMEF Chasis / dirección

<b>SISTEMA:</b>		<b>Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUB-SISTEMA:</b>		<b>Chasis / dirección</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
2	Sistema que permite el soporte del equipo y dirección en curvaturas	A	Otros (Chasis)	1	Presencia de	Falla funcional
		2	estructura		rajadura	
		B	Acumulador de	1	Baja presión	Sistema de trabajo deficiente
		2	dirección	2	válvulas defectuosas	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 18:** Jumbo DD321 análisis AMEF Eléctrico de carga

<b>SISTEMA:</b>		<b>Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Eléctrico de carga</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
3	Sistema que permite activar los motores eléctricos 440v	A3	Otros (Sistema eléctrico de carga)	1	Bajo aislamiento	Falla funcional
		B3	Colector	1	Recalentamiento	Sistema de trabajo deficiente
		C3	Cable de potencia 440v	1	Bajo aislamiento	Falla funcional
		D3	Líneas, cables eléctricos	1	Fase descompensada	Falla funcional
		E3	Bobinas	1	Baja aislamiento	Sistema de trabajo deficiente
		F3	Otros (Eléctrico industrial)	1	Voltaje nominal bajo	Falla funcional

Elaboración propia



**Tabla 19:** Jumbo DD321 análisis AMEF eléctrico luces\accesorios

<b>SISTEMA:</b>		<b>Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Eléctrico luces\accesorios</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>	
4	Sistema que permite iluminación.	A4	Otros (Luces / accesorios)	1	Faro quemado	Falla funcional
				2	Faro rajado	Sistema de trabajo deficiente
		B4	Luces delanteras	1	Recalentamiento	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 20:** Jumbo DD321 análisis AMEF Frenos

<b>SISTEMA:</b>		<b>Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Frenos</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>	
5	Sistema que permite la detención en la rotación de los neumáticos.	A5	Mangueras, cañerías, conectores (Freno)	1	cañerías rotas	Falla funcional
				2	Conectores con fuga	Sistema de trabajo deficiente
				3	Discos de freno deficientes	Sistema de trabajo deficiente
				4	válvulas deficientes	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 21:** Jumbo DD321 análisis AMEF Implementos

SISTEMA:		Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha			AMEF	
SUBSISTEMA:		Implementos				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)			MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)
6	Sistema que permite la operación del sistema hidráulico en la operación del sistema de perforación y movimientos de brazo.	A6	Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	1	cañerías rotas	Falla funcional
		B6	Otros (Implementos)	1	Conectores con fuga	Sistema de trabajo deficiente
		C6	Válvula control de implementos	1	válvulas deficientes	Sistema de trabajo deficiente
		D6	Motor hidráulico de implementos	1	Baja presión	Sistema de trabajo deficiente
		E6	Gata posicionamiento 02	1	Presencia de fuga	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 22:** Jumbo DD321 análisis AMEF Motor diésel

SISTEMA:		Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha			AMEF	
SUBSISTEMA:		Motor diésel				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)			MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)
7	Sistema que permite el funcionamiento o principal de movimiento del equipo.	A7	Otros (Motor) Filtros admisión	1	Filtro saturado	Sistema de trabajo deficiente
		B7	Motor diésel	1	Perdida de fuerza	Sistema de trabajo deficiente
				2	Baja compresión	Falla funcional
				3	Arranque deficiente	Sistema de trabajo deficiente
				4	válvula Shutop deficiente	Sistema de trabajo deficiente
				5	Turbo con sonido	Sistema de trabajo deficiente
		C7	Válvula de admisión / escape	1	válvulas deficientes	Sistema de trabajo deficiente
				2	Catalizador saturado	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia



**Tabla 23:** Jumbo DD321 análisis AMEF Perforación\percusión

SIST.	Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha		AMEF			
	SUB SIST.	Perforación\percusión				
FUNCIÓN N	FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
8	Sistema que permite la perforación de roca mediante rotación, percusión y avance	A8	Eje central	1	Presenta desgaste	Sistema de trabajo deficiente
		B8	Pines y bocinas	1	Presenta desgaste	Sistema de trabajo deficiente
		C8	Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)	1	Rotura de hebras	Falla funcional
		D8	Bomba de perforación (Brazo izq.)	1	Baja presión	Sistema de trabajo deficiente
		E8	Cilindro de avance (Viga der.)	1	Perdida empuje	Sistema de trabajo deficiente
		F8	Cilindro de extensión brazo der.	1	Perdida empuje	Sistema de trabajo deficiente
		G8	Brazo telescópico der.	1	Juego axial	Sistema de trabajo deficiente
		H8	Martillo hidráulico	1	Perdida de potencia	Sistema de trabajo deficiente
		I8	Válvula control de perforación (Brazo der.)	1	inestabilidad al activarse	Falla funcional
		J8	Cadena o cable de avance/retorno (Viga izq.)	1	Rotura de hebras	Falla funcional
		K8	Otros (Perforación) rotación	1	Baja rotación	Falla funcional
		L8	Polea de líneas hidráulicas (Viga der.)	1	Juego axial	Sistema de trabajo deficiente
		M8	Polea de líneas hidráulicas (Viga izq.)	1	Juego axial	Sistema de trabajo deficiente
		N8	Tanque aceite hidráulico	1	Rajadura	Falla funcional
		Ñ8	Brazo telescópico Izq.	1	Juego axial	Sistema de trabajo deficiente
		O8	Viga der.	1	Presenta desgaste	Sistema de trabajo deficiente
		P8	Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	1	Rotura de mangueras	Sistema de trabajo deficiente
		Q8	Bomba de rotación (Brazo der.)	1	Baja presión	Sistema de trabajo deficiente
		R8	Bomba de perforación (Brazo der.)	1	Baja presión	Sistema de trabajo deficiente
		S8	Unidad de rotación der.	1	Deficiencia en giro	Sistema de trabajo deficiente
T8	Válvula control de perforación (Brazo izq.)	1	inestabilidad al activarse	Falla funcional		
W8	Unidad de rotación izq.	1	Deficiencia en giro	Sistema de trabajo deficiente		
X8	Viga izq.	1	Presenta desgaste	Sistema de trabajo deficiente		
Y8	Martillo perforador der.	1	Perdida de potencia	Sistema de trabajo deficiente		

Elaboración propia

**Tabla 24:** Jumbo DD321 análisis AMEF Transmisión

<b>SISTEMA:</b>		<b>Jumbo DD321 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA :</b>		<b>Transmisión</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>	
9	Permite el traslado del equipo soporte de este	A9	Otros (Transmisión) Pedal aceleración	1	Deficiente aceleración	Sistema de trabajo deficiente
				1	Falla potenciómetro	Falla funcional

Elaboración propia

**Tabla 25:** Robolt DS311 análisis AMEF Agua\aire

<b>SISTEMA:</b>		<b>Robolt DS311 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUB-SISTEMA:</b>		<b>Agua\aire</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>	
1	Este sistema permite la lubricación y barrido del sistema de perforación	A1	Compresor de aire	1	Baja presión	lubricación deficiente
		B1	Otros (Agua, aire)	1	Saturamiento de strainer	Sistema de trabajo deficiente
		C1	Mangueras, cañerías, conectores (Agua y aire)	1	Rotura y fugas de aceite	Falla funcional

Elaboración propia

**Tabla 26:** Robolt DS311 análisis AMEF Eléctrico de carga

<b>SISTEMA:</b>		<b>Robolt DS311 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Eléctrico de carga</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
2	Sistema que permite activar los motores eléctricos 440v	A1	Otros (Sistema eléctrico de carga)	1	Bajo aislamiento	Falla funcional
		B1	Dispositivos de control y protección	1	Recalentamiento	Falla funcional
		C1	Electroválvulas	1	falla de bobina	Falla funcional
		D1	Cable de potencia 440v	1	Recalentamiento	Falla funcional
		E1	Otros (Eléctrico industrial)	1	Bajo aislamiento	Falla funcional
		F1	Colector	1	Recalentamiento	Falla funcional
		G1	Líneas, cables eléctricos	1	Bajo aislamiento	Falla funcional

Elaboración propia

**Tabla 27:** Robolt DS311 análisis AMEF Eléctrico industrial

<b>SISTEMA:</b>		<b>Robolt DS311 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUB-SISTEMA:</b>		<b>Eléctrico industrial</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
3	Sistema que permite iluminación.	A3	Otros (Luces / accesorios)	1	Faro quemado	Falla funcional
				2	Faro rajado	Falla funcional
				3	Recalentamiento	Falla funcional

Elaboración propia

**Tabla 28:** Robolt DS311 análisis AMEF eléctrico luces\accesorios

<b>SISTEMA:</b>		<b>Robolt DS311 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Eléctrico luces\accesorios</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
3	Sistema que permite iluminación.	A3	Otros (Luces / accesorios)	1	Faro quemado	Falla funcional
				2	Faro rajado	Falla funcional
				3	Recalentamiento	Falla funcional

Elaboración propia

**Tabla 29:** Robolt DS311 análisis AMEF Frenos

<b>SISTEMA:</b>		<b>Robolt DS311 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Frenos</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
4	Sistema que permite la detención en la rotación de los neumáticos.	A4	Acumuladores de freno	1	Baja presión	Falla funcional
		B4	Pedal / válvula de freno	2	válvulas deficientes	Falla funcional
		C4	Otros (Frenos)	3	cañería rota	Falla funcional
		D4	Paquete de frenos delantero der.	4	Discos de freno deficientes	Falla funcional

Elaboración propia

**Tabla 30:** Robolt DS311 análisis AMEF Implementos

<b>SISTEMA:</b>		<b>Jumbo DS311 del proyecto exploración Yanacocha</b>			<b>AMEF</b>	
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Implementos</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>			<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
5	Sistema que permite la operación del sistema hidráulico en la operación del sistema de perforación y movimientos de brazo.	A5	Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	1	cañerías rotas	Falla funcional
		B5	Válvula control de posicionamiento (Brazo der.)	1	válvulas deficientes	Sistema de trabajo deficiente
		C5	Boom	1	Conectores con fuga	Sistema de trabajo deficiente
		D5	Otros (Implementos)	1	Baja presión	Falla funcional
		E5	Bomba de implementos	1	Conectores con fuga	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 31:** Robolt DS311 análisis AMEF Motor diésel

<b>SISTEMA:</b>		<b>Robolt DS311 del proyecto exploración Yanacocha</b>			<b>AMEF</b>	
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Motor diésel</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>			<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
6	Sistema que permite el funcionamiento principal de movimiento del equipo.	A6	Otros (Motor) Filtros admisión	1	Filtro saturado	Sistema de trabajo deficiente
		B6	Motor diésel	1	Perdida de fuerza	Sistema de trabajo deficiente
				2	Baja compresión	Falla funcional
				3	Arranque deficiente	Sistema de trabajo deficiente
				4	válvula Shutop deficiente	Sistema de trabajo deficiente
				5	Turbo con sonido	Sistema de trabajo deficiente
		C6	Sensores motores	1	Falla sensor	Falla funcional
		D6	Bomba de combustible	1	presión deficiente	Falla funcional
E6	Pedal de aceleración	1	Falla potenciómetro	Falla funcional		

Elaboración propia

**Tabla 32:** Robolt DS311 análisis AMEF Perforación\percusión

SIST.	Robot DD321 del proyecto exploración Yanacocha		AMEF			
SUB SIST.	Perforación\percusión					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)		MODO DE FALLA		EFEECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)	
7	Sistema que permite la perforación de roca mediante rotación, percusión y avance	A7	Viga izq.	1	Presenta desgaste	Sistema de trabajo deficiente
		B7	Eje lateral	1	Presenta desgaste	Sistema de trabajo deficiente
		C7	Eje central	1	Presenta desgaste	Sistema de trabajo deficiente
		D7	Cadena o cable de avance/retorno (Viga izq.)	1	Rotura de hebras	Falla funcional
		E7	Tanque aceite hidráulico	1	Rajadura	Falla funcional
		F7	Bomba de rotación (Brazo izq.)	1	Baja rotación	Sistema de trabajo deficiente
		G7	Cilindro de avance (Viga der.)	1	Perdida empuje	Sistema de trabajo deficiente
		H7	Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	1	Rotura y fuga de aceites	Sistema de trabajo deficiente
		I7	Unidad de rotación der.	1	Deficiencia en giro	Sistema de trabajo deficiente
		J7	Otros (Perforación)	1	inestabilidad al activarse	Falla funcional
		K7	Polea de líneas hidráulicas (Viga der.)	1	Juego axial	Sistema de trabajo deficiente
		L7	Martillo hidráulico	1	Perdida de potencia	Sistema de trabajo deficiente
		M7	Válvula control de empernado	1	inestabilidad al activarse	Falla funcional
		N7	Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)	1	Rotura de hebras	Falla funcional
		Ñ7	Viga der.	1	Rajadura	Falla funcional
		O7	Martillo perforador der.	1	Perdida de potencia	Sistema de trabajo deficiente
		P7	Carrusel de pernos	1	Rotura	Falla funcional
		Q7	Pines y bocinas	1	Desgaste	Sistema de trabajo deficiente
		R7	Martillo perforador bulonaje	1	Perdida de potencia	Sistema de trabajo deficiente
S7	Bomba de rotación (Brazo der.)	1	Baja presión	Sistema de trabajo deficiente		
T7	Válvula control de perforación (Brazo izq.)	1	inestabilidad al activarse	Falla funcional		

Elaboración propia

**Tabla 33:** Robolt DS311 análisis AMEF Transmisión/Dirección

<b>SISTEMA:</b>		<b>Robolt DS311 del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Transmisión/Dirección</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
8	Permite el traslado del equipo y dirección en curvaturas	A8	Transmisión	1	Deficiente aceleración	Sistema de trabajo deficiente
		B8	Mangueras, cañerías, conectores (Transmisión)	1	Rotura cañerías y conectores	Falla funcional
		C8	Sensores transmisión	1	Falla sensor	Falla funcional
		D8	Otros (Transmisión) Bombas	1	Perdida de presión	Sistema de trabajo deficiente
		E8	Otros (Sistema dirección) Cilindros	1	Presencia de fuga aceite	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 34:** Scoop R1600G análisis AMEF chasis

<b>SISTEMA:</b>		<b>Scoop R1600G del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Chasis</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
1	Permite que el operador pueda maniobrar el equipo de manera optima	A1	Cabina	1	Rajadura	Sistema de trabajo deficiente
				2	Juego axial	Sistema de trabajo deficiente
				3	puerta trabada	Sistema de trabajo deficiente
				4	Asiento defectuoso	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 35:** Scoop R1600G análisis AMEF dirección

<b>SISTEMA:</b>		<b>Scoop R1600G del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Dirección</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
2	Permite el traslado del equipo y dirección en curvaturas	A2	Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)	1	Rotura de conector y cañerías	Falla funcional
		B2	Pines, bocinas, rotulas	1	Presencia de desgaste	Sistema de trabajo deficiente
		C2	Timón	1	Juego axial	Falla funcional
		D2	Válvulas / palancas de dirección	1	válvula deficiente	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 36:** Scoop R1600G análisis AMEF Eléctrico de carga

<b>SISTEMA:</b>		<b>Scoop R1600G del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUB-SISTEMA:</b>		<b>Eléctrico de carga</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
3	Permite el ingreso de energía al sistema para su funcionamiento	A3	baterías	1	Perdida de carga	Sistema de trabajo deficiente
		B3	Cables / puentes	1	Perdida aislamiento	Sistema de trabajo deficiente
		C3	Faja alternador	1	Rotura	Falla funcional
					Sonido alto	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia



**Tabla 37:** Scoop R1600G análisis AMEF eléctrico luces\accesorios

<b>SISTEMA:</b>		<b>Scoop R1600G del proyecto exploración Yanacocha</b>			<b>AMEF</b>	
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Eléctrico luces\accesorios</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>			<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
4	Sistema que permite iluminación.	A4	Otros (Luces / accesorios)	1	Falso contacto	Sistema de trabajo deficiente
		B4	Luces delanteras	1	luna rajada	Sistema de trabajo deficiente
		C4	Claxon, alarma de retroceso, luz estroboscópica	1	Falla	Falla funcional
		D4	Luces laterales der.	1	falla bombillas	Sistema de trabajo deficiente
		E4	Luces posteriores		falla bombillas	Sistema de trabajo deficiente

Elaboración propia

**Tabla 38:** Scoop R1600G análisis AMEF Implementos

<b>SISTEMA:</b>		<b>Scoop R1600G del proyecto exploración Yanacocha</b>			<b>AMEF</b>	
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Implementos</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>			<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
5	Sistema que permite la operación del sistema hidráulico en la operación del sistema de perforación y movimientos de brazo.	A5	Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	1	Rotura conectores	Sistema de trabajo deficiente
		B5	Cilindro de levante izq.	1	Cilindro deficiente	Sistema de trabajo deficiente
		C5	Bucket (Cuchara)	1	desgaste labios	Falla funcional
		D5	Cilindro de vuelco/inclinación	1	Cilindro deficiente	Sistema de trabajo deficiente
		E5	Otros (Implementos) válvulas		válvulas deficientes	Sistema de trabajo deficiente
		F5	Cilindro de levante der.		Cilindro deficiente	Falla funcional

Elaboración propia

**Tabla Scoop R1600G análisis AMEF Llantas**

<b>SISTEMA:</b>		<b>Scoop R1600G del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUB-SISTEMA:</b>		<b>Llantas</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
6	Sistema que permite el desplazamiento del equipo	A6	Llanta delantera izq.	1	Desgaste rodado banda	Falla funcional
				2	Cortes profundos	Falla funcional
		B6	Llanta posterior der.	1	Desgaste rodado banda	Falla funcional
				2	Cortes profundos	Falla funcional
		C6	Pernos / espárragos / tuercas	1	Rotura	Falla funcional

Elaboración propia

**Tabla 39:** Scoop R1600G análisis AMEF Motor diésel

<b>SISTEMA:</b>		<b>Scoop R1600G del proyecto exploración Yanacocha</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUBSISTEMA:</b>		<b>Motor diésel</b>				
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
7	Sistema que permite el funcionamiento o principal de movimiento del equipo.	A7	Tapa de balancines	1	Resumen aceite	Sistema de trabajo deficiente
		B7	Radiador Intercooler /	2	Rajadura	Falla funcional
		C7	Otros (Motor)	1	Filtro saturado	Falla funcional

Elaboración propia

**Tabla 40:** Scoop R1600G análisis AMEF Transmisión / Freno

SISTEMA:		Scoop R1600G del proyecto exploración Yanacocha		AMEF		
		Transmisión / Freno				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)
8	Sistema que permite el soporte del equipo y frenado en su desplazamiento	A8	Otros (Transmisión) válvulas	1	válvulas deficientes	Sistema de trabajo deficiente
		B8	Sensores transmisión	1	Falla sensor	Falla funcional
		C8	Tarjeta electrónica de transmisión	1	Falla tarjeta	Falla funcional
		D8	Otros (Frenos) Acumulador	1	Baja presión	Falla funcional

Elaboración propia

#### 4.4 COMPONENTES CRÍTICOS DE LOS EQUIPOS JUMBO DD321, ROBOLT DS311 Y SCOOP R1600G DEL PROYECTO EXPLORACIÓN YANACOCHA.

Utilizando la metodología planteada realizamos el análisis de criticidad en los diferentes componentes de los equipos Jumbo DD321, Robolt DS311 y Scoop R1600G. Para el cual se realizará el análisis de modos y efectos de fallas para poder determinar el nivel de riesgo y su criticidad de los diferentes elementos analizados en la presente investigación.

##### 4.4.1 Análisis de criticidad.

Con el registro de las fallas en los equipos pesados mencionados se realiza el análisis de criticidad para los diferentes sistemas de operación en los equipos pesados.

