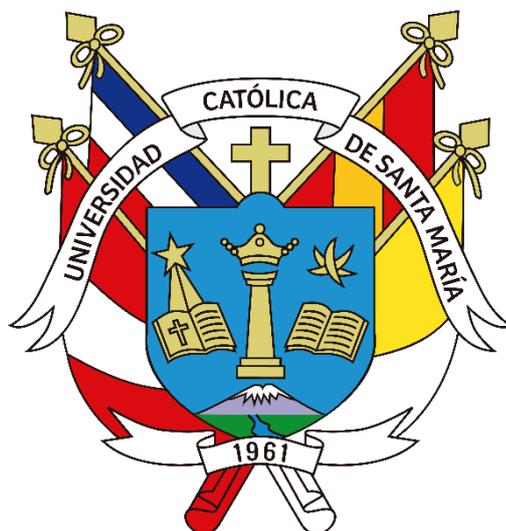


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica Y Mecatrónica**



**“APLICACIÓN, ANÁLISIS Y ESTUDIO DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE PALAS ELÉCTRICAS PH 4100XPC EN COMPAÑÍA MINERA EN REGIÓN APURÍMAC”**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Enriquez Calisaya, Luis Alonso**

Para optar el Título Profesional de

**Ingeniero Mecánico Electricista**

Asesor:

**Dr. Siles Nates Fernando D.**

**Arequipa – Perú**

**2023**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 20 de Diciembre del 2022

**Dictamen: 004376-C-EPIMEM-2022**

Visto el borrador del expediente 004376, presentado por:

**2007224181 - ENRIQUEZ CALISAYA LUIS ALONSO**

Titulado:

**APLICACION, ANALISIS Y ESTUDIO DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO EN LA GESTION DE MANTENIMIENTO DE PALAS ELECTRICAS PH 4100XPC EN COMPAÑIA MINERA EN REGION APURIMAC**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1733 - VALENCIA SALAS MARIO JOSE**  
**DICTAMINADOR**



**2396 - CACERES NUÑEZ AUGUSTO EMILIO CARLOS**  
**DICTAMINADOR**



**2398 - RIVERA ACOSTA VICTOR GONZALO**  
**DICTAMINADOR**



### Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Luis y Delia, quienes han sido las guías en cada una de mis experiencias de vida, a mi hermano Rodrigo, mi compañero y amigo en muchas aventuras, a mi esposa Fiorela, mi apoyo, ejemplo y fortaleza en este y cada uno de mis logros; y principalmente a Dios, incondicional compañero, amigo, padre y creador, que me regala día a día la oportunidad de ser mejor.

Luis Alonso Enríquez Calisaya.



## Resumen

En la actualidad, el Perú se encuentra entre los más grandes productores de cobre en el mundo. Por lo tanto, en la extracción de esta materia prima, en gran minería, se requiere que la disponibilidad de los equipos de carguío sea la más alta posible.

Para esta tesis se tomó como referencia una Compañía Minera ubicada en la región de Apurímac, donde su gestión de mantenimiento se realiza de manera convencional, es decir, interviniendo el equipo o tomando datos cuando se detienen para mantenimiento o por alguna avería, lo que nos da por resultado tener pocas oportunidades para monitorear el equipo o tomar datos para predecir sus fallas. La disponibilidad se ve afectada por estas tareas, sin embargo, no se puede anticipar todas las fallas debido a que este monitoreo aplicado periódicamente, deja espacio a las averías que surgen en periodos más cortos a los de la inspección de la máquina. Ante esta necesidad de tener un monitoreo continuo y sin detener el equipo, nace el monitoreo remoto en tiempo real, el cual nos permite visualizar parámetros de temperatura, presión, voltaje, corriente, etc. sin detener el equipo y desde cualquier parte del mundo.

Dentro de los equipos de carguío que tiene la mina en referencia, el equipo más crítico es la Pala Eléctrica P&H4100XPC, el cual tiene un costo de parada de equipo de 12,000 \$/Hr, por lo que en este equipo se demostrara el impacto en disponibilidad y beneficio económico que tiene la aplicación de esta herramienta de monitoreo remoto en tiempo real.

Para lograr una correcta aplicación y lograr el mayor beneficio, se desarrolló una metodología de aplicación de esta herramienta, paso a paso para determinar los casos críticos y de mayor impacto económico. se realizó esta demostración analizando técnicamente tres casos de estudio de sistemas críticos de la Pala Eléctrica P&H4100XPC, en los cuales se ha logrado obtener un costo evitado promedio mayor a \$ 470,000 dólares por cada caso.

También se evidencia la mejora en disponibilidad mayor a 1% anual en tres palas Eléctricas P&H 4100XPC, y por lo tanto se demuestra el beneficio económico general del sistema en dos años de funcionamiento en tres palas eléctricas mayor a un millón de dólares al final del periodo 2020.

Finalmente, se plantea la implementación continua de esta herramienta de monitoreo remoto por el personal de monitoreo de condición en la minera y la inserción de formatos con hallazgos encontrados en las cartillas que se ejecutan en cada mantenimiento programado.

**Palabras Clave:** Monitoreo Remoto, tiempo real, mantenimiento predictivo, disponibilidad.

## Abstract

Nowadays, the mining industry in Peru is booming, having among its mining companies, the biggest copper producers in the world. Therefore, in the extraction of this raw material, in large mining, it is required that the availability of the loading equipment is as high as it can be.

For this thesis was taken as a reference a mining company located in Apurímac, where its maintenance management is done in a conventional way, intervening the equipment, or taking data when they stop for maintenance or for some breakdown, which results in having few opportunities to monitor the equipment or take data to predict their failures. Availability is affected by these tasks; however, it's impossible to anticipate all failures because this periodically applied monitoring leaves room for failures that arise in periods shorter than those of machine inspection. Faced with this need for continuous monitoring without stopping the equipment, remote monitoring in real time is born, which allows us to visualize parameters of temperature, pressure, voltage, current, etc. without stopping the equipment and from anywhere in the world.