Para el caso del sistema en el periodo de estudio se tiene el registro de los siguientes eventos que se muestran en la tabla a continuación:

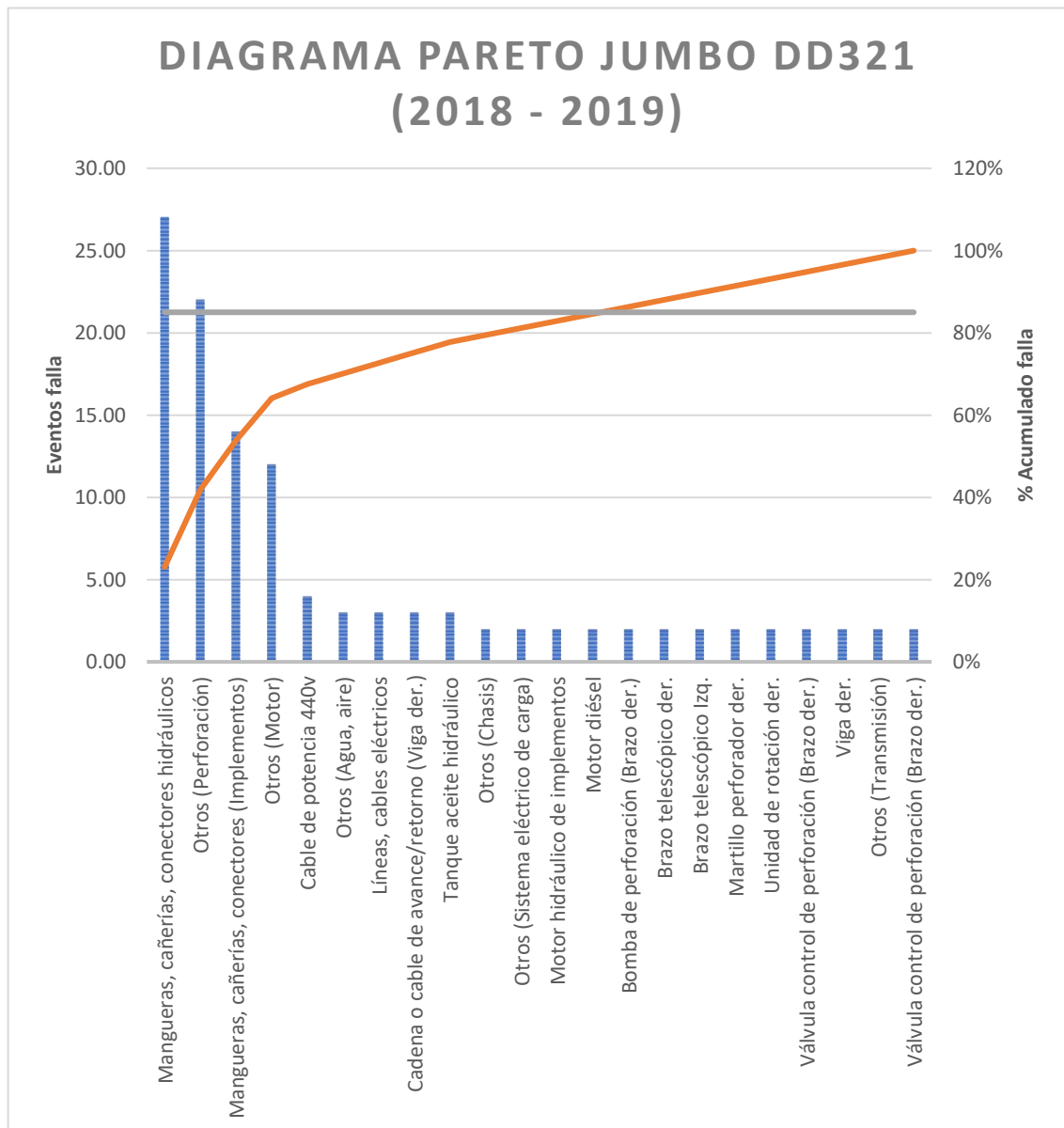


**Tabla 41:** Registro de eventos de Jumbo DD321

<b>Componentes sistema</b>	<b>Ocurrencia falla</b>	<b>Acumulado</b>	<b>% Acumulado</b>
Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	27.00	27.00	23%
Otros (Perforación)	22.00	49.00	42%
Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	14.00	63.00	54%
Otros (Motor)	12.00	75.00	64%
Cable de potencia 440v	4.00	79.00	68%
Otros (Agua, aire)	3.00	82.00	70%
Líneas, cables eléctricos	3.00	85.00	73%
Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)	3.00	88.00	75%
Tanque aceite hidráulico	3.00	91.00	78%
Otros (Chasis)	2.00	93.00	79%
Otros (Sistema eléctrico de carga)	2.00	95.00	81%
Motor hidráulico de implementos	2.00	97.00	83%
Motor diésel	2.00	99.00	85%
Bomba de perforación (Brazo der.)	2.00	101.00	86%
Brazo telescópico der.	2.00	103.00	88%
Brazo telescópico Izq.	2.00	105.00	90%
Martillo perforador der.	2.00	107.00	91%
Unidad de rotación der.	2.00	109.00	93%
Válvula control de perforación (Brazo der.)	2.00	111.00	95%
Viga der.	2.00	113.00	97%
Otros (Transmisión)	2.00	115.00	98%
Válvula control de perforación (Brazo der.)	2.00	117.00	100%

Elaboración propia

**Figura 34:** Diagrama de Pareto Jumbo DD321



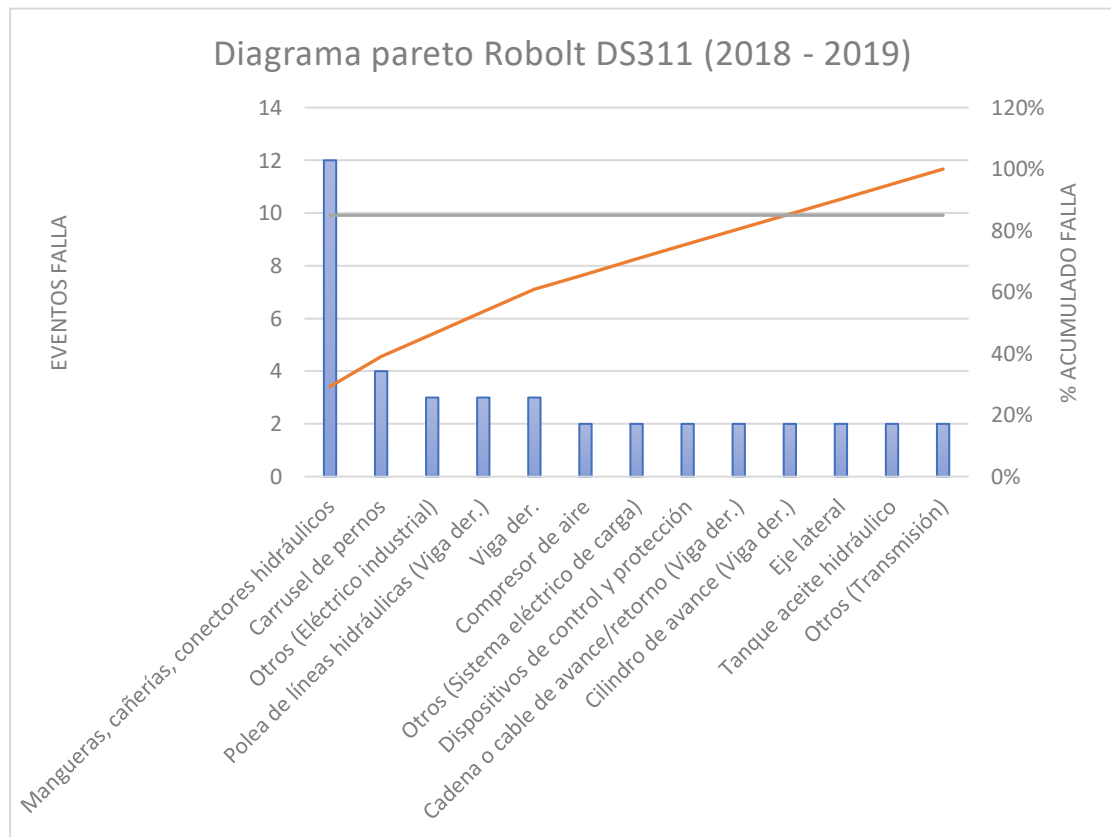
Elaboración propia.

**Tabla 42:** Registro de eventos de Robotl DS311

Componentes sistema	Ocurrencia falla	Acumulado	% Acumulado
Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	12	12.00	<b>29%</b>
Carrusel de pernos	4	16.00	<b>39%</b>
Otros (Eléctrico industrial)	3	19.00	<b>46%</b>
Polea de líneas hidráulicas (Viga der.)	3	22.00	<b>54%</b>
Viga der.	3	25.00	<b>61%</b>
Compresor de aire	2	27.00	<b>66%</b>
Otros (Sistema eléctrico de carga)	2	29.00	<b>71%</b>
Dispositivos de control y protección	2	31.00	<b>76%</b>
Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)	2	33.00	<b>80%</b>
Cilindro de avance (Viga der.)	2	35.00	<b>85%</b>
Eje lateral	2	37.00	<b>90%</b>
Tanque aceite hidráulico	2	39.00	<b>95%</b>
Otros (Transmisión)	2	41.00	<b>100%</b>

Elaboración propia.

**Figura 35:** Diagrama de Pareto Robotl DS311



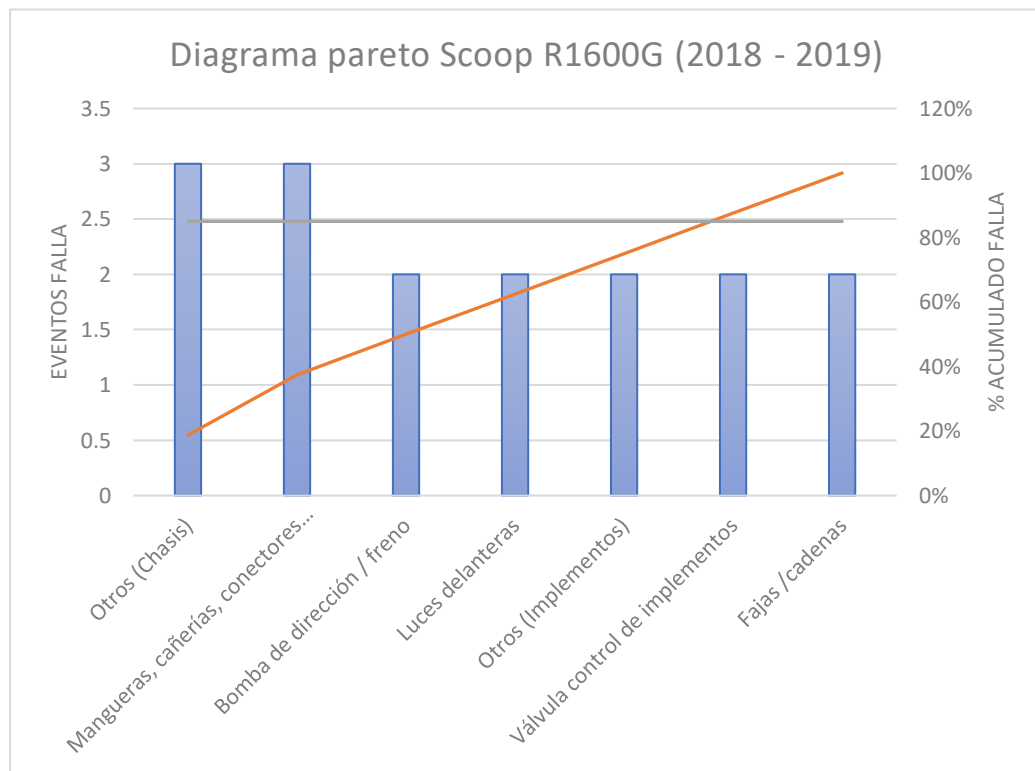
Elaboración propia

**Tabla 43:** Registro de eventos de Scoop R1600G

Componentes sistema	Ocurrencia falla	Acumulado	% Acumulado
Otros (Chasis)	3	3.00	<b>19%</b>
Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)	3	6.00	<b>38%</b>
Bomba de dirección / freno	2	8.00	<b>50%</b>
Luces delanteras	2	10.00	<b>63%</b>
Otros (Implementos)	2	12.00	<b>75%</b>
Válvula control de implementos	2	14.00	<b>88%</b>
Fajas /cadenas	2	16.00	<b>100%</b>

Elaboración propia.

**Figura 36:** Diagrama de Pareto Scoop R1600G



Elaboración propia

La criticidad usando AMEF definida por el RPN está dada por la siguiente ecuación:

$$RPN = S * O * D \quad \dots (4.1)$$

Del análisis de los eventos registrados en Sistema de componentes de los equipos mencionados se procede a realizar el análisis de criticidad de acuerdo con el método propuesto y la valoración de las tablas.

**Tabla 44:** Clasificación Gravedad (S)

Gravedad (S)		
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
> 8 h	muy catastrófica	8
7 h	Catastrófico	7
6 h	Muy serio	6
5 h	Grave	5
4 h	Medio	4
3 h	Significativo	3
2 h	Menor	2
1 h	muy menor	1
30 minutos	Pequeña	0.6
< 30 minutos	Muy pequeña	0.2

Fuente: Fuente: (Cordova Vargas et al., 2019)

**Tabla 45:** Clasificación Ocurrencia (O)

Ocurrencia (O)		
Posible tasa de ocurrencia	Criterio de Ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de la falla, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo falla	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Promedio, fallas ocasionales	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, falla frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto	10

Fuente: Fuente: (Cordova Vargas et al., 2019)



**Tabla 46:** Clasificación Detección (D)

<b>Detección (D)</b>		
Nivel de detección	Criterio de detección	Valor
No detectable	Imposible	10
Difíciles de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
detectar al azar (Improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Posible detección	Bajo	5
	tarde	4
Detección confiable	Fácil	3
	inmediato	2
Detección permanente	Acción correctiva inmediata	1

Fuente: Fuente: (Cordova Vargas et al., 2019)

**Tabla 47:** Clasificación Criticidad

<b>CRITICIDAD (C)</b>		
<b>NIVEL DE CRITICIDAD</b>	<b>VALOR</b>	<b>RIESGO O PELIGRO</b>
MENOR	0 - 30	ACEPTABLE
MEDIO	31 - 60	TOLERABLE
ALTO	61 - 180	
MUY ALTO	181 - 252	INACEPTABLE
CRITICO	253 - 324	
MUY CRITICO	> 324	

Fuente: Fuente: (Cordova Vargas et al., 2019)

Utilizando la ecuación 4.1 y aplicando la valoración correspondiente tendríamos los resultados obtenidos para los subcomponentes de los equipos Jumbo DD321, Robot DS311 y Scoop R1600G.

**Tabla 48:** Análisis de criticidad del subcomponente Jumbo DD321

Equipo / Sistemas / subsistemas		RPN = S × O × D	Criticidad	Acción de mantenimiento		
Análisis de Criticidad subsistema componentes JUMBO DD321	Agua\aire	Compresor de aire	42	MEDIO	Mantenimiento preventivo sistemático	
		Motor eléctrico de compresor	35	MEDIO		
		Otros (Agua, aire)	27	MENOR	Acción correctiva	
		Válvulas neumáticas	28	MENOR		
	Ch	Otros (Chasis)	14	MENOR		
	Dir	Acumulador de dirección	70	ALTO	Mantenimiento preventivo sistemático	
		Otros (Sistema eléctrico de carga)	49	MEDIO		
		Cable de potencia 440v	168	ALTO		
		Líneas, cables eléctricos	80	ALTO		
	Carga /	Otros (Luces / accesorios)	35	MEDIO		
		Implementos	Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	216	MUY ALTO	Revisión del diseño completo (Rediseño)
			Motor hidráulico de implementos	160	ALTO	Mantenimiento preventivo sistemático
		Otros (Implementos)	35	MEDIO		
	Motor	Motor diésel	49	MEDIO		
		Otros (Motor)	40	MEDIO		
		Válvula de admisión / escape	42	MEDIO		
	Perforación \ percusión	Bomba de perforación (Brazo der.)	24	MENOR	Acción correctiva	
		Bomba de perforación (Brazo izq.)	84	ALTO	Mantenimiento preventivo sistemático	
		Bomba de rotación (Brazo der.)	70	ALTO		
		Brazo telescópico der.	70	ALTO		
		Brazo telescópico Izq.	80	ALTO		
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)	96	ALTO		
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga izq.)	96	ALTO		
		Cilindro de avance (Viga der.)	84	ALTO		
		Cilindro de extensión brazo der.	84	ALTO		
		Cilindro de vuelco /inclinación	144	ALTO		
		Eje central	168	ALTO		
Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos		240	MUY ALTO	(Rediseño)		
Martillo		Martillo hidráulico	63	ALTO	Mantenimiento preventivo sistemático	
		Martillo perforador der.	63	ALTO		
		Otros (Perforación)	48	MEDIO		
		Tanque aceite hidráulico	24	MENOR	Acción correctiva	
Viga	Viga der.	144	ALTO			
	Trans	Otros (Transmisión) Pedal aceleración	48	MEDIO		

(Continuación.....)

Análisis de Criticidad subsistema componentes JUMBO DD321	Perforación / percusión	Unidad de rotación der.	40	MEDIO	Mantenimiento preventivo sistemático
		Válvula control de perforación (Brazo der.)	80	ALTO	
		Válvula control de perforación (Brazo izq.)	42	MEDIO	
		Viga der.	144	ALTO	
	Trans	Otros (Transmisión) Pedal aceleración	48	MEDIO	

Elaboración propia

**Tabla 49:** Análisis de criticidad del subcomponente Robot DS311

Equipo / Sistemas / subsistemas		RPN = S × O × D	Criticidad	Acción de mantenimiento	
análisis de Criticidad subsistema componentes ROBOT DS311	Agua\aire	Compresor de aire	63	ALTO	Mantto preventivo sistemático
		Mangueras, cañerías, conectores (Agua y aire)	88	ALTO	
	Eléctrico de carga	Otros (Sistema eléctrico de carga)	26	MENOR	Acción correctiva
		Colector	58	MEDIO	Mantenimiento preventivo sistemático
		Dispositivos de control y protección	110	ALTO	
		Otros (Eléctrico industrial)	40	MEDIO	
	Frenos	Otros (Frenos)	27	MENOR	Acción correctiva
		Paquete de frenos delantero der.	36	MEDIO	Mantenimiento preventivo sistemático
	Implementos	Bomba de implementos	58	MEDIO	
		Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	125	ALTO	
		Otros (Implementos)	88	ALTO	
		Válvula control de posicionamiento (Brazo der.)	88	ALTO	
	Motor diésel	Bomba de combustible	24	MENOR	Acción correctiva
		Motor diésel	60	MEDIO	Mantto preventivo sistemático
		Otros (Motor)	46	MEDIO	
		Pedal de aceleración	18	MENOR	Acción correctiva
Perforación	Bomba de perforación (Brazo der.)	18	MENOR	Acción correctiva	

(Continuación.....)

<b>Análisis de Criticidad subsistema componentes ROBOLT DS311</b>	<b>Perforación</b>	<b>Bomba de rotación (Brazo izq.)</b>	<b>146</b>	<b>ALTO</b>	<b>Mantenimiento preventivo sistemático</b>
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)	69	ALTO	
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga izq.)	109	ALTO	
		Carrusel de pernos	64	ALTO	
		Cilindro de avance (Viga der.)	137	ALTO	
		Craddle (Viga der.)	15	MENOR	Acción correctiva
		Eje central	213	MUY ALTO	(Rediseño)
		Eje lateral	165	ALTO	Mantenimiento preventivo sistemático
		Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	65	ALTO	
		Martillo hidráulico	186	MUY ALTO	(Rediseño)
		Martillo perforador bulonaje	156	ALTO	Mantenimiento preventivo sistemático
		Martillo perforador der.	176	ALTO	
		Otros (Perforación)	94	ALTO	
		Pines y bocinas	50	MEDIO	
		Polea de líneas hidráulicas (Viga der.)	58	MEDIO	
		Tanque aceite hidráulico	125	ALTO	
		Unidad de rotación der.	36	MEDIO	
	Válvula control de empernado	91	ALTO		
	Viga der.	82	ALTO		
	Viga izq.	126	ALTO		
<b>Trans.</b>	Mangueras, cañerías, conectores (Transmisión)	168	ALTO	Acción correctiva	
	Otros (Transmisión)	26	MENOR		

Elaboración propia

**Tabla 50:** Análisis de criticidad del subcomponente Scoop R1600G

Equipo / Sistemas / subsistemas		RPN = S × O × D	Criticidad	Acción de mantenimiento	
Análisis de Criticidad subsistema componentes SCOOP R1600G	Chasis	Articulación central	128	ALTO	Mantto preventivo sistemático
		Cabina	21	MENOR	Acción correctiva
		Otros (Chasis)	144	ALTO	Mantto preventivo sistemático
	Dirección	Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)	224	MUY ALTO	Revisión del diseño completo (Rediseño)
		Otros (Sistema dirección)	168	ALTO	Mantto preventivo sistemático
		Válvulas / palancas de dirección	168	ALTO	
		Bomba de dirección / freno	168	ALTO	
	Eléctrico	Claxon, alarma de retroceso, luz estroboscópica	21	MENOR	Acción correctiva
		Luces delanteras	72	ALTO	Mantto preventivo sistemático
		Luces laterales izq.	72	ALTO	
		Otros (Luces / accesorios)	112	ALTO	
	Implementos	Bucket (Cuchara)	192	MUY ALTO	Revisión del diseño completo (Rediseño)
		Cilindro de levante der.	175	ALTO	Mantto preventivo sistemático
		Otros (Implementos)	168	ALTO	
		Válvula control de implementos	168	ALTO	
	Llantas	Otros (Llantas)	112	ALTO	Acción correctiva
		Pernos / esparragos / tuercas	14	MENOR	
	Motor diésel	Fajas /cadenas	112	ALTO	Mantto preventivo sistemático
		Otros (Motor)	224	MUY ALTO	(Rediseño)
		Refrigeración	168	ALTO	Mantto preventivo sistemático
Transmisión	Mangueras, cañerías, conectores (Transmisión)	168	ALTO		
	Otros (Transmisión)	168	ALTO		

Elaboración propia.



Del análisis realizado tenemos 07 componentes críticos en los equipos: Jumbo DD321 Implementos, mangueras hidráulicas, Viga; Robolt DS311 Eje Central, Martillo hidráulico, Viga Izquierda; Scoop R1600G Bomba de dirección freno, cuchara y válvula de control de implementos para poder pasar a un mantenimiento preventivo en el futuro se recomienda acciones de revisión en el control del componente.

#### **4.5 CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD CON LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL.**

Para el cálculo de la confiabilidad se estima para los equipos Jumbo DD311, Robolt DS311 y Scoop R1600G, en este caso tenemos 07 componentes que requieren revisión del diseño, para integrarlo en mantenimiento preventivo se requiere la evaluación como sigue:

Jumbo DD321 sistema Implementos: “Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)” las fallas se presentan en la tabla 4.37.



**Tabla 51:** Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)

Item	Fecha	T (Días)	T (Horas)
1	8-Mar-2019	1	1
2	22-Mar-2019	14.0	47.4
3	28-Mar-2019	6.0	19.1
4	2-Abr-2019	5.0	19.9
5	16-Abr-2019	14.0	66.6
6	18-Abr-2019	2.0	1.8
7	21-Abr-2019	3.0	3.9
8	24-Abr-2019	3.0	14.6
9	25-Abr-2019	1.0	5.6
10	26-Abr-2019	1.0	5.7
11	27-Abr-2019	1.0	3.0
12	25-Jun-2019	59.0	165.6
13	27-Jul-2019	32.0	163.8
14	31-Jul-2019	4.0	21.9

Elaboración propia.

Con los datos obtenidos del sistema de complementos mangueras y conectores procedemos a ordenar estos datos de menor a mayor la tabla 51.

Item	T (Horas)
1	1
2	1.8
3	3.0
4	3.9
5	5.6
6	5.7
7	14.6
8	19.1
9	19.9
10	21.9
11	47.4
12	66.6
13	163.8
14	165.6

Según el procedimiento planteado se procede a calcular la distribución acumulada de fallas mediante la aproximación de Bernard:

$$\text{Rango de la mediana} = \frac{i-0.3}{i+0.4} \quad \dots (4.1)$$

Donde:

n: es el número de elementos de la prueba.

i: el número de veces en que falló.

**Tabla 52:** Rango promedio de fallas manguera y conectores de implementos

Recurrencia (i)	T (Horas)	$\frac{(i-0.3)}{(n+0.4)}$
1	1	4.9%
2	1.8	11.8%
3	3.0	18.8%
4	3.9	25.7%
5	5.6	32.6%
6	5.7	39.6%
7	14.6	46.5%
8	19.1	53.5%
9	19.9	60.4%
10	21.9	67.4%
11	47.4	74.3%
12	66.6	81.3%
13	163.8	88.2%
14	165.6	95.1%

Elaboración propia.

Para el trazado de la gráfica seguimos el procedimiento planteado de la metodología propuesta, en una hoja de cálculo Excel se procede a calcular los parámetros tal como se indica en la tabla 3.11.



**Tabla 53:** Parámetros X, Y de la distribución Weibull.

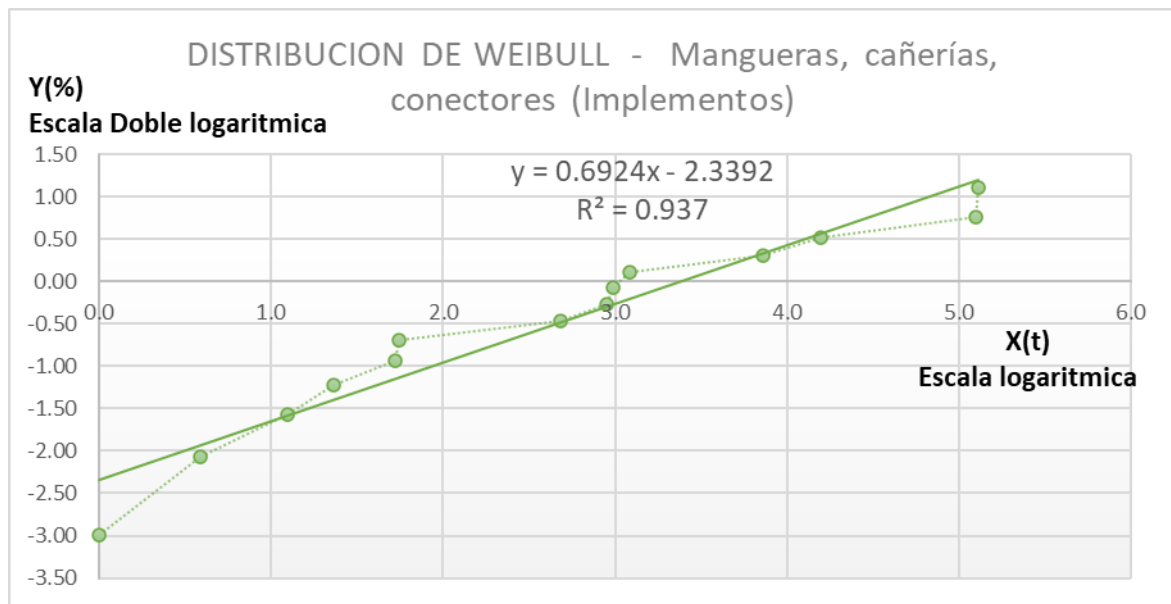
Recurrencia (i)	Tiempo de falla (t)	Ln(t) X	Rango medio $F(t) = (i-0.3)/(N+0.4)$	Ln(ln(1/1-F(t))) Y
1	1	0.0000	0.0486	-2.9991
2	1.8	0.5878	0.1181	-2.0744
3	3	1.0986	0.1875	-1.5720
4	3.9	1.3610	0.2569	-1.2141
5	5.6	1.7228	0.3264	-0.9286
6	5.7	1.7405	0.3958	-0.6854
7	14.6	2.6810	0.4653	-0.4684
8	19.1	2.9497	0.5347	-0.2677
9	19.9	2.9907	0.6042	-0.0761
10	21.9	3.0865	0.6736	0.1130
11	47.4	3.8586	0.7431	0.3067
12	66.6	4.1987	0.8125	0.5152
13	163.8	5.0986	0.8819	0.7592
14	165.6	5.1096	0.9514	1.1065

Elaboración propia.

Con los datos obtenidos de X, Y se procede a realizar la gráfica de Weibull el mismo que corresponde a la siguiente ecuación.

$$y = \beta x - \beta \ln \theta \quad \dots (4.2)$$

**Figura 37:** Distribución Weibull



Elaboración propia.

De la gráfica de Weibull obtenemos el parámetro  $\beta$ , que es la pendiente de la recta

$$y = 0.6924x - 2.3392.$$

De donde obtenemos los parámetros siguientes:

$\beta$ : Parámetro de forma.

$\theta$ : Parámetro de escala (vida característica).

$\Gamma$ : Parámetro de localización

$$\beta = 2.7182^{\left(\frac{2.3392}{0.692}\right)} = 29.3$$

$\beta$	0.6924
$\Upsilon$	0.00
$\theta$	29.3236

Si los datos se aproximan a una línea recta, entonces  $\gamma = 0$ .

Vida característica  $\theta$ ; nos da un tiempo estimado de 52 días.

El parámetro de forma  $\beta$  obtenido;  $0.6924 < 1$ ; nos indica que es una tasa de falla decreciente, el riesgo de la falla disminuye a medida que avanza el desgaste.

Calculamos la función de fiabilidad con la expresión:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-Y}{\theta}\right)^\beta} \quad \dots (4.3)$$

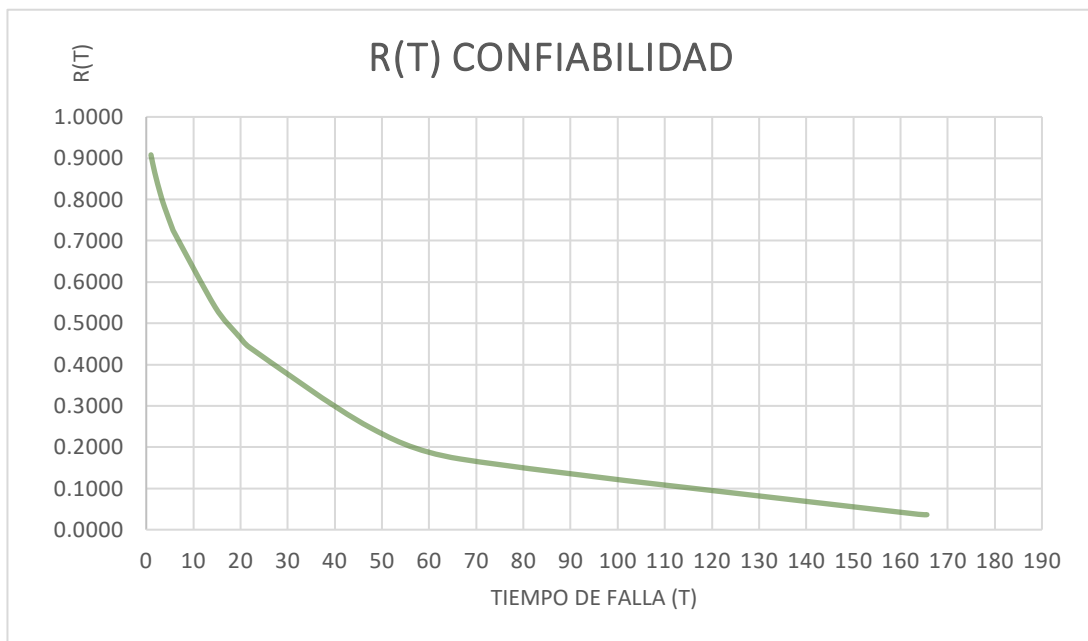
**Tabla 54:** Cálculo de la confiabilidad

Recurrencia (i)	Tiempo de falla (t)	Ln(t) X	Rango medio F(t) = (1- 0.3)/(N+0.4)	Ln(ln(1/1- F(t)) Y	e <sup>-((t- Y)/θ)<sup>β</sup></sup> R(t)
1	1	0.0000	0.0486	-2.9991	0.9081
2	1.8	0.5878	0.1181	-2.0744	0.8652
3	3	1.0986	0.1875	-1.5720	0.8136
4	3.9	1.3610	0.2569	-1.2141	0.7808
5	5.6	1.7228	0.3264	-0.9286	0.7278
6	5.7	1.7405	0.3958	-0.6854	0.7249
7	14.6	2.6810	0.4653	-0.4684	0.5396
8	19.1	2.9497	0.5347	-0.2677	0.4756
9	19.9	2.9907	0.6042	-0.0761	0.4655
10	21.9	3.0865	0.6736	0.1130	0.4418
11	47.4	3.8586	0.7431	0.3067	0.2480
12	66.6	4.1987	0.8125	0.5152	0.1712
13	163.8	5.0986	0.8819	0.7592	0.0372
14	165.6	5.1096	0.9514	1.1065	0.0363

Elaboración propia.

Del cálculo realizado de la confiabilidad obtenemos la gráfica de la confiabilidad para este elemento.

**Figura 38:** Gráfica de la confiabilidad de “Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)”



Elaboración propia.

De la gráfica podemos deducir la evolución de la fiabilidad para un tiempo de 29 horas podemos obtener una fiabilidad del componente del 40%, es decir *se tendría que realizar el mantenimiento preventivo del equipo*.

También podemos graficar la estimación de la Desconfiabilidad el mismo que viene expresada como:

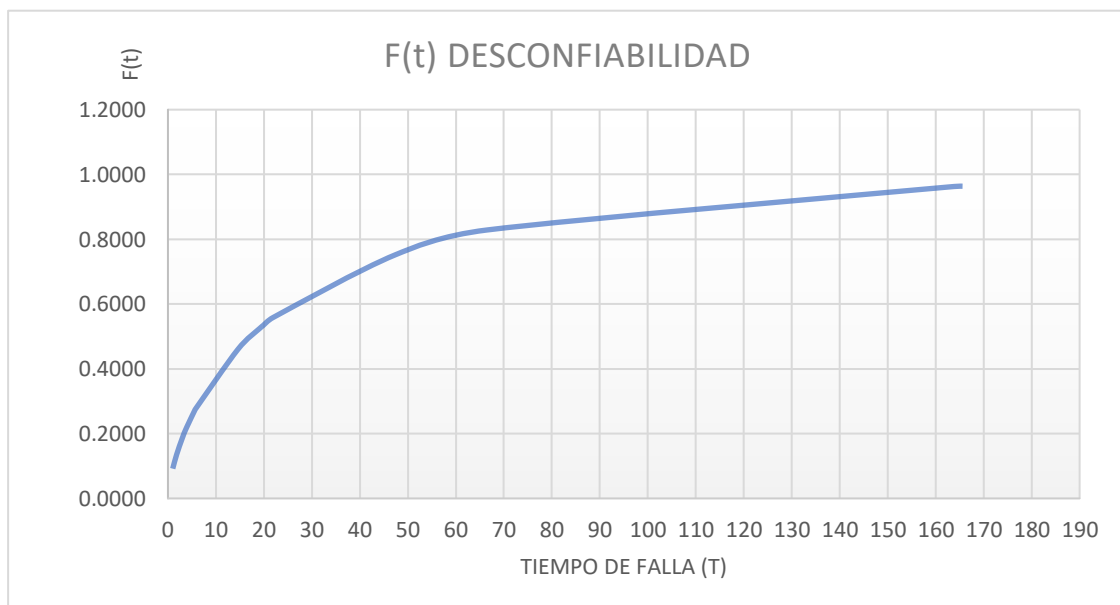
$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\theta}\right)^\beta} \quad \dots (4.4)$$

**Tabla 55:** Tabla de la Desconfiabilidad

Recurrencia (i)	Tiempo de falla (t)	Ln(t) X	Rango medio $F(t) = (1 - 0.3)/(N+0.4)$	$\ln(\ln(1/1 - F(t)))$ Y	$e^{(-((t - Y)/\theta)^{\beta})}$ R(t)	1-R(t) F(t)
1	1	0.0000	0.0486	-2.9991	0.9081	0.0919
2	1.8	0.5878	0.1181	-2.0744	0.8652	0.1348
3	3	1.0986	0.1875	-1.5720	0.8136	0.1864
4	3.9	1.3610	0.2569	-1.2141	0.7808	0.2192
5	5.6	1.7228	0.3264	-0.9286	0.7278	0.2722
6	5.7	1.7405	0.3958	-0.6854	0.7249	0.2751
7	14.6	2.6810	0.4653	-0.4684	0.5396	0.4604
8	19.1	2.9497	0.5347	-0.2677	0.4756	0.5244
9	19.9	2.9907	0.6042	-0.0761	0.4655	0.5345
10	21.9	3.0865	0.6736	0.1130	0.4418	0.5582
11	47.4	3.8586	0.7431	0.3067	0.2480	0.7520
12	66.6	4.1987	0.8125	0.5152	0.1712	0.8288
13	163.8	5.0986	0.8819	0.7592	0.0372	0.9628
14	165.6	5.1096	0.9514	1.1065	0.0363	0.9637

Elaboración propia.

**Figura 39:** Gráfica de la Desconfiabilidad de “Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)”



Elaboración propia.



De acuerdo con el análisis de criticidad y la metodología propuesta el componente requiere acciones de rediseño o modificación, sin embargo, con la metodología podemos establecer tiempos de mantenimiento preventivo para la prevención de falla de componente.

El periodo propuesto de acuerdo con la evaluación da un intervalo de 30 horas con una confiabilidad del 40% para el componente “Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)”.

Este sistema de implementos este compuesto por mangueras, conectores y válvulas para las diferentes funcionalidades en la operación del equipo, las mangueras se dañan por efecto de la vibración y contaminación del medio (polvo húmedo), las válvulas se dañan por un aceite contaminado, en tal sentido se recomienda el uso de limpieza exterior a fin de guardia y sistema de microfiltración del aceite.

Del mismo modo realizamos el análisis de los 06 componentes de los equipos Jumbo DD321, Robolt DS311 y Scoop R1600G como sigue:

**Para el Jumbo DD321:** Sistema Perforación \ percusión Componente “Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos” se tiene la tabla siguiente.