Within the loading equipment of the mine in reference, the most critical equipment is the Electric Shovel P&H4100XPC, which has an equipment shutdown cost of 12,000 \$/Hr, so this equipment will demonstrate the impact on availability and economic benefit that has the application of this remote monitoring tool in real time.

To achieve a correct application and achieve the greatest benefit, a step-by-step methodology was developed to determine the critical cases with the greatest economic impact. This demonstration was carried out by technically analyzing three case studies of critical systems of the P&H4100XPC Electric Shovel, in which an average avoided cost of more than \$ 470,000 dollars has been obtained for each case.

It is also evidenced the improvement in availability greater than 1% per year in three P&H 4100XPC Electric Shovels, and therefore demonstrates the overall economic benefit of the system in two years of operation in three electric shovels greater than one million dollars at the end of the 2020 period.

Finally, it is proposed the continuous implementation of this remote monitoring tool by the condition monitoring personnel in the mining company and the insertion of formats with findings found in the primers that are executed in each scheduled maintenance.

**Key words:** Remote monitoring, real time, predictive maintenance, availability

## Índice

<b>Resumen</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>18</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>18</b>
1.1. Enunciado de la Investigación .....	18
1.2. Interrogante del Problema .....	18
1.2.1. Interrogante principal.....	18
1.2.2. Interrogantes específicas.....	18
1.3. Objetivo General.....	18
1.4. Objetivos Específicos .....	18
1.5. Justificación del Proyecto.....	19
1.5.1. Justificación académica .....	19
1.5.2. Justificación económica.....	19
1.5.3. Justificación social.....	19
1.5.4. Justificación ética.....	19
1.5.5. Justificación del área de Mantenimiento .....	19
1.6. Descripción del Problema.....	19
1.7. Alcance del Proyecto .....	20
1.8. Áreas del Conocimiento de acuerdo con la OCDE .....	20
1.8.1. Área.....	20
1.8.2. Subárea.....	20
1.8.3. Línea de investigación .....	20
1.9. Hipótesis .....	20

1.10.	Variables de la Investigación.....	21
1.10.1.	Variables independientes .....	21
1.10.2.	Variables dependientes .....	21
1.10.3.	Limitaciones de la Investigación .....	21
<b>Capítulo II.....</b>		<b>23</b>
<b>2.</b>	<b>Antecedentes y Marco Teórico .....</b>	<b>23</b>
2.1.	Palas eléctricas.....	23
2.1.1.	Minería de Superficie.....	23
2.1.2.	Tecnología en minería de superficie.....	24
2.1.3.	Tipo de palas eléctricas según su fuente de alimentación. ....	25
2.1.4.	Descripción de funcionamiento de una pala. ....	25
2.1.5.	Sistema de Levante .....	28
2.1.5.1	Caja de engranajes de Levante. ....	29
2.1.5.2	Sistema de lubricación de la caja de engranajes de Levante.....	30
2.1.5.3	Bomba de lubricación de levante. ....	31
2.1.5.4	Motor y ventilador de levante. ....	32
2.1.6.	Sistema de Empuje.....	33
2.1.7.	Sistema de Propel.....	35
2.1.8.	Sistema de Swing.....	36
2.1.8.1	Descripción del motor de giro. ....	37
2.1.8.2	Descripción del eje de giro.....	38
2.1.9.	Sistema de Frenos .....	39
2.1.9.1	Frenos de disco.....	39

2.1.9.2	Activación del sistema de freno .....	41
2.1.10.	Sistema de control Centurión.....	43
2.1.11.	Ventajas y desventajas de una pala eléctrica .....	46
2.2.	Mantenimiento.....	47
2.2.1.	Tipos de mantenimiento.....	47
2.2.1.1	Mantenimiento correctivo. ....	47
2.2.1.2	Mantenimiento preventivo. ....	47
2.2.1.3	Mantenimiento predictivo. ....	47
2.2.2.	Monitoreo remoto de condiciones .....	47
2.2.3.	Aplicación de monitoreo remoto de condiciones en la industria.....	48
2.2.4.	Indicadores de la gestión de mantenimiento de palas 4100XPC .....	49
2.2.4.1	Disponibilidad. ....	50
2.2.4.2	Disponibilidad mecánica. ....	50
2.2.4.3	Disponibilidad física u operacional.....	50
2.2.4.4	Tiempo promedio entre reparaciones .....	50
2.2.4.5	Tiempo promedio entre fallas .....	51
2.2.5.	Análisis de Indicadores y Resultados .....	51
2.2.5.1	Teorías de gestión de mantenimiento respectos a las tecnologías de mantenimiento remoto .....	51
<b>Capítulo III .....</b>		<b>53</b>
<b>3.</b>	<b>Sistema de Monitoreo Remoto.....</b>	<b>53</b>
3.1.	Sistema de Monitoreo Remoto .....	53

3.1.1.	Teoría del funcionamiento del sistema de monitoreo .....	54
3.1.2.	Descripción General de plataforma PreVail .....	55
3.1.3.	Advertencias de Subsistemas.....	56
3.1.4.	Pantalla de prácticas operativas .....	57
3.1.5.	Uso en la minería .....	58
3.1.6.	Reportabilidad del sistema de monitoreo.....	59
3.1.7.	Visualización de señales en tiempo real .....	62
3.1.8.	Datalogger: Phoenix .....	66
3.1.9.	Módem.....	66
3.1.10.	Antena Omnidireccional.....	67
3.1.11.	Booster (repetidor de datos).....	67
3.1.12.	Router (para dar la IP de datos de comunicación).....	68
<b>Capítulo IV</b>	<b>.....</b>	<b>70</b>
<b>4.</b>	<b>Casos de Estudio - Aplicación de RHM en la Gestión de Mantenimiento.....</b>	<b>70</b>
4.1.	Metodología de implementación de análisis de casos .....	70
4.1.1.	Análisis de criticidad .....	70
4.1.1.1	Análisis de criticidad de los equipos de carguío .....	70
4.1.1.2	Análisis de criticidad de los sistemas de la pala P&H 4100 XPC.....	72
4.1.2.	Ubicación por sistemas, subsistemas y componentes del equipo .....	74
4.1.3.	Modo de falla y efecto de falla .....	74
4.1.4.	Monitoreo de Falla.....	74
4.1.5.	Análisis de datos encontrados.....	74
4.1.6.	Solución de Falla .....	75
4.2.	Caso de Estudio 1: Sistema de Frenos de Aire de Sistema de Giro .....	75

4.2.1.	Análisis de criticidad .....	75
4.2.2.	Ubicación por sistemas, subsistemas y componentes del equipo .....	75
4.2.3.	Modo de falla y efecto de falla .....	76
4.2.4.	Monitoreo remoto de falla .....	77
4.2.5.	Análisis de datos encontrados.....	79
4.2.6.	Solución al modo de falla .....	80
4.3.	Caso de Estudio 2: Lubricación de Sistema de Levante.....	80
4.3.1.	Análisis de Criticidad.....	80
4.3.2.	Ubicación por sistemas, subsistemas y componentes del equipo .....	80
4.3.3.	Modo de falla y efecto de falla .....	81
4.3.4.	Monitoreo remoto de falla .....	82
4.3.5.	Análisis de datos encontrados.....	83
4.3.6.	Solución al modo de falla .....	84
4.4.	Caso de Estudio 3: Sobre temperatura en motor de Empuje .....	85
4.4.1.	Análisis de Criticidad.....	85
4.4.2.	Ubicación por sistemas, subsistemas y componentes del equipo .....	85
4.4.3.	Modo de falla y efecto de falla .....	85
4.4.4.	Monitoreo remoto de falla .....	87
4.4.5.	Análisis de datos encontrados.....	89
4.4.6.	Solución al modo de falla .....	90
<b>Capítulo V</b>	.....	<b>92</b>
<b>5.</b>	<b>Implementación y Resultados .....</b>	<b>92</b>
5.1.	Gestión de Implementación Sistema de Monitorio Remoto.....	92
5.2.	Resultados en Disponibilidad, MTBF y MTTR de los Años 2018 a 2020	93

5.2.1.	Disponibilidad.....	94
5.2.2.	MTBF Y MTTR.....	96
5.3.	Aplicación del Monitoreo Remoto en la Gestión de Mantenimiento .....	100
5.3.1.	Análisis del rendimiento de los sistemas mineros .....	100
5.3.2.	Monitoreo remoto de salud y soporte técnico.....	100
5.3.3.	Servicio de administración de activos .....	100
5.3.4.	Entrenamiento de mantenimiento y entrenamiento del ingeniero .....	101
5.4.	Resultados Económicos de los Casos de Estudio Analizados .....	101
5.4.1.	Costos evitados .....	101
5.4.2.	Caso de estudio 1: Sistema de Frenos de Aire de Sistema de Giro ...	101
5.4.3.	Caso de estudio 2: Lubricación de Sistema de Levante.....	102
5.4.4.	Caso de estudio 3: Sobre temperatura en motor de Empuje .....	102
5.5.	Beneficio Económico General.....	103
Conclusiones .....		104
Recomendaciones.....		104
<b>Referencias.....</b>		<b>105</b>
<b>Anexos .....</b>		<b>109</b>

### Lista de figuras

Figura 1 <i>Configuración tipo Mesh</i> .....	22
Figura 2 <i>Componentes externos de una pala eléctrica 4100XPC</i> .....	23
Figura 3 <i>Explotación mineral superficial</i> .....	24
Figura 4 <i>Pala 4100XPC plano de cubierta</i> .....	26
Figura 5 <i>Funcionamiento de una pala eléctrica 4100XPC</i> .....	27
Figura 6 <i>Fuerzas de excavación de una pala eléctrica</i> .....	28
Figura 7 <i>Sistema de Levante</i> .....	29
Figura 8 <i>Caja de engranajes de Levante</i> .....	30
Figura 9 <i>Esquema del sistema de lubricación de Levante</i> .....	31
Figura 10 <i>Conjunto de la bomba</i> .....	32
Figura 11 <i>Motor y ventilador de levante</i> .....	32
Figura 12 <i>Partes del ventilador de levante</i> .....	33
Figura 13 <i>Componentes del sistema de empuje</i> .....	34
Figura 14 <i>Chasis inferior</i> .....	36
Figura 15 <i>Mecanismo del sistema de giro</i> .....	37
Figura 16 <i>Motor de giro</i> .....	38
Figura 17 <i>Eje de giro</i> .....	39
Figura 18 <i>Freno de disco típico</i> .....	40
Figura 19 <i>Componentes del freno típico</i> .....	41
Figura 20 <i>Freno de levante</i> .....	42
Figura 21 <i>Partes del freno de aire</i> .....	43
Figura 22 <i>Frenos de aire liberados</i> .....	43
Figura 23 <i>Pantalla Centurión en cabina del operador</i> .....	44