**Tabla 56:** Análisis Weibull y confiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos”

Recurrencia (i)	Tiempo de falla (t)	Ln(t) X	Rango medio F(t) = $\frac{(1-0.3)^{N+0.4}}{N+0.4}$	Ln(ln(1/1-F(t)) Y	$e^{-((t-Y)/\theta)^\beta}$ R(t)	1-R(t) F(t)
1	1	0.0000	0.0265	-3.6166	0.9081	0.0919
2	1.4	0.3365	0.0644	-2.7096	0.8854	0.1146
3	1.7	0.5306	0.1023	-2.2267	0.8700	0.1300
4	3.3	1.1939	0.1402	-1.8905	0.8022	0.1978
5	3.4	1.2238	0.1780	-1.6294	0.7986	0.2014
6	3.8	1.3350	0.2159	-1.4137	0.7843	0.2157
7	4.4	1.4816	0.2538	-1.2285	0.7642	0.2358
8	7	1.9459	0.2917	-1.0647	0.6901	0.3099
9	8.4	2.1282	0.3295	-0.9168	0.6565	0.3435
10	8.6	2.1518	0.3674	-0.7810	0.6520	0.3480
11	9.5	2.2513	0.4053	-0.6545	0.6324	0.3676
12	9.6	2.2618	0.4432	-0.5353	0.6303	0.3697
13	10	2.3026	0.4811	-0.4216	0.6220	0.3780
14	10.8	2.3795	0.5189	-0.3123	0.6061	0.3939
15	12.3	2.5096	0.5568	-0.2061	0.5781	0.4219
16	13.3	2.5878	0.5947	-0.1019	0.5608	0.4392
17	14.5	2.6741	0.6326	0.0012	0.5411	0.4589
18	19.1	2.9497	0.6705	0.1044	0.4756	0.5244
19	22.3	3.1046	0.7083	0.2088	0.4372	0.5628
20	22.4	3.1091	0.7462	0.3157	0.4361	0.5639
21	26.2	3.2658	0.7841	0.4272	0.3965	0.6035
22	34.3	3.5351	0.8220	0.5457	0.3280	0.6720
23	53.2	3.9741	0.8598	0.6755	0.2208	0.7792
24	59.5	4.0860	0.8977	0.8242	0.1955	0.8045
25	134.2	4.8993	0.9356	1.0090	0.0569	0.9431
26	301.2	5.7078	0.9735	1.2892	0.0066	0.9934

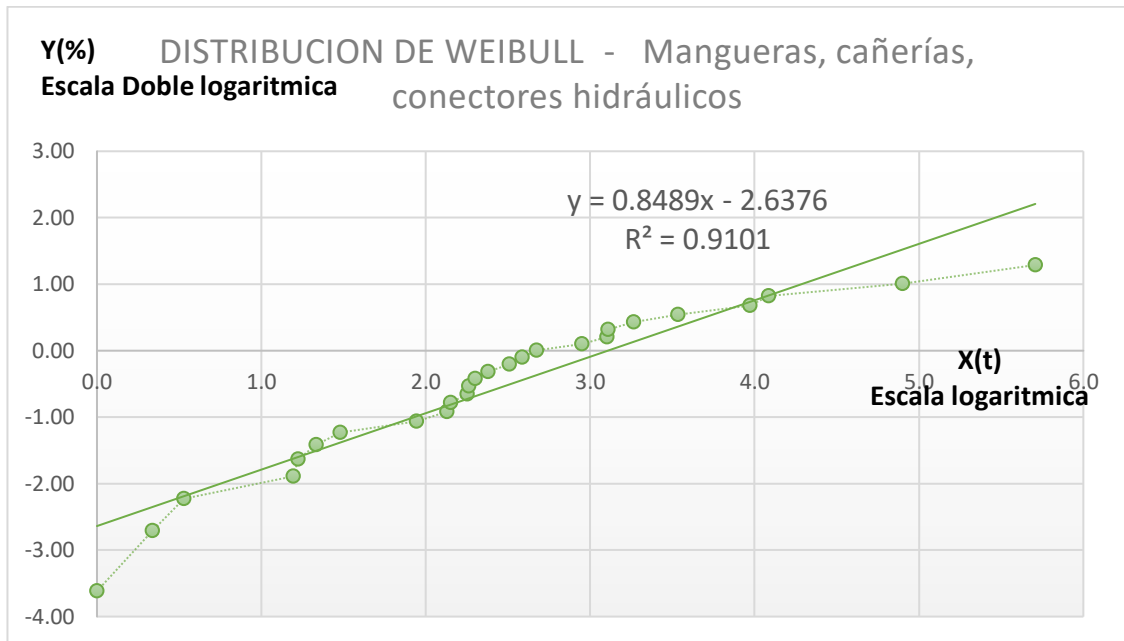
Fuente Elaboración propia

Realizando el análisis se obtiene:

$\beta$	0.8489
$\gamma$	0.00
$\theta$	22.4

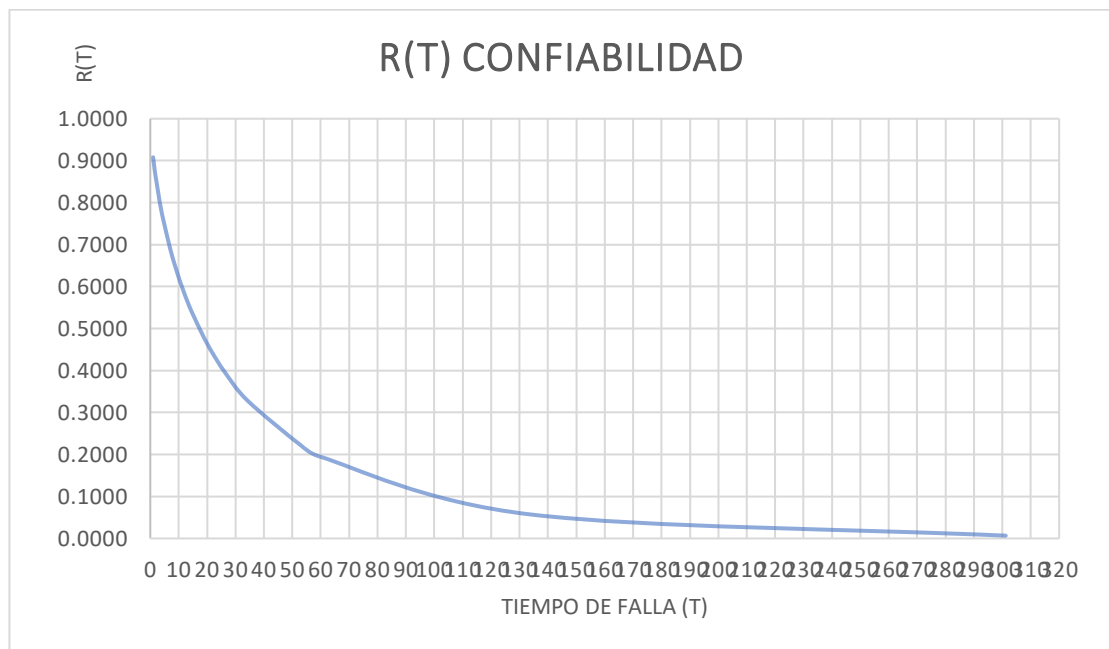
Donde se concluye que la vida estimada para el cambio de mangueras hidráulicas de manera preventiva es de 22 horas.

**Figura 40:** Distribución Weibull “Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos”



Elaboración propia.

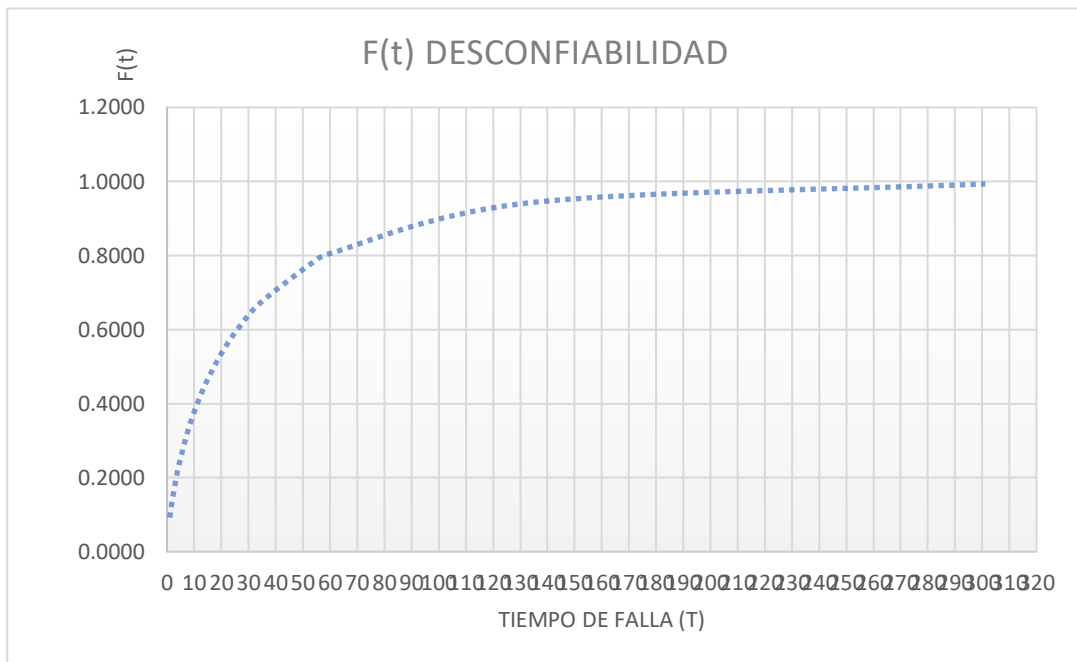
**Figura 41:** Confiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos”



Elaboración propia.



**Figura 42:** Desconfiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos”



Elaboración propia.

Podemos concluir que el componente de Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos para incluirlo en el mantenimiento preventivo se debe cambiar a las 22 horas para asegurar una confiabilidad del 50%, se recomienda lavado de mangueras hidráulicas cada fin de guardia ya que existen agentes externos del medio ambiente volvo húmedo y propio de la perforación que aceleran el desgaste de las mangueras hidráulicas y las malas prácticas de operación que generalmente dañan los conectores por medio de aprisionamiento.

**Robolt DS311: Sistema Perforación / percusión, componente “Eje central”**

Tenemos:

**Tabla 57:** Distribución Weibull “Eje central”

Recurrencia (i)	Tiempo de falla (t)	Ln(t) X	Rango medio F(t) = $\frac{(1-0.3)^{N+0.4}}{N+0.4}$	Ln(ln(1/1- F(t)) Y	$e^{-((t-\Upsilon)/\theta)^\beta}$ R(t)	1-R(t) F(t)
1	1	0.0000	0.1296	-1.9745	0.9081	0.0919
2	1.43	0.3577	0.3148	-0.9727	0.8838	0.1162
3	63.06	4.1441	0.5000	-0.3665	0.1828	0.8172
4	70.97	4.2623	0.6852	0.1448	0.1582	0.8418
5	108.44	4.6862	0.8704	0.7145	0.0843	0.9157

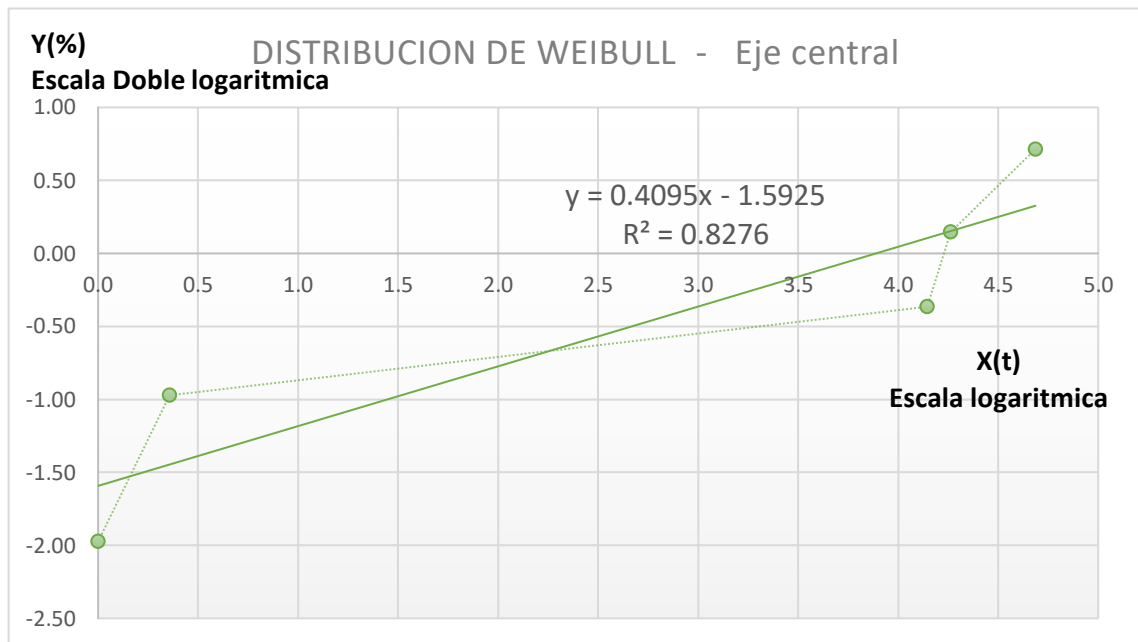
Elaboración propia.

Se obtiene:

$\beta$	0.4095
$\Upsilon$	0.00
$\theta$	48.9

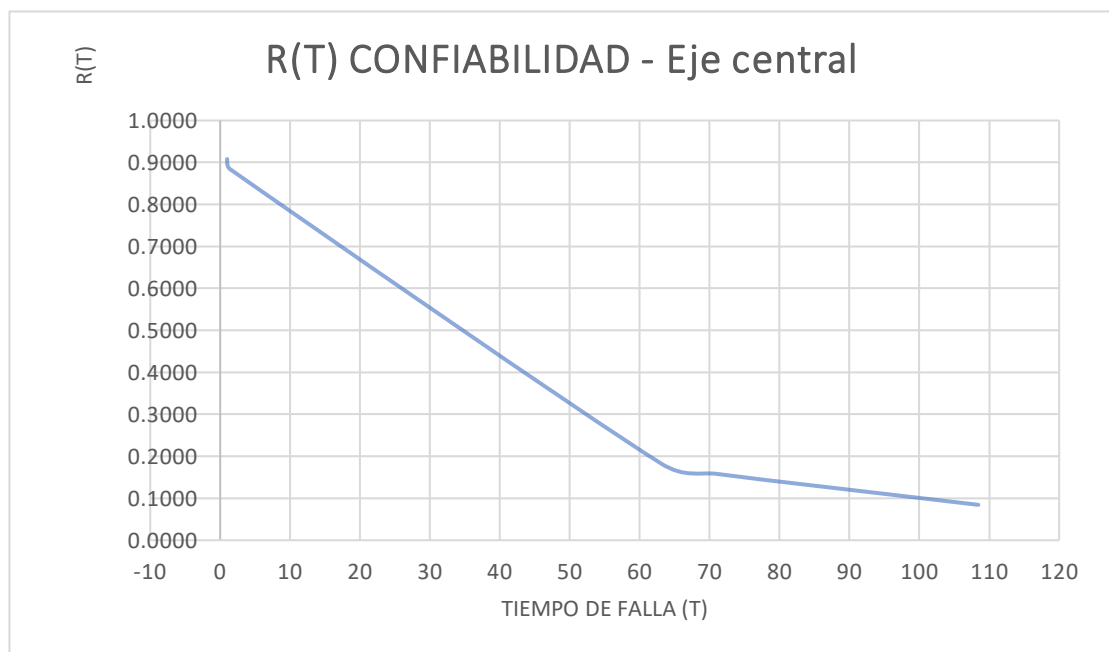
Donde se concluye que la vida estimada para el cambio de Retenes de manera preventiva es de 48 horas.

**Figura 43:** Distribución Weibull “Eje central”



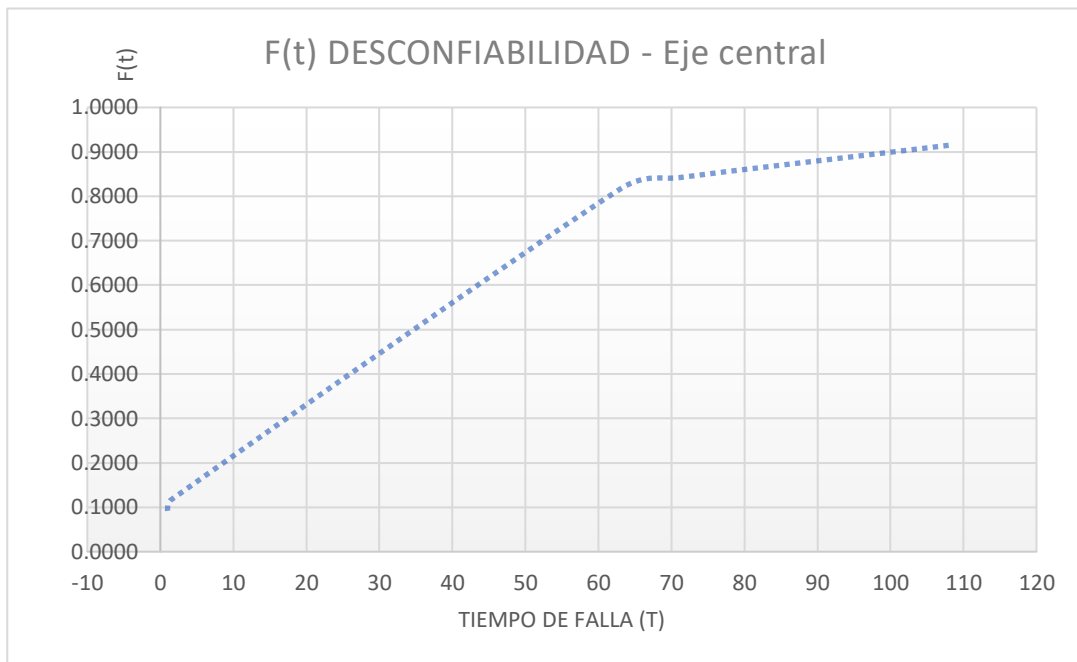
Elaboración propia.

**Figura 44:** Confiabilidad “Eje central”



Elaboración propia.

**Figura 45:** Desconfiabilidad “Eje central”



Elaboración propia.

Podemos concluir que el componente del Eje central su funcionamiento se debe a retenes y bocinas para su funcionamiento para incluirlo en el mantenimiento preventivo se debe cambiar a las 49 horas para asegurar una confiabilidad del 40%, se recomienda lavado de zona cada fin de guardia ya que existen agentes externos del medio ambiente volvo húmedo y propio de la perforación que aceleran el desgaste de los retenes del mismo modo en este punto implementar lubricación continua para alargar la vida útil del Eje.

**Robot DS311:** Sistema perforación percusión componente Martillo Hidráulico.

Se tiene la siguiente tabla de distribución.

**Tabla 58:** Distribución Weibull “Martillo Hidráulico”

Recurrencia (i)	Tiempo de falla (t)	Ln(t) X	Rango medio $F(t) = \frac{(1-0.3)}{(N+0.4)}$	$\text{Ln}(\ln(1/1-F(t)))$ Y	$e^{-((t-Y)/\theta)^\beta}$ R(t)	1-R(t) F(t)
1	1	0.0000	0.0614	-2.7588	0.9081	0.0919
2	4.305	1.4598	0.1491	-1.8233	0.7673	0.2327
3	5.16	1.6409	0.2368	-1.3083	0.7406	0.2594
4	6.98	1.9430	0.3246	-0.9355	0.6906	0.3094
5	9.285	2.2284	0.4123	-0.6320	0.6370	0.3630
6	12.53	2.5281	0.5000	-0.3665	0.5741	0.4259
7	15.35	2.7311	0.5877	-0.1210	0.5279	0.4721
8	15.51	2.7415	0.6754	0.1180	0.5255	0.4745
9	37.91	3.6352	0.7632	0.3649	0.3028	0.6972
10	41.77	3.7322	0.8509	0.6434	0.2787	0.7213
11	51.8	3.9474	0.9386	1.0261	0.2270	0.7730

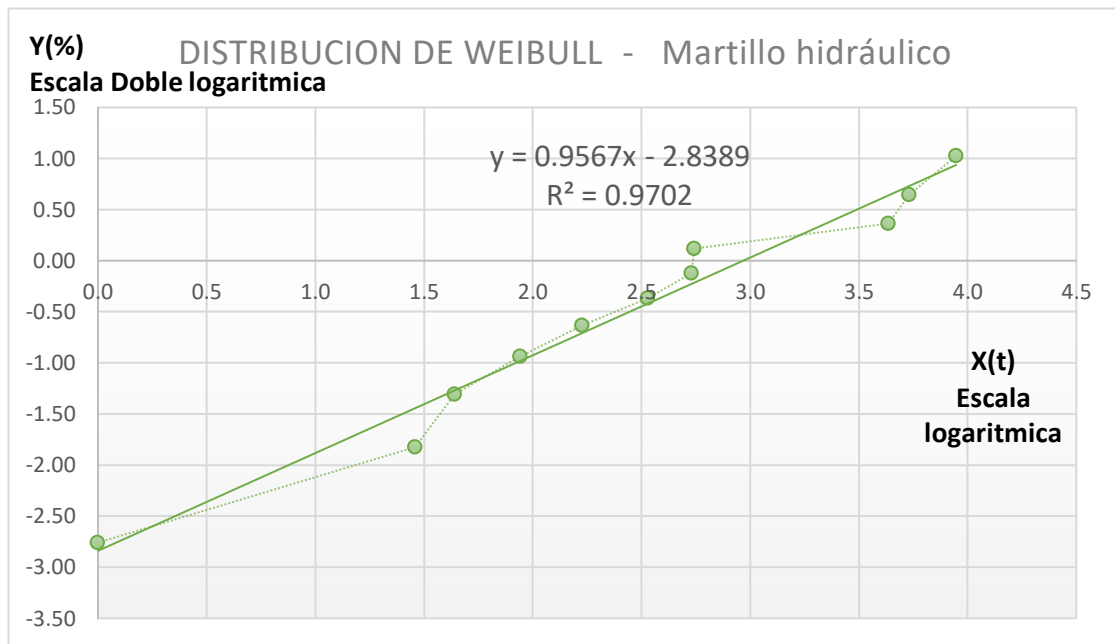
Elaboración propia.