Figura 24 <i>Pantalla Centurión en sala de control</i> .....	44
Figura 25 <i>Pantallas de operación</i> .....	45
Figura 26 <i>Pantalla Login de configuración</i> .....	46
Figura 27 <i>Impacto de falla vs Funcionamiento y fiabilidad de acuerdo con el tipo de mantenimiento, ABB MyRemote Care</i> .....	48
Figura 28 <i>Comparación del tiempo de mantenimiento, ABB MyRemote Care</i> .....	49
Figura 29 <i>Cuadro de criterios evolución del mantenimiento</i> .....	52
Figura 30 <i>Concepto de registrador de datos</i> .....	53
Figura 31 <i>Kit de conectividad 3G</i> .....	54
Figura 32 <i>Menú de PreVail monitoreo remoto</i> .....	55
Figura 33 <i>Tabla general de plataforma PreVail</i> .....	56
Figura 34 <i>Advertencias de subsistema PreVail</i> .....	57
Figura 35 <i>Cuadro de prácticas operativas PreVail</i> .....	58
Figura 36 <i>Monitoreo remoto de operaciones en la minera Antamina</i> .....	59
Figura 37 <i>Cuadro de listado de reportes</i> .....	62
Figura 38 <i>Plataforma Grafana, monitoreo en tiempo real de palas</i> .....	63
Figura 39 <i>Panel de lubricante, aire y freno</i> .....	63
Figura 40 <i>Selección de operación minera y equipo en Grafana</i> .....	64
Figura 41 <i>Panel principal de Grafana</i> .....	65
Figura 42 <i>Rango de tiempo y tasas de actualización</i> .....	66
Figura 43 <i>Antena tipo mouse Tri Band</i> .....	67
Figura 44 <i>Booster de señal de 3g en pala eléctrica P&amp;H 4100XPC</i> .....	68
Figura 45 <i>Router uniendo tras redes</i> .....	68
Figura 46 <i>Router FL MGuard RS</i> .....	69

Figura 47 Cuadro de Matriz para análisis de criticidad de Equipos de Carguío .....	71
Figura 48 Cuadro de Selección de Palas a analizar.....	72
Figura 49 Cuadro de Criterios para análisis de criticidad de P&H 4100 XPC.....	73
Figura 50 Árbol de Sistemas de Pala 4100 XPC .....	74
Figura 51 Cuadro de ubicación de sistema de frenos de Giro .....	76
Figura 52 Grafana de activación de freno .....	77
Figura 53 Cuadro de tiempo de activación de freno.....	78
Figura 54 Visualización de frenos en tabla de la plataforma grafica Grafana.....	78
Figura 55 Tiempo de accionamiento de Frenos.....	79
Figura 56 Cuadro de ubicación de la bomba de lubricación de levante .....	81
Figura 57 Cuadro de criterios de severidad .....	81
Figura 58 Log de eventos Smart Service Report .....	82
Figura 59 Grafana de temperatura de aceite Levante .....	83
Figura 60 Corte de filtro de recirculación de transmisión de Levante .....	84
Figura 61 Cuadro de corte de ubicación de sistema de empuje .....	85
Figura 62 Advertencias del sistema remoto .....	86
Figura 63 Sistema de enfriamiento del sistema de empuje de una pala eléctrica .....	86
Figura 64 Motor de Blower en la sala de máquina de una pala 4100XPC.....	87
Figura 65 Temperatura de motor de Empuje campo .....	87
Figura 66 Temperatura de motor de Empuje .....	88
Figura 67 Temperatura de rodamiento de motor de Empuje.....	88
Figura 68 Listado de intervenciones al equipo por el evento presentado .....	90
Figura 69 Temperaturas limite en el motor de Empuje .....	90

Figura 70 <i>Valores de temperatura de seguimiento después del cambio el sentido de giro del blower</i> .....	91
Figura 71 <i>Flujo de proceso para la ejecución del servicio</i> .....	92
Figura 72 <i>Disponibilidad Palas 4100XPC-Año 2018</i> .....	94
Figura 73 <i>Disponibilidad 4100XPC-Año 2019</i> .....	95
Figura 74 <i>Disponibilidad 4100XPC- Año 2020</i> .....	95
Figura 75 <i>Comparación de Disponibilidad 2018 al 2020 - 4100XPC</i> .....	96
Figura 76 <i>MTBF Palas 4100XPC-Año 2018</i> .....	96
Figura 77 <i>MTBF Palas 4100XPC-Año 2019</i> .....	97
Figura 78 <i>MTBF Palas 4100XPC-Año 2020</i> .....	97
Figura 79 <i>Comparación de MTBF 2018 al 2020 - 4100XPC</i> .....	98
Figura 80 <i>MTTR Palas 4100XPC-Año 2018</i> .....	98
Figura 81 <i>MTTR Palas 4100XPC-Año 2019</i> .....	99
Figura 82 <i>MTTR Palas 4100XPC-Año 2020</i> .....	99
Figura 83 <i>Comparación de MTBF 2018 al 2020 - 4100XPC</i> .....	100
Figura 84 <i>Costo por hora de Producción de Equipo – Mina</i> .....	113
Figura 85 <i>Costo por hora de Producción de Equipo - Mina</i> .....	113
Figura 86 <i>Ficha de Especificaciones de la P&amp;H 4100 XPC SH003 – Parte 1</i> .....	114
Figura 87 <i>Ficha de Especificaciones de la P&amp;H 4100 XPC SH003 – Parte 2</i> .....	115
Figura 88 <i>Ficha de Especificaciones de la P&amp;H 4100 XPC SH004 – Parte 1</i> .....	116
Figura 89 <i>Ficha de Especificaciones de la P&amp;H 4100 XPC SH004 – Parte 2</i> .....	117
Figura 90 <i>Ficha de Especificaciones de la P&amp;H 4100 XPC SH005 – Parte 1</i> .....	118
Figura 91 <i>Ficha de Especificaciones de la P&amp;H 4100 XPC SH005 – Parte 2</i> .....	119
Figura 92 <i>OT de regulación de presión de frenos</i> .....	120

Figura 93 <i>OT de mantenimiento de cambio de contactor blower SH003</i> .....	122
Figura 94 <i>OT de mantenimiento de cambio de Fajas de motor de Empuje SH003</i> ...	123
Figura 95 <i>OT de mantenimiento de falla en Blower derecho SH003</i> .....	124
Figura 96 <i>OT de mantenimiento de falla en ventilador de SH003</i> .....	125
Figura 97 <i>OT de mantenimiento de Alineamiento de Motor Empuje SH003</i> .....	126
Figura 98 <i>OT de mantenimiento de Videoscopía transmisión de Empuje SH003</i> .....	127
Figura 99 <i>OT de mantenimiento de Cambio de motores de Blower SH003</i> .....	128
Figura 100 <i>OT de mantenimiento de monitoreo de temperatura de Motor Crowd</i> ...	129
Figura 101 <i>Notificación 2931 - SH003 - Alinear motor-faja de empuje</i> .....	131
Figura 102 <i>Sistema de empuje. Pala 4100XPC DC</i> .....	132
Figura 103 <i>Esquemático del sistema de frenos</i> .....	133