Se obtiene:

$\beta$	0.9567
$\gamma$	0.00
$\theta$	19.4
MBTF	19.83

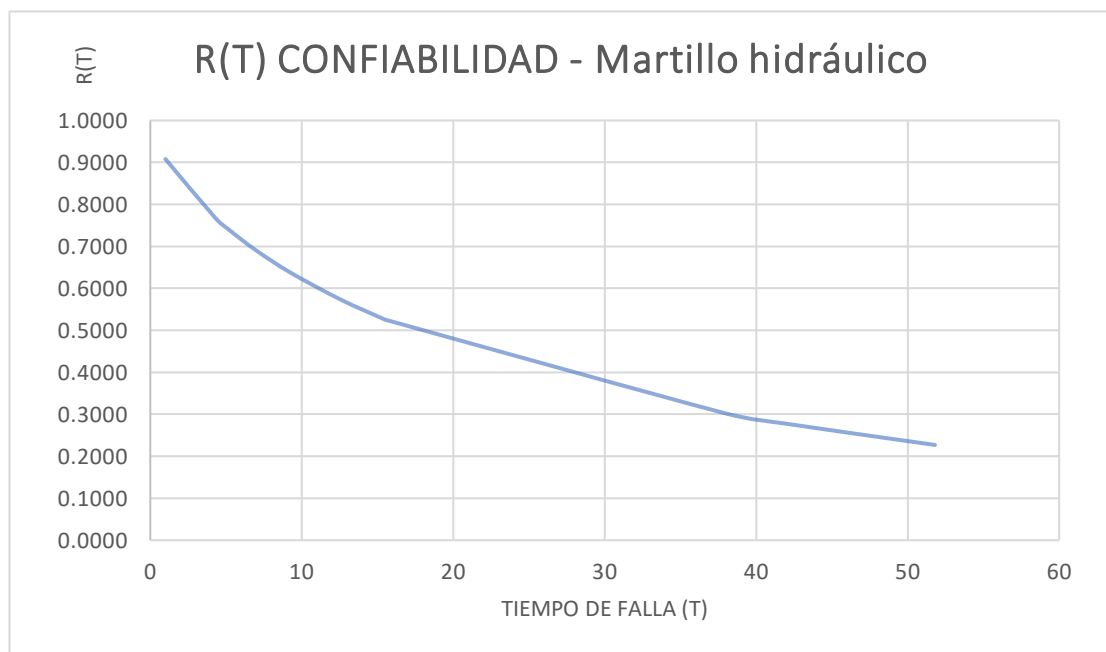
Donde se concluye que la vida estimada para el cambio de Sellos de agua del Martillo hidráulico de manera preventiva es de 20 horas.

**Figura 46:** Distribución Weibull “Martillo hidráulico”



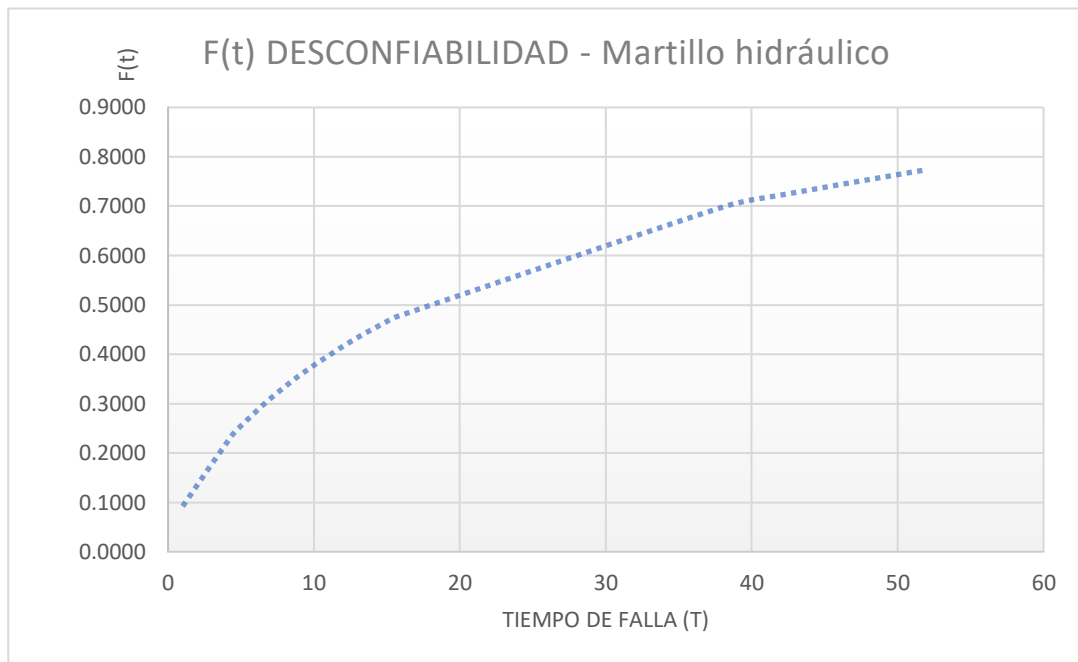
Elaboración propia.

**Figura 47:** Confiabilidad “Martillo hidráulico”



Elaboración propia.

**Figura 48:** Desconfiabilidad “Martillo hidráulico”



Elaboración propia.

Podemos concluir que el componente del Martillo hidráulico para su funcionamiento óptimo se requiere cambiar los sellos de agua del cabezal de perforación ya que este es el punto más crítico de contaminación del sistema hidráulico el mismo que se debe cambiar a las 20 horas para asegurar una confiabilidad del 50%, se recomienda proteger el cabezal con una arandela de goma a la entrada del cabezal ya que en el proceso de perforación a través de la barra se conduce detritos con agua esto con el objetivo de alargar la vida útil del Eje.

**Scoop R1600G:** Sistema Dirección, componente “Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)”

Se tiene la siguiente tabla de distribución.

**Tabla 59:** Distribución Weibull “Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)”

Recurrencia (i)	Tiempo de falla (t)	Ln(t) X	Rango medio $F(t) = \frac{(1-0.3)}{(N+0.4)}$	$\ln(\ln(1/1-F(t)))$ Y	$e^{-((t-Y)/\theta)^\beta}$ R(t)	1-R(t) F(t)
1	1	0.0000	0.2059	-1.4674	0.9081	0.0919
2	18	2.8904	0.5000	-0.3665	0.4900	0.5100
3	44.2	3.7887	0.7941	0.4577	0.2649	0.7351

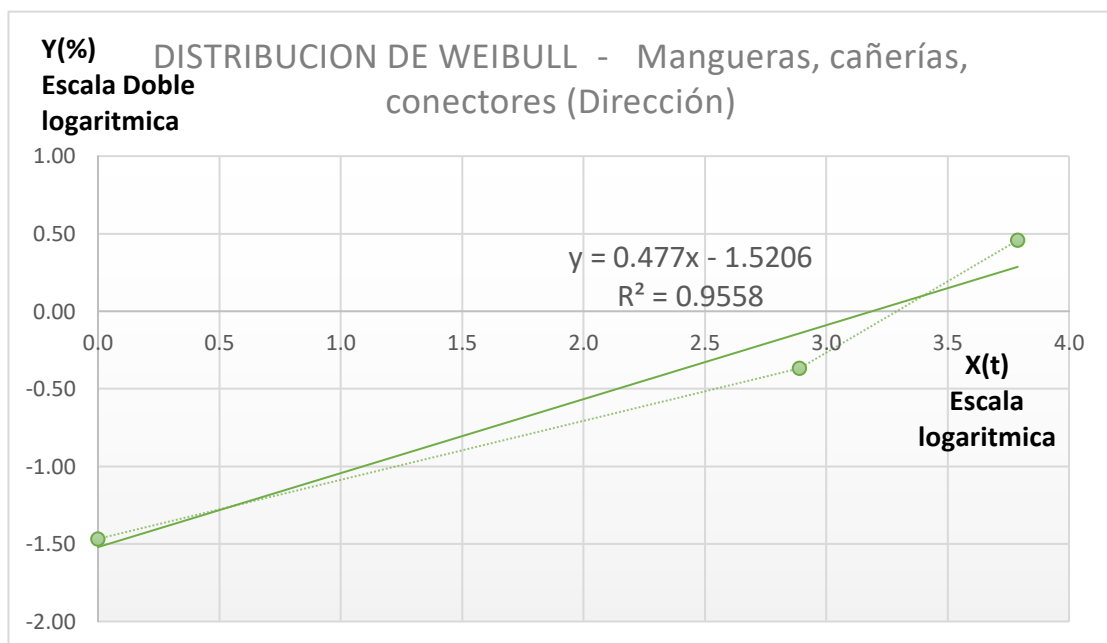
Elaboración propia.

Se obtiene:

$\beta$	0.4770
$\gamma$	0.00
$\theta$	24.2

Donde se concluye que la vida estimada para el cambio de mangueras de dirección hidráulico de manera preventiva es de 25 horas.

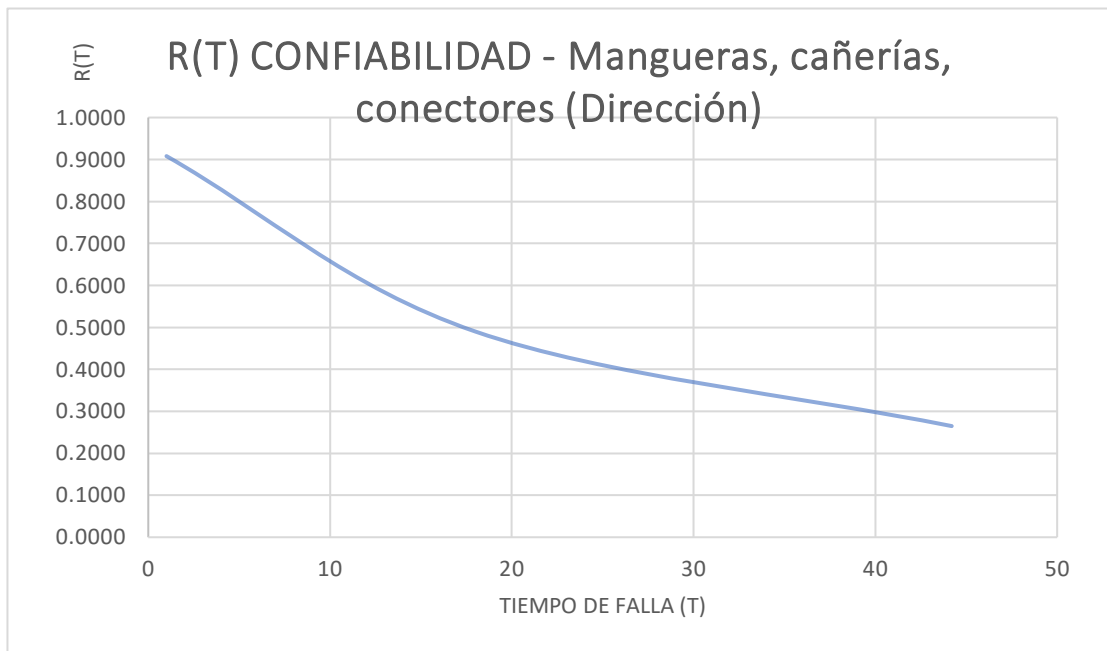
**Figura 49:** Distribución Weibull “Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)”



Elaboración propia.

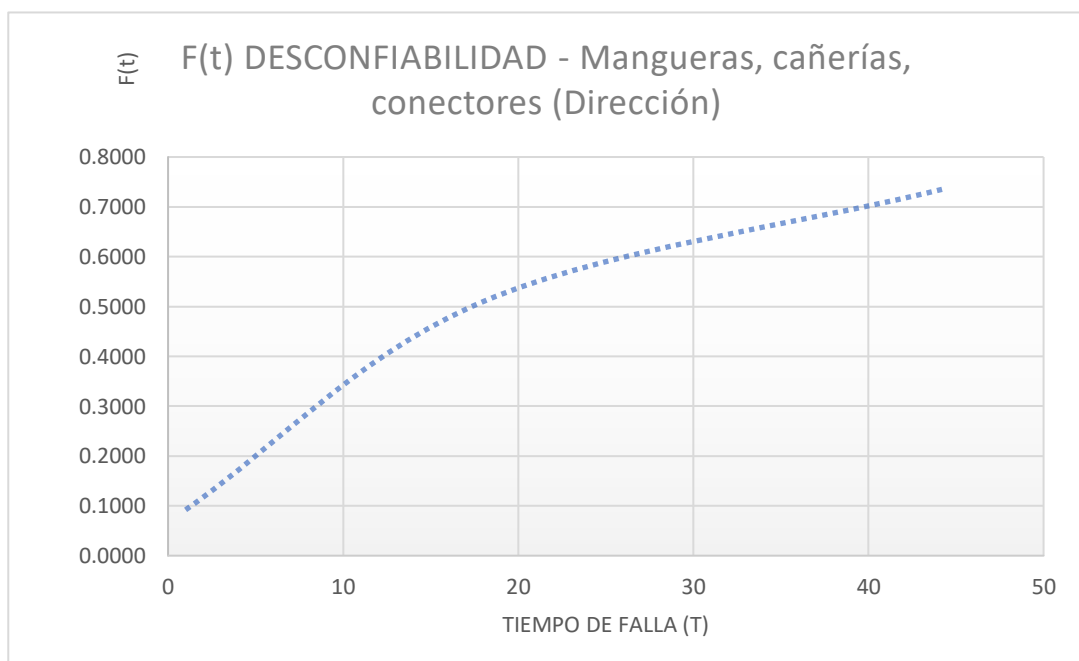


**Figura 50:** Confiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)”



Elaboración propia.

**Figura 51:** Desconfiabilidad “Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)”



Elaboración propia.

Podemos concluir que el componente del Mangueras, cañerías, conectores (Dirección) para su funcionamiento optimo se requiere cambiarlos oportunamente a las 20horas para asegurar una confiabilidad del 50%, se recomienda proteger las cañerías y revisar cada fin de guardia que no haya caído trozos de roca esto con el objetivo de alargar la vida útil de las cañerías de dirección.

Scoop R1600G: Sistema Implementos, Componente “Bucket (Cuchara)”

Tenemos:

**Tabla 60:** Distribución Weibull “Bucket (Cuchara)”

Recurrencia (i)	Tiempo de falla (t)	Ln(t) X	Rango medio $F(t) = \frac{(1-0.3)^{(N+0.4)}}{X}$	$\ln(\ln(1/1-F(t)))$ Y	$e^{-((t-Y)/\theta)^\beta}$ R(t)	$1-R(t)$ F(t)
1	1	0.0000	0.0216	-3.8239	0.9081	0.0919
2	3.2	1.1632	0.0525	-2.9207	0.8060	0.1940
3	4.9	1.5892	0.0833	-2.4417	0.7485	0.2515
4	5.1	1.6292	0.1142	-2.1098	0.7424	0.2576
5	5.5	1.7047	0.1451	-1.8533	0.7306	0.2694
6	6.5	1.8718	0.1759	-1.6425	0.7030	0.2970
7	7	1.9459	0.2068	-1.4625	0.6901	0.3099
8	7.1	1.9601	0.2377	-1.3043	0.6876	0.3124
9	7.5	2.0149	0.2685	-1.1626	0.6777	0.3223
10	8	2.0794	0.2994	-1.0334	0.6658	0.3342
11	8.6	2.1518	0.3302	-0.9142	0.6520	0.3480
12	10.1	2.3125	0.3611	-0.8029	0.6200	0.3800
13	10.3	2.3321	0.3920	-0.6981	0.6159	0.3841
14	10.5	2.3514	0.4228	-0.5985	0.6120	0.3880
15	11.1	2.4069	0.4537	-0.5032	0.6003	0.3997
16	11.8	2.4681	0.4846	-0.4114	0.5872	0.4128
17	12.4	2.5177	0.5154	-0.3223	0.5763	0.4237
18	14	2.6391	0.5463	-0.2353	0.5492	0.4508
19	14.3	2.6603	0.5772	-0.1499	0.5443	0.4557
20	17.4	2.8565	0.6080	-0.0655	0.4982	0.5018
21	19.7	2.9806	0.6389	0.0184	0.4680	0.5320
22	21.4	3.0634	0.6698	0.1025	0.4475	0.5525
23	21.7	3.0773	0.7006	0.1873	0.4440	0.5560

(Continuación .....)

24	23.3	3.1485	0.7315	0.2737	0.4262	0.5738
25	28.2	3.3393	0.7623	0.3625	0.3778	0.6222
26	30.1	3.4045	0.7932	0.4549	0.3612	0.6388
27	36.2	3.5891	0.8241	0.5526	0.3144	0.6856
28	39.1	3.6661	0.8549	0.6578	0.2951	0.7049
29	50.7	3.9259	0.8858	0.7746	0.2320	0.7680
30	57	4.0431	0.9167	0.9102	0.2051	0.7949
31	61.6	4.1207	0.9475	1.0810	0.1879	0.8121
32	951	6.8575	0.9784	1.3441	0.0000	1.0000

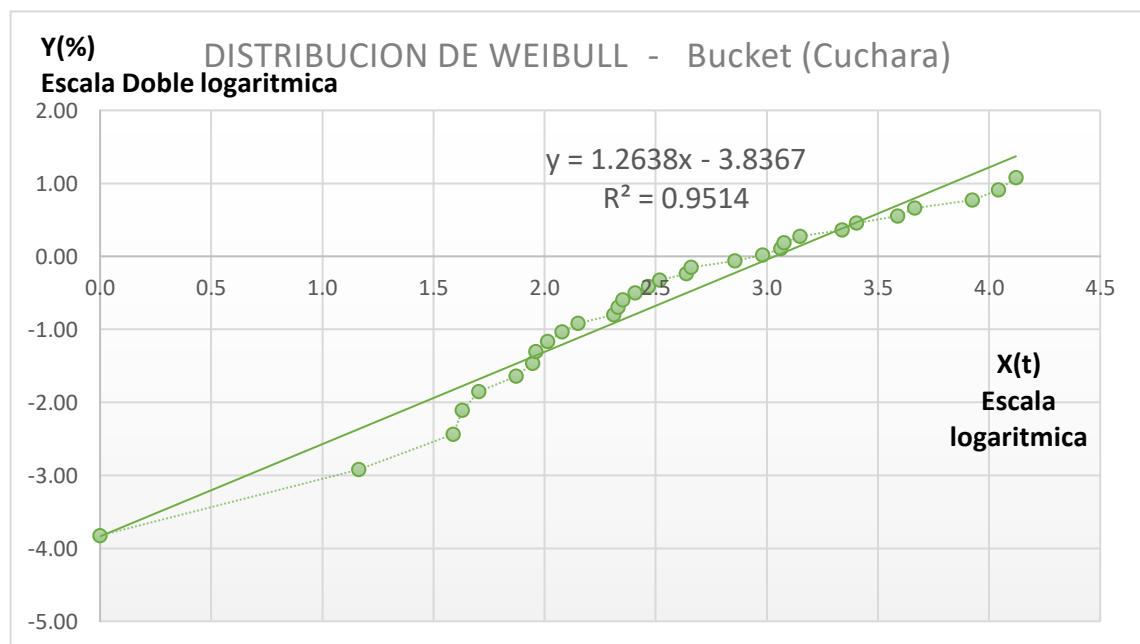
Elaboración propia.

Se obtiene:

$\beta$	1.2638
$\Upsilon$	0.00
$\theta$	<b>20.8</b>

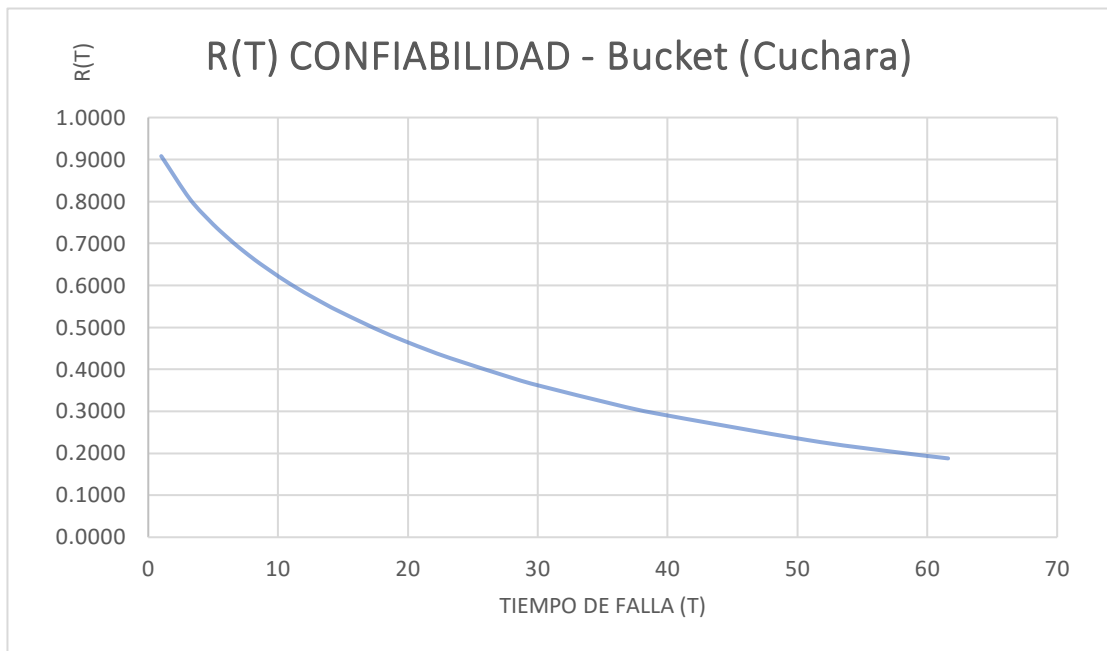
Donde se concluye que la vida estimada para la rotación de segmentos de Bucket (Cuchara) de manera preventiva es de 21 horas.

**Figura 52:** Distribución Weibull “Bucket (Cuchara)”



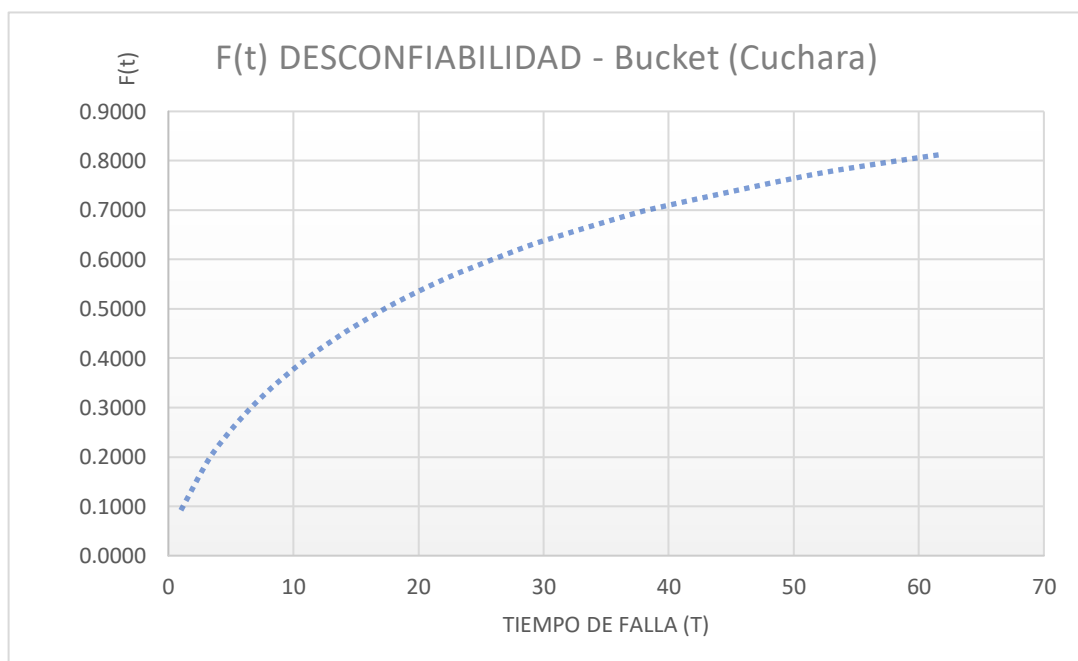
Elaboración propia.

**Figura 53:** Confiabilidad “Bucket (Cuchara)”



Elaboración propia.

**Figura 54:** Desconfiabilidad “Bucket (Cuchara)”



Elaboración propia.

Podemos concluir que el componente Bucket (Cuchara) para su funcionamiento óptimo se requiere rotar los segmentos oportunamente a las 21 horas para asegurar una confiabilidad del 55%, se recomienda abastecerse de segmentos y cantoneras de la cuchara y la revisión de cada fin de guardia que no haya pernos sueltos esto con el objetivo de alargar la vida útil de los segmentos y cantoneras.

Scoop R1600G: Sistema Motor Diesel, componente Otros (Motor)

Tenemos:

**Tabla 61:** Distribución Weibull “Otros (Motor)”

Recurrencia (i)	Tiempo de falla (t)	Ln(t) X	Rango medio $F(t) = \frac{(1-0.3)^{N+0.4}}{N+0.4}$	$\ln(\ln(1/1-F(t)))$ Y	$e^{-((t-Y)/\theta)^\beta}$ R(t)	1-R(t) F(t)
1	1	0.0000	0.1591	-1.7529	0.9081	0.0919
2	15.5	2.7408	0.3864	-0.7167	0.5257	0.4743
3	157.6	5.0601	0.6136	-0.0503	0.0406	0.9594
4	806.1	6.6922	0.8409	0.6088	0.0000	1.0000

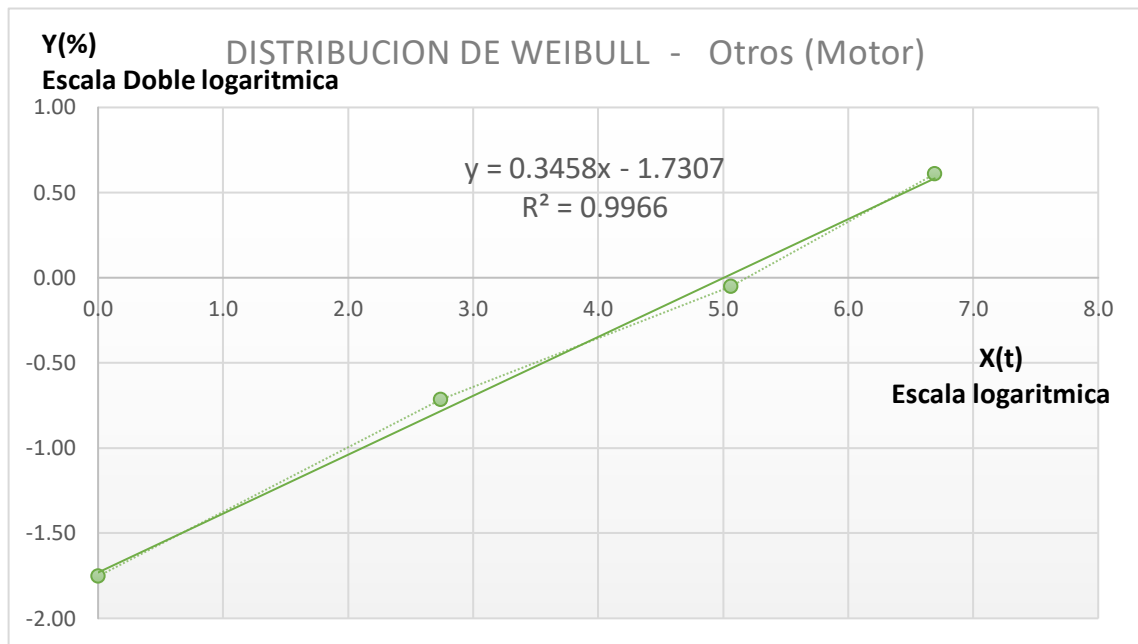
Elaboración propia.

Se obtiene:

$\beta$	0.3458
$\Upsilon$	0.00
$\theta$	<b>149.1</b>

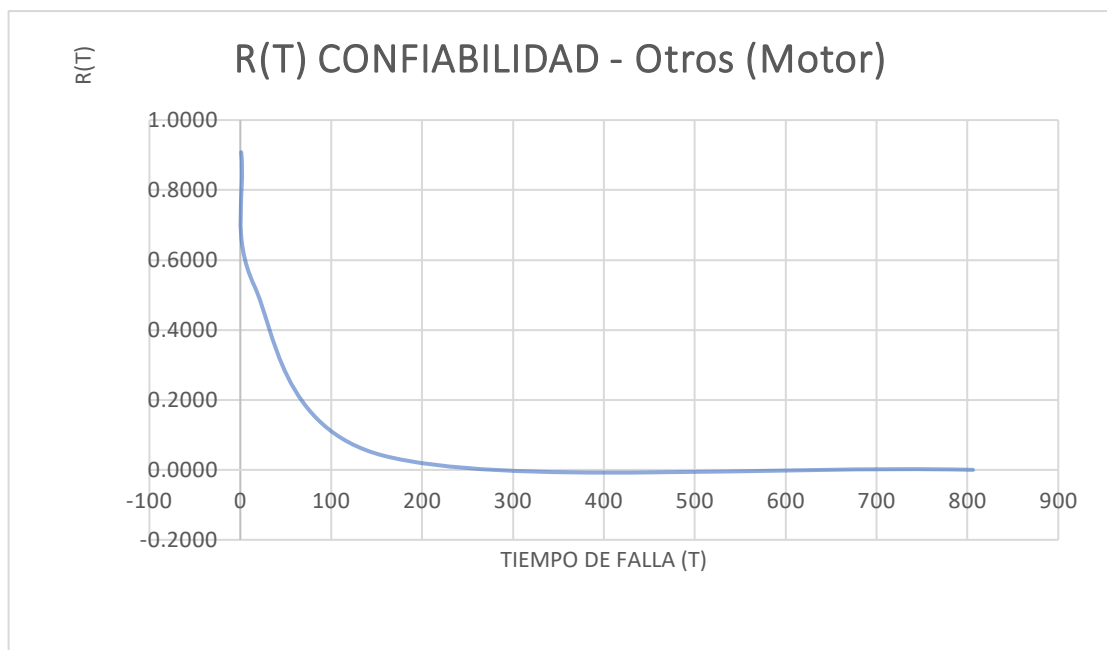
Donde se concluye que la vida estimada para otros (Motor) como Filtros de Admisión de manera preventiva es de 150 horas.

**Figura 55:** Distribución Weibull “otros (Motor)”



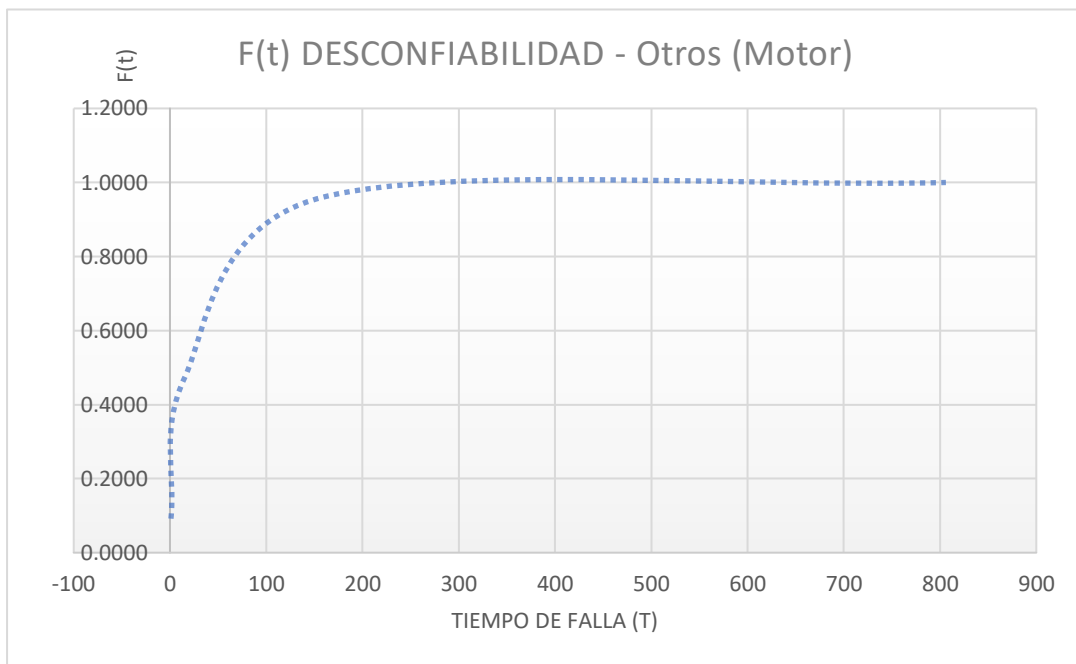
Elaboración propia.

**Figura 56:** Confiabilidad “otros (Motor)”



Elaboración propia.

**Figura 57:** Desconfiabilidad “otros (Motor)”



Elaboración propia.

Podemos concluir que el componente “otros (Motor)” para su funcionamiento óptimo se requiere rotar los filtros de admisión en particular a las 150 horas para asegurar una confiabilidad del 20%, se recomienda abastecerse de estos filtros ya que son consumibles esto con el objetivo de alargar la vida útil del motor diésel.

#### 4.6 DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE COMPONENTES DEL PROYECTO DE EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA YANACOCHA 2019 A 2020

Similar a la tabla 4.1 se realiza el diagnóstico de sistemas y subsistemas de componentes de los equipos Jumbos DD321, Robolt DS311 y Scoop R1600G, con el objetivo de visualizar de manera progresiva la existencia de la mejora del mantenimiento

**Tabla 62:** Robolt\_01 sistemas y subsistemas de componentes 2019-2020

EQ.	Sistema	Subsistema Componente	Operación
Robolt_01	Agua\aire	Mangueras, cañerías, conectores (Agua y aire)	Operativo
		Otros (Agua, aire)	Operativo
		Válvulas neumáticas	Operativo
	Eléctrico industrial	Cable de potencia 440v	Operativo
	Eléctrico luces\accesorios	Cláxon, alarma de retroceso, luz estroboscópica	Operativo
	Implementos	Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	Operativo
		Otros (Implementos)	Operativo
	Motor diésel	Otros (Motor)	Operativo
		Sensores motores	Operativo
	Perforación\percusión	Bomba de rotación (Brazo der.)	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	Operativo
		Martillo hidráulico	Operativo
		Martillo perforador bulonaje	Operativo
		Martillo perforador der.	Operativo
		Otros (Luces / accesorios)	Operativo
		Otros (Perforación)	Operativo
		Tanque aceite hidráulico	Operativo
		Unidad de rotación der.	Operativo
		Válvula control de empernado	Operativo
Válvula control de perforación (Brazo der.)		Operativo	
Viga der.	Operativo		

Elaboración propia.



**Tabla 63:** Jumbo\_01 sistemas y subsistemas de componentes 2019-2020

EQ.	Sistema	Subsistema Componente	Operación
Jumbo_01	Agua\aire	Bomba de agua	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores (Agua y aire)	Operativo
		Otros (Agua, aire)	Operativo
	Chasis	Otros (Chasis)	Operativo
	Eléctrico industrial	Cable de potencia 440v	Operativo
		Colector	Operativo
		Líneas, cables eléctricos	Operativo
	Eléctrico luces\accesorios	Luces delanteras	Operativo
	Implementos	Gata posicionamiento 02	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	Operativo
		Motor hidráulico de implementos	Operativo
	Motor Diesel	Otros (Implementos)	Operativo
		Válvula control de implementos	Operativo
	Perforación\percusión	Brazo telescópico der.	Operativo
		Brazo telescópico Izq.	Operativo
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)	Operativo
		Cadena o cable de avance/retorno (Viga izq.)	Operativo
		Cilindro de avance (Viga der.)	Operativo
		Eje lateral	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	Operativo
		Martillo hidráulico	Operativo
		Martillo perforador der.	Operativo
		Otros (Perforación)	Operativo
		Pines y bocinas	Operativo
		Polea de líneas hidráulicas (Viga der.)	Operativo
		Tanque aceite hidráulico	Operativo
		Unidad de rotación der.	Operativo
Unidad de rotación izq.		Operativo	
Válvula control de perforación (Brazo der.)		Operativo	
Viga der.		Operativo	
Viga izq.	Operativo		

Elaboración propia.

**Tabla 64:** Scoop\_01 sistemas y subsistemas de componentes 2019-2020

EQ.	Sistema	Subsistema Componente	Operación
Jumbo_01	Chasis	Cabina	Operativo
		Otros (Chasis)	Operativo
	Dirección	Pines, bocinas, rotulas	Operativo
	Eléctrico de carga	Cables / puentes	Operativo
		Faja alternador	Operativo
	Eléctrico luces\accesorios	Claxon, alarma de retroceso, luz estroboscópica	Operativo
		Luces delanteras	Operativo
		Luces laterales der.	Operativo
		Otros (Luces / accesorios)	Operativo
	Implementos	Bucket (Cuchara)	Operativo
		Cilindro de levante izq.	Operativo
		Cilindro de vuelco/inclinación	Operativo
		Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	Operativo
		Otros (Implementos)	Operativo
	Llantas	Llanta delantera izq.	Operativo
	Motor diésel	Radiador / Intercooler	Operativo
Transmisión	Otros (Transmisión)	Operativo	
	Sensores transmisión	Operativo	
	Tarjeta electrónica de transmisión	Operativo	

Elaboración propia.

#### 4.7 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

Para la prueba de hipótesis utilizamos la distribución propuesta t de Student (Suarez Guerra & Yessica, 2020)

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} \quad \dots (4.5)$$

Donde:

$\bar{d}$ : Promedio de las diferencias de las mediciones muestrales.

$S_d$ : Desviación estándar de estas diferencias.

Con GL = n - 1 grados de libertad

#### 4.7.1 Hipótesis de Investigación.

$H_0$ : La hipótesis nula de que no hay diferencia en la aplicación de la metodología.

$H_1$ : la hipótesis alterna de que si hay diferencia en la aplicación de la metodología.

$$H_0: \mu_D = d_0$$

$$H_1: \mu_D \neq d_0$$

La prueba que aplicaremos es la de dos colas llamado bilateral

Se plantea para un nivel de confianza  $\alpha = 5\% \rightarrow \alpha/2 = 0.025$

De acuerdo con lo planteado tendríamos las hipótesis:

**H<sub>0</sub>**: El diagnóstico de los sistemas, subsistemas de componentes del proyecto de exploración subterránea, no permite mejorar la confiabilidad de los equipos.

**H<sub>1</sub>**: El diagnóstico de los sistemas, subsistemas de componentes del proyecto de exploración subterránea, permite mejorar la confiabilidad de los equipos.

Para el análisis consideramos los datos obtenidos.

**Tabla 65:** Diagnóstico de los subsistemas “Componentes”

DIAGNÓSTICO CONFIABILIDAD DE LOS SUB-SISTEMAS			
Equipos	Caso Sub-sistemas	CONF In	CONF Fin
DD321	Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)	0.22	0.37
DD321	Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos	0.22	0.44
DS311	Eje central	0.22	0.24
DS311	Martillo hidráulico	0.22	0.47
R1600G	Mangueras, cañerías, conectores (Dirección)	0.22	0.42
R1600G	Bucket (Cuchara)	0.22	0.45
R1600G	Otros (Motor)	0.22	0.05

Elaboración propia.



$$GL = n - 1 = 7 - 1 = 6 \text{ grados libertad}$$

$$t_{\alpha/2} = 0.025$$

**Tabla 66:** Valores críticos de la distribución t de student

$\alpha$	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
<b>GL</b>					
<b>1</b>	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567
<b>2</b>	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
<b>3</b>	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
<b>4</b>	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
<b>5</b>	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
<b>6</b>	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
<b>7</b>	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
<b>8</b>	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
<b>9</b>	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
<b>10</b>	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
<b>11</b>	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058

Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la prueba de dos colas o bilateral, el nivel de significancia  $\alpha/2$  delimita el área en tres partes, un área entre  $-2,4469$  y  $2,4469$ ; la cual es el área de aceptación de la hipótesis nula y el área a la izquierda de  $-2,4469$  y a la derecha de  $2,4469$  que representa el área de rechazo de la hipótesis nula (Aurora Rodriguez Gueorguieva, 2009).