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Tipos de Servicio de Monitoreo ofrecida por el dealer del equipo.....	60
<b>Tabla 2</b> Detalle de actividades de Smart Solutions Joy Global. ....	61
<b>Tabla 3</b> Análisis de Criticidad de Equipos de Carguío. ....	72
<b>Tabla 4</b> Análisis de Criticidad de Sistemas de la Pala P&H 4100 XPC .....	74
<b>Tabla 5</b> Matriz de criticidad del sistema de aire .....	75
<b>Tabla 6</b> Matriz de criticidad del sistema de aire. ....	80
<b>Tabla 7</b> Matriz de criticidad del sistema de empuje.....	85
<b>Tabla 8</b> Costos evitados del monitoreo remoto de equipo en la pala SH003.....	110
<b>Tabla 9</b> Costos evitados del monitoreo remoto de equipo en la pala SH004.....	111
<b>Tabla 10</b> Costos evitados del monitoreo remoto de equipo en la pala SH005.....	112
<b>Tabla 11</b> Listado de OT generado del RHM por un año de periodo de prueba. ....	121
<b>Tabla 12</b> Gestión de Notificaciones abiertas y cerradas del RHM en equipos. ....	130
<b>Tabla 13</b> Árbol de Sistemas, subsistemas y componentes de P&H 4100 XPC .....	134

## Capítulo I

### 1. Introducción

#### 1.1. Enunciado de la Investigación

Aplicación, análisis y estudio de un sistema de monitoreo Remoto en la Gestión de Mantenimiento de Palas Eléctricas PH 4100XPC en Compañía Minera en Región Apurímac.

#### 1.2. Interrogante del Problema

La falta de desarrollo y aplicación de tecnología para analizar en tiempo real el funcionamiento de los componentes de los sistema mecánicos y eléctricos de una Pala Eléctrica 4100XPC.

##### 1.2.1. Interrogante principal

¿Es aplicable un sistema de monitoreo remoto en la gestión de mantenimiento de palas eléctricas P&H 4100XPC en una compañía minera en la Región Apurímac?

##### 1.2.2. Interrogantes específicas

¿Es posible aumentar la disponibilidad física de la pala eléctrica P&H 4100XPC en un punto porcentual, en un periodo de dos años como resultado de la aplicación del monitoreo remoto, y mantenerlo o mejorarlo en el año siguiente?

¿Es posible analizar tres casos de estudio en los que se demuestre un beneficio económico mayor a cien mil dólares en promedio por caso?

¿Es posible demostrar que el beneficio económico general puede ser mayor a cuatrocientos mil dólares en promedio por año?

¿Es posible demostrar que el costo de implementación versus el beneficio económico general justifica la implementación y aplicación del sistema en tres Palas P&H 4100XPC?

#### 1.3. Objetivo General

Aplicar un Sistema de Monitoreo Remoto en la Gestión de Mantenimiento de Palas Eléctricas P&H 4100XPC en una Compañía Minera en la Región Apurímac.

#### 1.4. Objetivos Específicos

- Aumentar la disponibilidad física de la pala eléctrica P&H 4100XPC en un punto porcentual, en un periodo de dos años como resultado de la aplicación del monitoreo remoto, y mantenerlo o mejorarlo en el año siguiente.
- Analizar tres casos de estudio en los que se demuestre un beneficio económico mayor a cien mil dólares en promedio por caso.

- Demostrar que el beneficio económico total de todos los casos encontrados, no solo los tres casos analizados en la tesis, puede ser mayor a cuatrocientos mil dólares en promedio por año.
- Demostrar que el costo de implementación versus el beneficio económico general justifica la implementación y aplicación del sistema en tres palas P&H 4100XPC.

## **1.5. Justificación del Proyecto**

### **1.5.1. Justificación académica**

El desarrollo de tecnologías de monitoreo remoto no aplicadas anteriormente en palas eléctrica 4100XPC en una gestión de mantenimiento en operaciones mineras.

### **1.5.2. Justificación económica**

El desarrollo de sistemas de monitoreo remoto disminuye los costos de mantenimiento correctivo al prevenir fallas potenciales, e incrementan la disponibilidad de los equipos, por ende, aumentan su producción y beneficio económico.

### **1.5.3. Justificación social**

El desarrollo de estas tecnologías permite la apertura de nuevos puestos de trabajos y contribuyen al incremento de conocimientos tecnológicos en el personal que trabaja en mina.

### **1.5.4. Justificación ética**

El desarrollo del monitorio remoto evita exposición continua de personal humano a una pala eléctrica en operación para monitoreo de condiciones disminuyendo riesgos laborales.

### **1.5.5. Justificación del área de Mantenimiento**

Como justificación de objetivos del área de mantenimiento se necesita lograr que a partir del año 2020 la disponibilidad física alcance la meta propuesta para cumplir las necesidades de producción, ya que los años 2018 y 2019 este estuvo por debajo del objetivo. En el año 2020 se tendrán otras palas eléctricas de este modelo, por lo que en el año 2019 se va implemento el sistema de monitoreo remoto el cual nos permite tener menos tiempo de mantenimiento correctivo, por ende, mayor disponibilidad y mejores KPI de mantenimiento.

Se toma en cuenta las de palas eléctricas P&H 4100XPC ya que tiene un costo de parada de equipo de 12000 \$/Hr, siendo este el costo más elevado entre los equipos que se tienen en mina.

## **1.6. Descripción del Problema**

No se tiene actualmente en las palas 4100XPC la tecnología y desarrollo de monitoreo remoto para prevenir fallas inesperadas de los equipos ni cómo hacer seguimiento en tiempo

real del funcionamiento de las palas. Este problema es medible ya que se puede cuantificar el dinero perdido por causa de mantenimiento correctivo; es solucionable, ya que en el proceso de desarrollo de esta tecnología se puede reprogramar los códigos y programas por los cuales se realiza este monitoreo automatizado.

Es flexible, ya que esta tecnología tiene múltiples soluciones a las fallas que se puedan presentar y también son mejoradas por los avances tecnológicos actuales y mejora continua de los sistemas de comunicación de internet. También es plausible porque es viable y recomendable económicamente para su realización y modificación constante dentro de las grandes mineras en el Perú.

### **1.7. Alcance del Proyecto**

“El alcance de proyecto consiste en delimitar un tema de estudio, significa, enfocar en términos concretos nuestra área de interés, especificar sus alcances, determinar sus límites. Es decir, llevar el problema de investigación de una situación o dificultad muy grande de difícil solución a una realidad concreta, fácil de manejar” (Chinchilla,2015)

El alcance de este proyecto de investigación cuantitativo es de naturaleza descriptiva, dado que se explica a lo largo del documento el impacto económico y detalles técnicos ocurridos durante los años 2019 y 2020 en la implementación de un sistema de monitoreo remoto en la gestión de mantenimiento de tres palas eléctricas P&H 4100XPC, en una unidad minera de cobre de explotación superficial en el departamento de Apurímac, Perú. Se analizarán tres casos emblemáticos para demostrar los beneficios del uso del sistema de monitoreo remoto.

### **1.8. Áreas del Conocimiento de acuerdo con la OCDE**

#### **1.8.1. Área**

Área de Ingeniería y Tecnología,

#### **1.8.2. Subárea**

Subárea Ingeniería Mecánica

#### **1.8.3. Línea de investigación**

Línea de Investigación de Ingeniería Mecánica

### **1.9. Hipótesis**

Dado que en la actualidad no existe un sistema de monitoreo remoto en la gestión de mantenimiento de las palas eléctricas en mina, si aplicamos este sistema remoto en tiempo real,

entonces si es posible mejorar la disponibilidad de una pala eléctrica para mejorar su productividad a través de monitoreo de condiciones de signos vitales del equipo.

### **1.10. Variables de la Investigación**

Según la relación causa efecto se distinguen dos tipos de variables, las independientes y dependientes.

#### **1.10.1. Variables independientes**

Son la causa de una relación entre nuestras variables, son la disponibilidad y el costo horario de parada del equipo.

#### **1.10.2. Variables dependientes**

Son el resultado o efecto producido por la variable independiente, que serían los costos evitados.

#### **1.10.3. Limitaciones de la Investigación**

Para desarrollar un sistema de monitoreo remoto dentro de una unidad minera se tiene que cumplir con una serie de requisitos, que se han ido corrigiendo o mejorando a través de los años, como son la falta de conectividad de internet dentro de mina, o acceso o a la red Mesh (red interna de mina), así como establecer una comunicación directa con el software del equipo. Ya que en otras unidades mineras en el sur del país esta tecnología no ha podía ser implementada por tener una red de conexión inalámbrica débil.

En la minera en análisis, en la cual se está implementando este sistema de monitoreo remoto, se tiene la restricción por la falta de conectividad ya que la información de los equipos en el sistema Prevail debería observarse en menos de unos segundos desde cualquier parte del mundo, pero debido a la poca señal de internet, la información se refleja en los software con un retraso de tres a cinco minutos, y cuando se pierde señal por alguna tormenta eléctrica u otro motivo de conectividad, la información puede demorar hasta treinta minutos en actualizarse en el sistema.

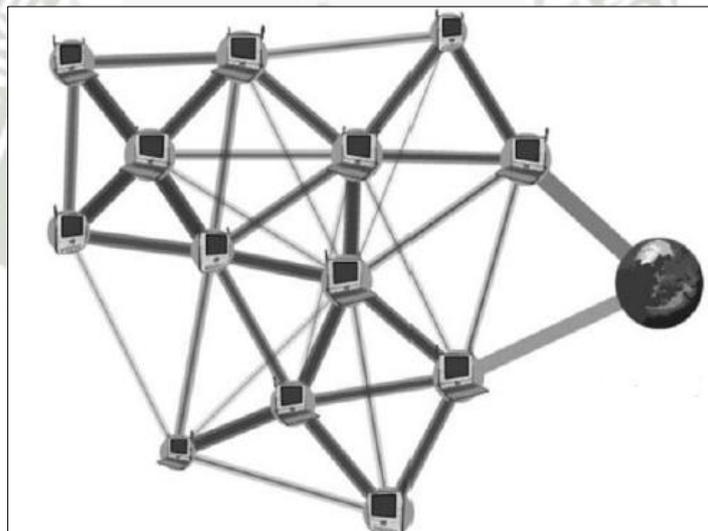
La tecnología para este sistema de monitoreo remoto está en constante desarrollo, aún no se cuenta con una tecnología que te permita tener una resolución de información por segundos bastante alta para poder determinar fallas eléctricas, ya que estas fallas ocurren en milésimas de segundo, es decir, se tiene limitado el análisis de fallas eléctricas, porque la resolución del sistema solo abarca máximo diez valores por segundo. La cantidad de datos por segundo obtenidos por el sistema no son aún los suficientes como para analizar algunos modos de falla de los sistemas eléctricos y electrónicos.

Red Mesh es un conjunto de dispositivos conectados que permite el intercambio de datos a través de medios dirigidos u ondas electromagnéticas. (Rico, D. 2011).