El análisis y cuyos resultados estadísticos se realizará en el software Minitab 18, que se muestra a continuación.

**Figura 58:** Resultados contrastación de hipótesis.

## IC y Prueba T pareada: CONF In, CONF Fin

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
CONF In	8	0.2200	0.0000	0.0000
CONF Fin	8	0.3476	0.1426	0.0504

### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
-0.1276	0.1426	0.0504	(-0.2467, -0.0084)

*diferencia\_μ: media de (CONF In - CONF Fin)*

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0  
Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
-2.53	0.039

Fuente: Software Minitab 18

EL valor T Calculado es -2.53 menor que -2.4469 por lo que cae en la región de rechazo, con lo cual se rechaza la hipótesis nula aceptando la hipótesis alterna, es decir: los parámetros característicos de la distribución de Weibull, permite elaborar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad; por lo que el diagnóstico de los sistemas, subsistemas de componentes del proyecto de exploración subterránea, permite mejorar la confiabilidad de los equipos aceptando el catálogo de fallas propuesto.

**Tabla 67:** Resultados Confiabilidad 2018 al 2020

Código Equipo	Confiabilidad 2018-2019	Confiabilidad 2019-2020
ALPHA_01	98.69%	96.04%
BOBCAT_01	94.06%	96.09%
CARMIX_38_02	92.47%	84.84%
CARMIX_39_01	96.23%	79.04%
JUMBO_01	89.90%	93.55%
ROBOLT_01	85.33%	89.61%
SCAMEC_01	91.24%	89.71%
SCOOP_01	88.48%	94.37%
SCOOP_02	99.17%	99.42%
TELEHANDLER_01	97.70%	93.36%
VOLQUETE_A5Q-739	92.98%	90.41%
VOLQUETE_AAC-905	95.45%	90.73%
VOLQUETE_AFX-777	96.67%	96.57%
<b>Total, general</b>	<b>94.19%</b>	<b>92.01%</b>

Fuente: Base de datos Administración de Empresas SAC

De la tabla 4.51 podemos concluir que hubo un incremento en la confiabilidad de los tres equipos críticos evaluados en el presente proyecto de 4.60% con respecto al año 2018-2019, podemos mencionar también que se identifica dos equipos Carmix con baja confiabilidad lo mismo que debe ser tomada en cuenta en los proyectos venideros.

Contrastación de hipótesis en los costos por mantenimiento programado y no programado.

**Tabla 68:** Resultados de costos por mantenimientos correctivos programados y no programados.

EQUIPOS	TIPO MANTENIMIENTO	COSTOS 2018-2019	COSTOS 2019-2020
ROBOLT DS311	PM01 Correctivo no Programado.	\$ 31,990.21	\$ 375.32
	PM03 Correctivo Programado.	\$ 51,529.69	\$ 113,538.27
JUMBO DD321	PM01 Correctivo no Programado.	\$ 4,803.44	\$ 17,143.64
	PM03 Correctivo Programado.	\$ 79,569.18	\$ 54,331.31
SCOOP R1600G	PM01 Correctivo no Programado.	\$ 26,374.59	\$ -
	PM03 Correctivo Programado.	\$ 686.35	\$ 31,123.07
<b>Total</b>		<b>\$ 194,953.46</b>	<b>\$ 216,511.61</b>

Fuente: Base de datos SAP PM Administración de Empresas SAC

De la tabla 4.52 podemos concluir que hubo un ahorro de costos de mantenimiento en \$ 4,219.15 dólares con respecto al año 2018-2019 del proyecto en ejecución, podemos mencionar también que en los mantenimientos no programados se observa una reducción de costos incrementando a los mantenimientos programados, lo que refleja la confiabilidad de los equipos según la tabla 4.51.

Contrastación de hipótesis en las ordenes de trabajo de los mantenimientos programados y no programados.

**Tabla 69:** Resultados de las ordenes de trabajo por mantenimientos programados y no programados.

EQUIPOS	TIPO MANTENIMIENTO	# Ordenes (2018-2019)	# Ordenes (2019-2020)
ROBOLT DS311	PM01 Correctivo no Prog.	8.00	2.00
	PM03 Correctivo Prog.	22.00	17.00
JUMBO DD321	PM01 Correctivo no Prog.	4.00	8.00
	PM03 Correctivo Prog.	11.00	19.00
SCOOP R1600G	PM01 Correctivo no Prog.	1.00	0.00
	PM03 Correctivo Prog.	2.00	4.00
<b>Total</b>		48.00	50.00

Fuente: Base de datos SAP PM Administración de Empresas SAC

De la tabla 4.53 podemos concluir que las ordenes de trabajo por mantenimiento correctivo se ha reducido en 2 órdenes lo que implica un ahorro de costos, del mismo modo se puede visualizar que las ordenes de trabajo correctivas no programados se han reducido incrementando las ordenes de trabajo programados lo que implica un mejor control de los equipos.

#### 4.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La metodología RCM aplicada al mantenimiento de equipos pesados en minería subterránea es una herramienta que nos facilita evaluar los componentes y subcomponentes de los equipos pesados, aplicando el AMEF como proceso de evaluación

de la criticidad de los componentes y subcomponentes en su evaluación nos apoyamos de la Norma ISO 14224 para su valoración; en el presente proyecto se encontró 7 subcomponentes críticos que se han mejorado su confiabilidad con la metodología Weibull descubierta por el sueco Walodi Weibull anunciada en 1951, esta herramienta nos ha permitido estimar una vida útil confiable para los 7 subcomponentes, obteniendo como resultado la validación de la implementación de un catálogo de fallas para el control de los mantenimientos preventivos.

**Tabla 70:** Catálogo de Fallas de equipos Jumbo DD321 (2018 al 2020)

CATALOGO DE FALLAS JUMBO DD321			
Sistema	Subcomponentes	Sistema	Subcomponentes
Agua aire	Bomba de agua	Perforación\percusión	Brazo telescópico der.
	Mangueras, cañerías, conectores (Agua y aire)		Brazo telescópico Izq.
	Otros (Agua, aire)		Cadena o cable de avance/retorno (Viga der.)
Chasis	Otros (Chasis)		Cadena o cable de avance/retorno (Viga izq.)
Eléctrico industrial	Cable de potencia 440v		Cilindro de avance (Viga der.)
	Colector		Eje lateral
	Líneas, cables eléctricos		Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos
Eléctrico luces accesorias	Luces delanteras		Martillo hidráulico
Implementos	Gata posicionamiento 02		Martillo perforador der.
	Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)		Otros (Perforación)
	Motor hidráulico de implementos		Pines y bocinas
	Otros (Implementos)		Polea de líneas hidráulicas (Viga der.)
	Válvula control de implementos		Tanque aceite hidráulico
			Unidad de rotación der.
			Unidad de rotación izq.
			Válvula control de perforación (Brazo der.)
		Viga der.	
		Viga izq.	

Elaboración propia.



**Tabla 71:** Catálogo de Fallas de equipos Robolt DS311 (2018 al 2020)

<b>CATALOGO DE FALLAS ROBOLT DS311</b>			
<b>Sistema</b>	<b>Subcomponentes</b>	<b>Sistema</b>	<b>Subcomponentes</b>
Agua\aire	Mangueras, cañerías, conectores (Agua y aire)	Perforación\percusión	Bomba de rotación (Brazo der.)
	Otros (Agua, aire)		Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos
	Válvulas neumáticas		Martillo hidráulico
Eléctrico industrial	Cable de potencia 440v		Martillo perforador bulonaje
Eléctrico luces\accesorios	Claxon, alarma de retroceso, luz estroboscópica		Martillo perforador der.
Implementos	Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)		Otros (Luces / accesorios)
	Otros (Implementos)		Otros (Perforación)
Motor diésel	Otros (Motor)		Tanque aceite hidráulico
	Sensores motores		Unidad de rotación der.
			Válvula control de empernado
			Válvula control de perforación (Brazo der.)
			Viga der.

Elaboración propia.

**Tabla 72:** Catálogo de Fallas de equipos SCOOP R1600G (2018 al 2020)

CATALOGO DE FALLAS SCOOP R1600G			
Sistema	Subcomponentes	Sistema	Subcomponentes
Chasis	Cabina	Implementos	Bucket (Cuchara)
	Otros (Chasis)		Cilindro de levante izq.
Dirección	Pines, bocinas, rotulas		Cilindro de vuelco/inclinación
Eléctrico de carga	Cables / puentes		Mangueras, cañerías, conectores (Implementos)
	Faja alternador		Otros (Implementos)
Eléctrico luces accesorias	Cláxon, alarma de retroceso, luz estroboscópica	Llantas	Llanta delantera izq.
	Luces delanteras	Motor diésel	Radiador / Intercooler
	Luces laterales der.	Transmisión	Otros (Transmisión)
	Otros (Luces / accesorios)		Sensores transmisión
			Tarjeta electrónica de transmisión

Elaboración propia.

De la tabla 4.52 los costos de mantenimiento se han visto reflejados con un ahorro de \$ 4219.15 dólares americanos con respecto al año 2018-2019, esto se debe a la inclusión de los 7 subcomponentes críticos encontrados al mantenimiento preventivo en el periodo del 2018-2019 etapa de evaluación del proyecto, de la tabla 4.52 se observa que los costos por mantenimiento correctivo no programado se han reducido y se evidencia un incremento de los costos por mantenimiento correctivo programado lo que evidencia que estos componentes pasarían a ser parte del mantenimiento preventivo.

De la tabla 4.53 el número de ordenes de trabajo por mantenimiento se ha reducido en un 4% con respecto a las órdenes de trabajo del periodo de evaluación 2018-2019, esto es muy favorable en la reducción de costos y mejora de la confiabilidad ya que los equipos en su proceso de envejecimiento al paso del tiempo se generan más desgaste y aparecen



nuevas fallas por lo que la tendencia es mayor creación de ordenes de trabajo, sin embargo sucedió todo lo contrario por lo que se corrobora que la implementación de un catálogo de fallas mejora el mantenimiento preventivo de los equipos.

#### **4.9 DISCUSIÓN**

En la tesis de Avalos y Ávila, 2019 se realiza un estudio de tres equipos pesados de la comunidad Ango Raju, Huaraz-2018 donde se concluyó que el mantenimiento preventivo influye directamente en la confiabilidad de acuerdo a la T Student calculada, en dicho análisis se usó los indicadores Kpi's como herramienta; en el presente proyecto se aplicó esta herramienta para la selección de los equipos más críticos según estudio realizado del 2018 al 2019; complementamos con el análisis de los componentes más críticos usando la herramienta AMEF y proyectamos la vida útil óptima de los componentes críticos con la distribución Weibull para incluirlo en un mantenimiento preventivo adecuado, de esta manera demostramos que la lista de estos subcomponentes representan un catálogo de fallas que al ser medidas y optimizadas mejoran el mantenimiento preventivo de los equipos pesados.

Los equipos pesados, con el paso del tiempo y con su operación envejecen, una manera de controlar las fallas de los subcomponentes en este proceso es con el uso del catálogo de fallas de los diferentes sistemas y subcomponentes que tiene los equipos pesados, las herramientas para la medición es la metodología RCM y la distribución Weibull; los subcomponentes están sujetos en su mayoría al tipo de operación y condiciones del medio de trabajo, con las metodologías descritas líneas arriba se logra optimizar de una manera óptima, esto nos demuestra que la confiabilidad es mejorada, se optimizan los costos de mantenimiento y se optimiza las ordenes de trabajo más planificado como carga laboral.



## V. CONCLUSIONES

- Se ha realizado la implementación de un catálogo de fallas que nos permitió cuantificar la criticidad de los subcomponentes de los equipos Jumbo DD321, Robolt DS311 y Scoop R1600G en el proyecto subterráneo Yanacocha.
- Se ha identificado la criticidad de los subcomponentes mediante la metodología RCM y la cuantificación de su vida útil con la metodología Weibull.
- Utilizando los parámetros de la metodología Weibull, se ha establecido intervalos de mantenimiento preventivo a una frecuencia de 30, 22, 50, 20, 25, 20 y 149 horas de trabajo para los 7 subcomponentes críticos encontrados mientras se realiza un rediseño en su fabricación.
- Se ha validado la aplicación de confiabilidad de los subcomponentes más críticos mediante la distribución t de student.
- Se ha demostrado un ahorro significativo en costos de mantenimiento y generación de órdenes de trabajo en el proyecto de exploración subterránea Yanacocha.
- Se ha demostrado mejorar el cambio oportuno de los subcomponentes de los equipos pesados en los mantenimientos preventivos.
- Se logró reducir la carga laboral por falla de los equipos pesados.



## VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente proyecto podemos recomendar las acciones de mantenimiento preventivo y/o correctivo, así como acciones de rediseño para los elementos crítico de los equipos Jumbo DD321, Robolt DS311 y Scoop R1600G del presente proyecto de exploración Yanacocha para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Se recomienda tener en cuenta las condiciones del medio y operación de los equipos para la cuantificación de la vida útil de los subcomponentes como variables condicionantes en el análisis.

Se recomienda a los egresados continuar con la línea de investigación implementando investigaciones referentes a los inventarios de almacén como condicionantes de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos

Se recomienda tomar en cuenta para una línea de investigación futura que los paquetes de mangueras hidráulicas se desgastan en los bordes por rozamiento y su desgaste es menor en las zonas internas por el fenómeno de vibración por lo que las frecuencias de cambio son intermitente no bien definido.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade-Solórzano, C. L., & Herrera-Suárez, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8), 2–18. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>
- Aurora Rodriguez Gueorguieva. (2009). *Comparación del hábito de consumo de Azúcares Extrínsecos registrados en el diario Dietético inicial y de control a niños de 6 años atendidos por alumnos de pregrado en la clínica Estomatológica central de la universidad peruana Cayetano Heredia en el año 2009*. 109. <http://www.cop.org.pe/bib/tesis/AURORARODRIGUEZGUEORGUIEVA.pdf>
- Avalos Medina, F., & Avila Davila, C. A. (2019). Aplicación del mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de la maquinaria pesada. Empresa comunidad campesina Ango Raju. Huaraz. 2018. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/38465>
- Bolter, E., & Set, S. (n.d.). *Bolter* 99. [http://www.resemin.com/index.php?route=product/product&product\\_id=76](http://www.resemin.com/index.php?route=product/product&product_id=76)
- BSG Institute. (2022). *Los 8 Pilares del TPM*. Los 8 Pilares Del TPM. <https://bsginstitute.com/bs-campus/blog/los-8-pilares-del-tpm-1134>
- Cordova Vargas, A., Lenin, R., & De la Cruz, T. (2019). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras en una empresa de Alquiler de Maquinaria Pesada. In *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <http://hdl.handle.net/10757/626483>



- Cruz Huayhua, M., & León Sánchez, J. (2018). Análisis y propuesta de mejora para la reducción de los fallos del proceso de mantenimiento preventivo aplicando la metodología six sigma - caso MAQUINARIAS S.A. [Pontificia Universidad Católica del Perú]. In *Tesis.Pucp.Edu.Pe.*  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13231>
- Grupo ORS, C. E. E. (2022). *¿Cuál es el nivel de madurez del mantenimiento que aplica en su industria? | Grupo ORS.* <https://grupoor.com.mx/2021/04/29/cual-es-el-nivel-de-madurez-del-mantenimiento-que-aplica-en-su-industria/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014, April 14). *Metodologia de la investigacion.* <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Higuita Durán, A., Muriel Echeverry, O. A., & Parra Posada, V. H. (2012). *Implementación de TPM para mantenimiento de maquinaria pesada.*  
<http://repositorio.pascualbravo.edu.co:8080/jspui/handle/pascualbravo/334>
- Huamaní Díaz, F. V. (2020). *Propuesta de mejora empleando SLP para incrementar la productividad en una empresa dedicada al mantenimiento de maquinaria de planta.*  
<http://repositorio.uarm.edu.pe/handle/20.500.12833/2151>
- Illanes Sotomayor, A., & Manuel Quispe Apaza, J. (2022). “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para la concentradora depósitos Lixiviables del asiento minero Toquepala - Ilabaya - Tacna.” *Tesis*, 1–168.  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza\\_Mamani\\_Joel\\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



- John Moubray - Predictiva21. (n.d.). *RCM II: Reliability Centered Maintenance - John Moubray - Predictiva21*. Retrieved September 27, 2021, from <https://predictiva21.com/libro-rcm-moubray/>
- Luna, A. C., Moisés, M. C., Herrera, M., Carlos, M. I. A., Cid De León, V., Salvador, M. C., & González, M. (2017). Aplicación de la metodología actualización (RCMBACKFIT RCM) para maquinaria utilizada en procesos de enseñanza aprendizaje en estudiantes universitarios. *Revista de La Ingeniería Industrial*, 11(1), 22–28.
- Mago Ramos, M. G., Perea Lozano, B. Y., & López Suárez, H. N. (2020). Implementación de mantenimiento preventivo y predictivo a los equipos del proceso de producción en la empresa EQUIACEROS SAS. *Ingenio Libre*, 8(18). <https://doi.org/10.18041/2322-8415/ingelibre.2020.v8n18.7012>
- Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, & María del Pilar Baptista Lucio. (2014). Metodología de la investigación. In S. A. D. C. V. INTERAMERICANA EDITORES (Ed.), *Metodología de la investigación* (6 Edición, p. 634). MCGRAW-HILL. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Suarez Guerra, B., & Yessica, T. B. (2020). Habilidades sociales en estudiantes varones y mujeres del nivel secundario en una institución educativa del Cercado de Lima, 2019. *Universidad Peruana Los Andes*.
- Tavares, L. (1999). Administración Moderna de Mantenimiento Lourival Augusto Tavares. *Novo Polo Publication-Brasil*, 119–132.