Una las redes de malla inalámbricas, redes acopladas o redes de malla inalámbricas de infraestructura son un subconjunto de las WLAN que ofrecen numerosos aportes y oportunidades, como el aumento de los niveles de cobertura en lugares donde se desea una conectividad de red continua, debido a los múltiples nodos de la red que se comunican entre sí” (Rico, Sánchez & Portillo ,2014).

Es capaz de proporcionar la misma cobertura que otros tipos de red, pero con un menor consumo de energía. Las redes Mesh, como se ve en la Figura 1, son redes descentralizadas a las que se puede unir más allá del alcance del punto de acceso a través de un nodo móvil, ampliando así la cobertura ofrecida por el punto de acceso (Albarracín, 2007).

**Figura 1** *Configuración tipo Mesh*



*Nota.* De “redes Mesh, una alternativa a problemas de cobertura de red: una revisión de literatura”, por Rico, Sánchez & Portillo (2014).

## Capítulo II

### 2. Antecedentes y Marco Teórico

#### 2.1. Palas eléctricas

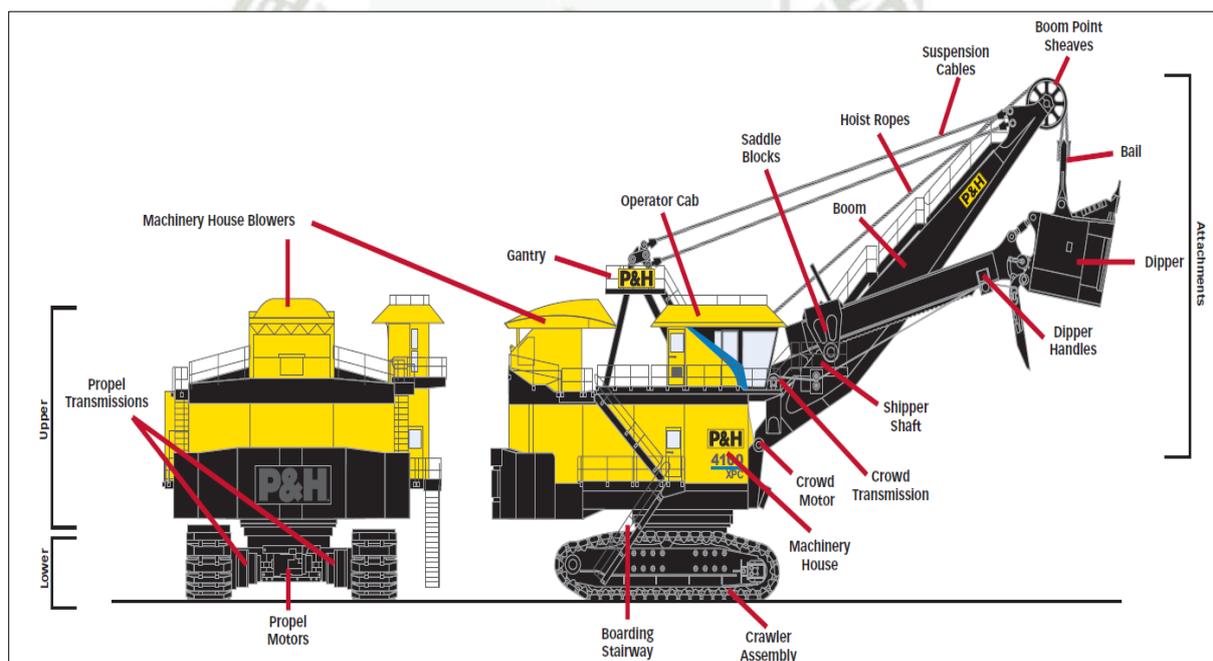
Son especialmente diseñadas para cavar y cargar material en minas de superficie por su gran tamaño. Normalmente tienen capacidades de 10 a 63 m<sup>3</sup>. Las palas eléctricas utilizan motores eléctricos, cajas reductoras, carretes, cables de alambre para sus cometidos.

Hay tres principales partes de la pala; la inferior, superior y accesorios, como se muestra en la Figura 2.

La pala eléctrica se subdivide en el conjunto inferior que incluye el sistema de propulsión y provee de estabilidad a la pala y el conjunto superior que es una plataforma cerrada donde se encuentra la maquinaria de elevación y giro. (Joy Global, 2012).

**Figura 2** Componentes externos de una pala eléctrica 4100XPC

*Componentes externos de una pala eléctrica 4100XPC*



*Nota.* De “Application Handbook”, por Joy Global INC (2012).

#### 2.1.1. Minería de Superficie

La disposición del yacimiento y el recubrimiento e intercalaciones de material estéril determinan la relación estéril/mineral con que se debe extraer este último. Este parámetro, comúnmente denominado ratio. La minería a cielo abierto, también conocida como minería a tajo abierto o de superficie, es una actividad económica que implica la remoción de grandes cantidades de suelo y subsuelo para procesar y extraer el mineral (Herrera & Pla, 2006, p. 04).

La minería de superficie tiene un proceso cíclico que comprende perforación, voladura, carguío y transporte. El método de explotación superficial es empleado por la gran minería e implica altas producciones. Para el caso de la minera en análisis solo se desarrolla en tajo abierto ya que en Perú existen minas mixtas, es decir, la mezcla de minera superficial y minería subterránea. (Lira & Aristondo, 2007). En la Figura 3 vemos ejemplos de explotación mineral a tajo abierto.

**Figura 3**

*Explotación mineral superficial*



*Nota.* De “Panorama de la minería en el Perú”, por OSINERMING (2007).

### **2.1.2. Tecnología en minería de superficie**

En la empresa minera Chinalco Perú S.A: Se aplicó un modelo tecnológico, *DRON*, para optimizar las operaciones de producción. Esta necesidad se desarrolló como resultado de los altos gastos asociados con el mantenimiento preventivo, el tiempo de inspección y la información de baja calidad, todo lo cual no estaba previsto en el plan de operaciones de la empresa minera. Los drones ofrecen usos potenciales cuando se combinan con una variedad de sensores multispectrales para la topografía, la prevención de riesgos laborales, el control medioambiental, el seguimiento del progreso de la restauración de la mina, la vigilancia y los servicios de emergencia y rescate, entre otros. (Matías ,2020)

Según Leiva (2020), la exigencia de hacer más seguros los procesos de producción minera al tiempo que se reducen los costes ha llevado a las empresas a concentrarse en áreas

como la automatización de procesos y el desarrollo de vehículos mineros autónomos. Al contrastar los escenarios con camiones de 220 toneladas, se determinó que la implementación de la autonomía supondría un aumento del 3% en los gastos totales; sin embargo, supondría una reducción del 13% en el tamaño de la flota, un ahorro de combustible, menos gastos de mantenimiento y menores costes operativos. Estos ahorros, no obstante, son insuficientes para compensar los gastos del funcionamiento autónomo, que incluyen los gastos de asistencia, mantenimiento y piezas de recambio, así como los gastos adicionales necesarios.

Por lo expuesto, se observa un panorama de innovación dirigido a la automatización y reducción del contacto directo entre el recurso humano y las instalaciones físicas, es decir, se pretende claramente mejorar las tecnologías de operación remota para disminuir los costos de producción por tonelada métrica en mina.

### **2.1.3. Tipo de palas eléctricas según su fuente de alimentación.**

Todas las palas P&H están equipadas con un sistema eléctrico de impulsión y dependiendo del modelo estas pueden ser de corriente continua o alterna, estas requieren una red eléctrica y una subestación ubicada en la mina” (Joy Global ,2012).

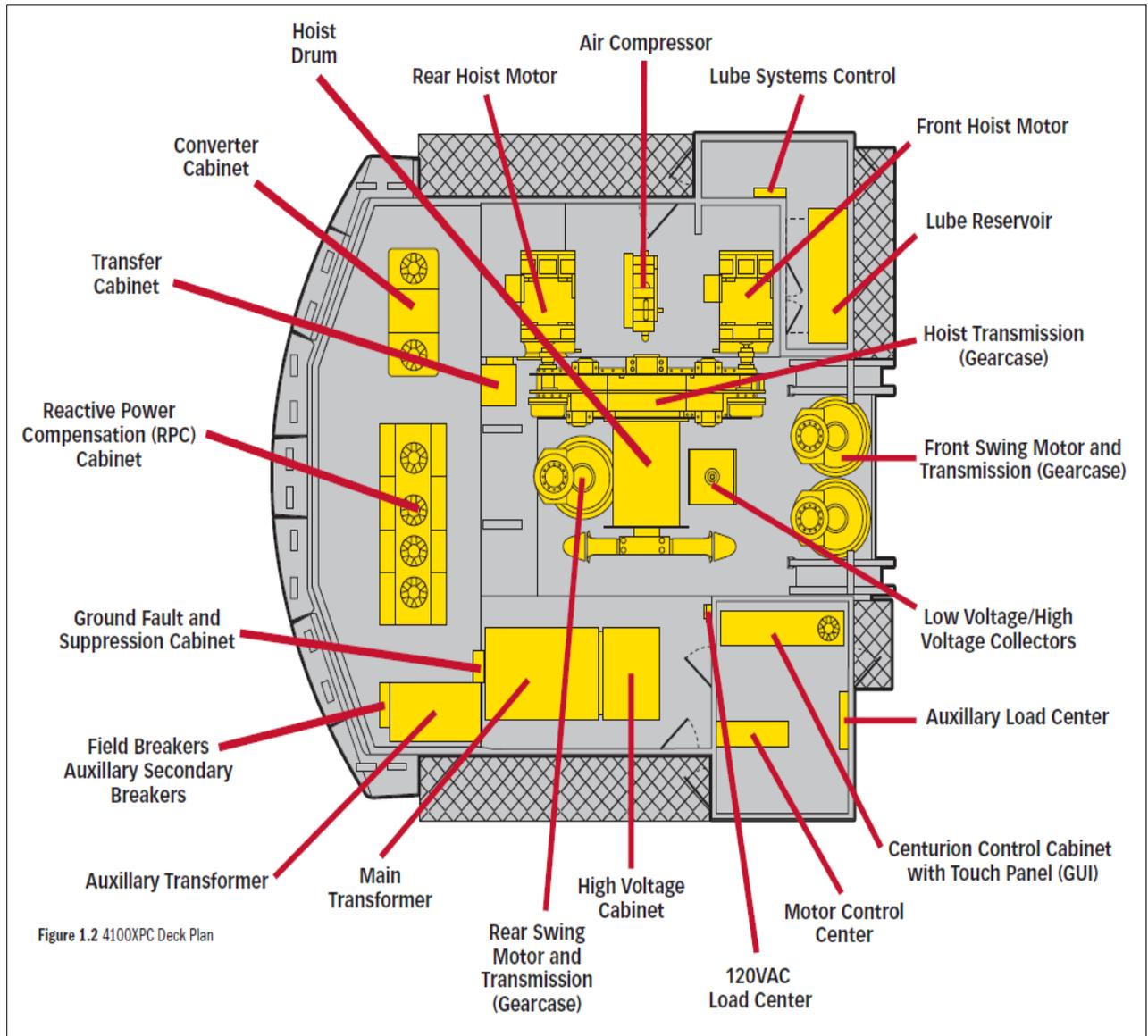
### **2.1.4. Descripción de funcionamiento de una pala.**

La descripción de funcionamiento de una pala se puede describir como lo afirma Joy Global (2012): La excavación se realiza mediante una combinación de movimientos de elevación (vertical) y apiñamiento (horizontal) del balde y la manija del balde en el banco, llenando el balde y levantándolo para separarlo del banco. El giro hacia el camión se realiza girando la plataforma superior para alinear la pluma y el balancín sobre el camión de transporte. El camino de giro y la altura