<http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36832965/Libro-administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1498626147&Signature=%2FdQQQAPigrDqbmh97oJb5PtITKA%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DL>

Viña Miranda, C. (2019). *Aplicación de Jack Knife y Análisis de Causa Raíz de una Flota de Palas Electromecánicas Modelo Caterpillar 7495hr de Capacidad 120 Ton.*  
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8897>

Wang, R., Chen, G., & Liang, N. (2020, August 1). Preventive maintenance optimization for large-scale systems under life cycle cost. *2020 Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, APARM 2020.*  
<https://doi.org/10.1109/APARM49247.2020.9209465>

## ANEXOS

**Figura 01:** Mangueras, cañerías, conectores (Implementos) “Jumbo DD321”



**Figura 02:** Mangueras, cañerías, conectores hidráulicos “Jumbo DD321”



**Figura 03:** Eje central “ROBOLT DS311”



**Figura 04:** Martillo hidráulico “ROBOLT DS311”



**Figura 05:** Mangueras, cañerías, conectores (Dirección) “SCOOP R1600G”



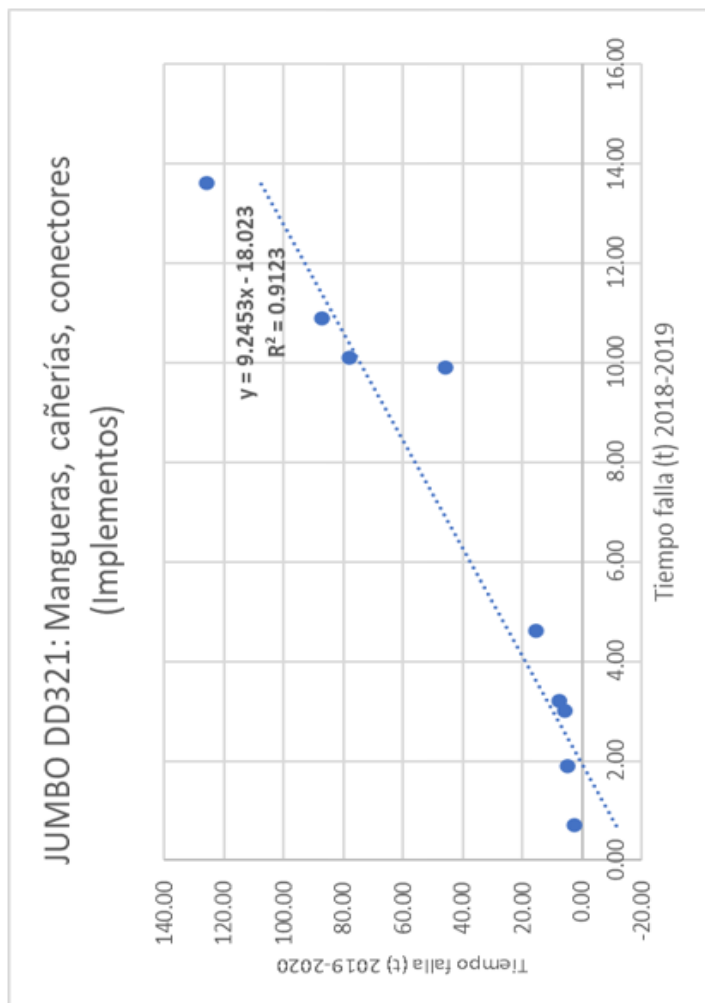
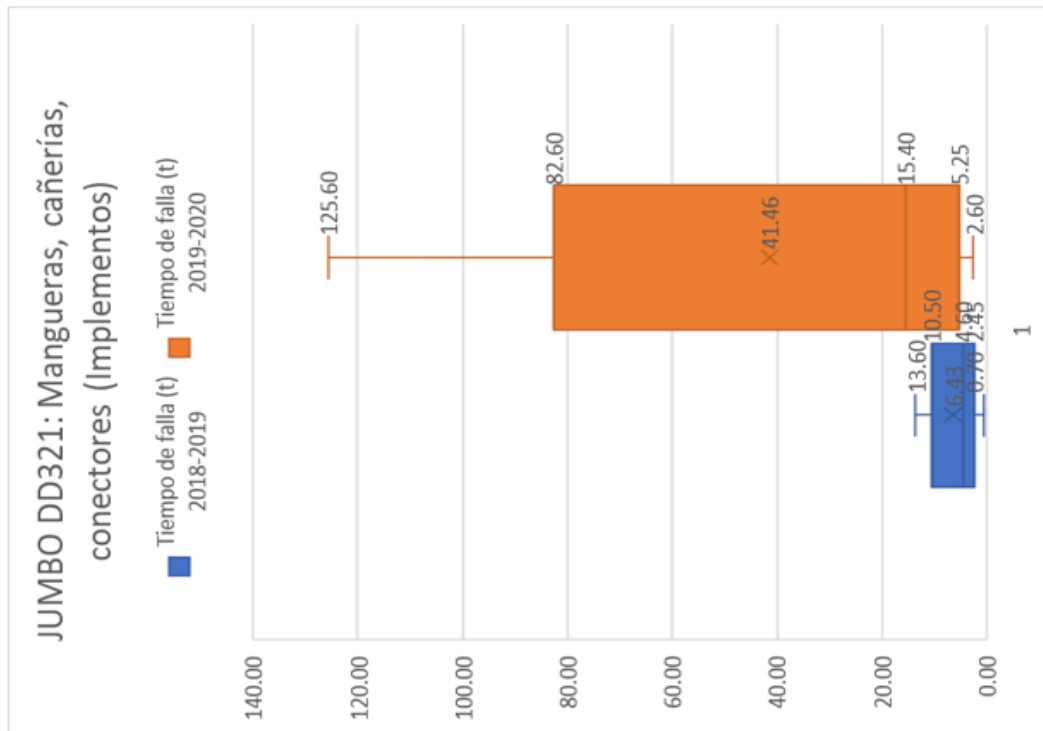
**Figura 06:** Cuchara “SCOOP R1600G “



**Figura 07:** Boca mina Nv 3750 Underground Chaquicocha



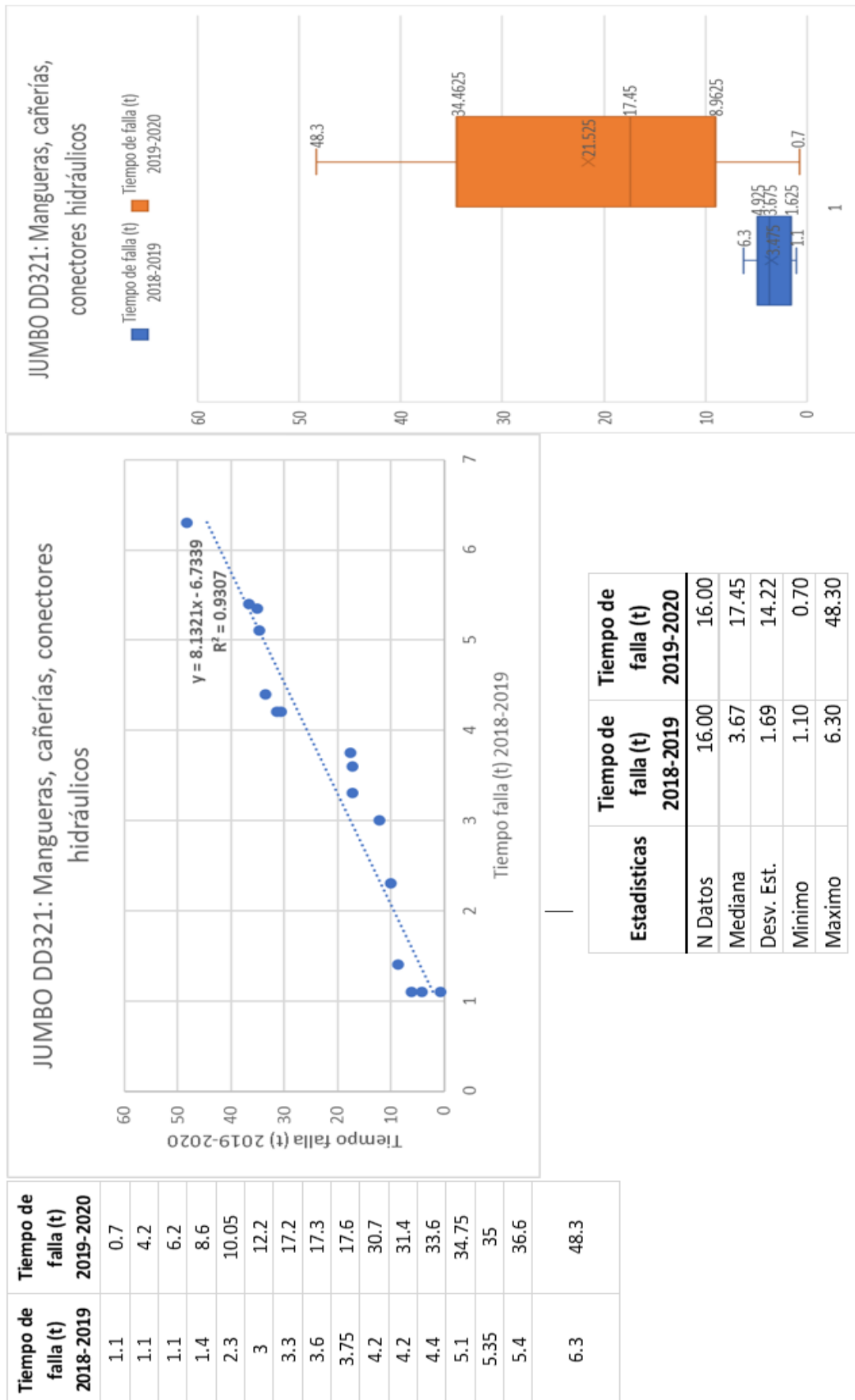
**Figura 08:** Diagrama de dispersión y caja bigotes JUMBO DD321



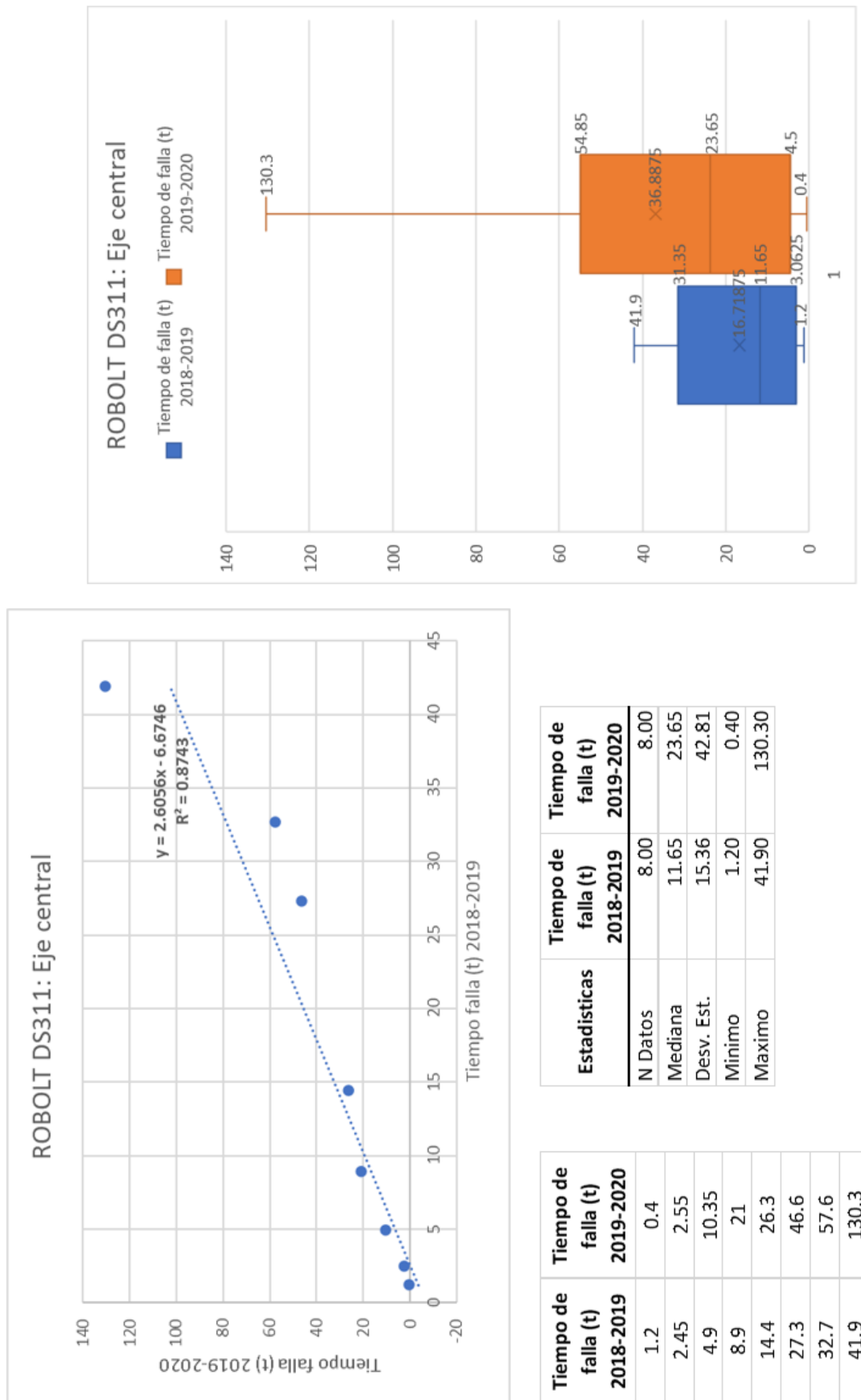
Year	0.70	1.90	3.00	3.20	4.60	9.90	10.10	10.90	13.60
Tiempo de falla (t) 2018-2019									
Tiempo de falla (t) 2019-2020	2.60	4.80	5.70	7.80	15.40	46.00	78.10	87.10	125.60

Estadísticas	Tiempo de falla (t)	
	2018-2019	2019-2020
N Datos	9.00	9.00
Mediana	4.60	15.40
Desv. Est.	4.69	45.37
Minimo	0.70	2.60
Maximo	13.60	125.60

**Figura 09:** Diagrama de dispersión y caja bigotes JUMBO DD321

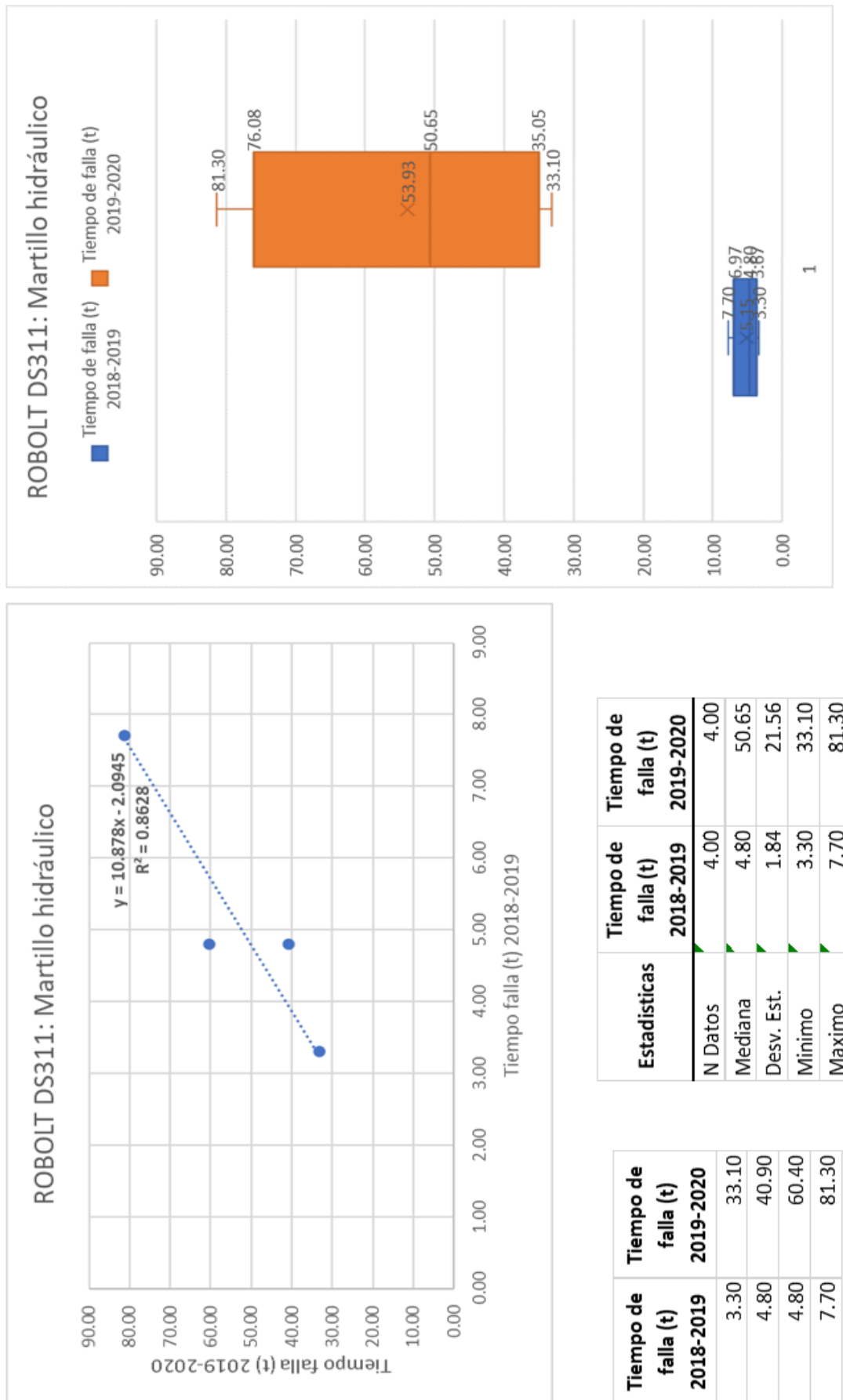


**Figura 10:** Diagrama de dispersión y caja bigotes ROBOT DS311

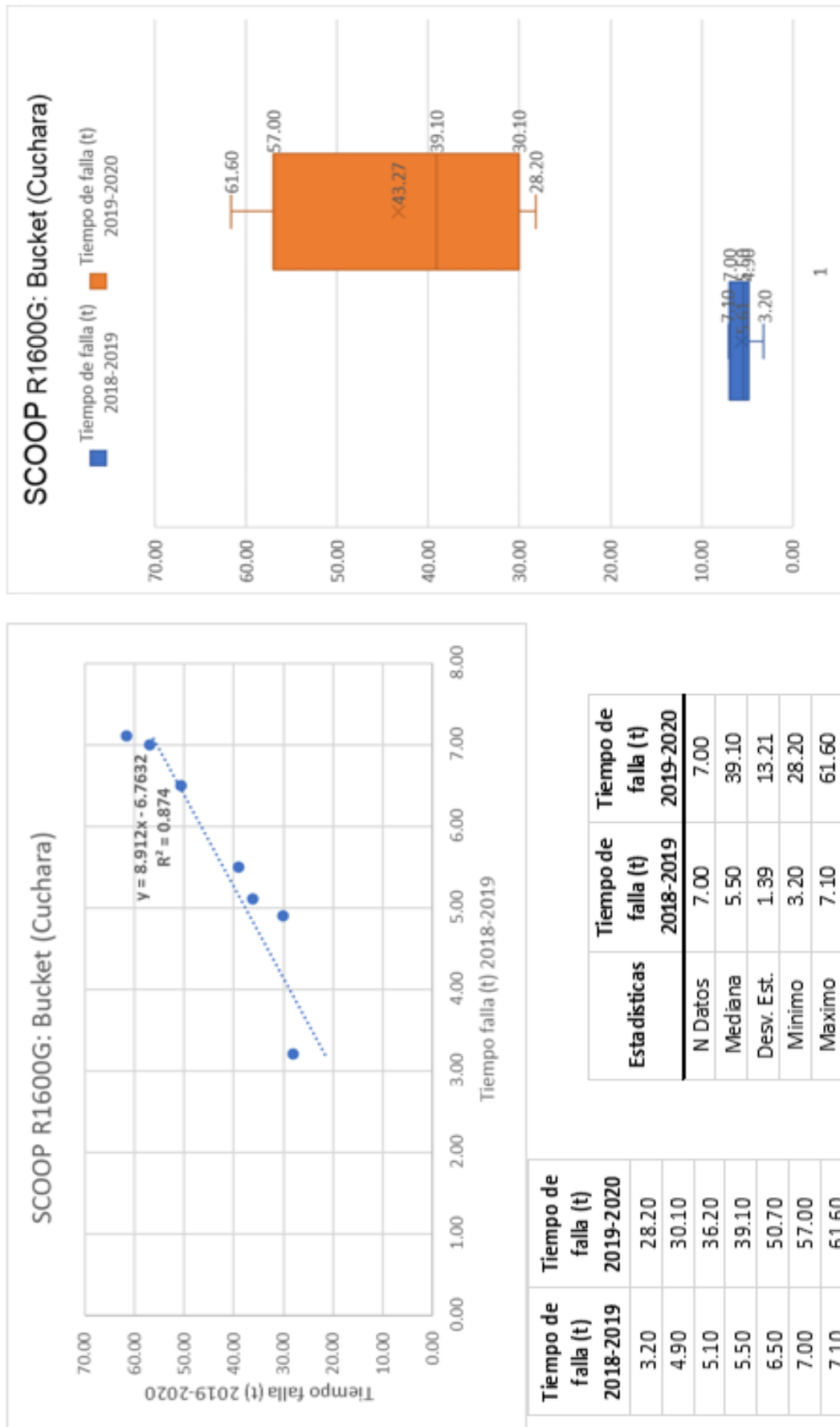




**Figura 11:** Diagrama de dispersión y caja bigotes ROBOT DS311



**Figura 12:** Diagrama de dispersión y caja bigotes SCOOP R1600G





## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Wilber Huanillocta Ayque,  
identificado con DNI 42458478 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

" Implementación de un catálogo de fallas para mejorar el  
mantenimiento preventivo en equipos pesados del proyecto de exploración  
subterránea de la unidad minera Yanacocha - 2020 "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de Junio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Wilber Huarillocla Ayque,  
identificado con DNI 42458478 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Mecánica Eléctrica,

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Implementación de un catálogo de fallas para mejorar el mantenimiento preventivo en equipos pesados del proyecto de exploración subterránea de la Unidad Minera Yanacocha - 2020 ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de Junio del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella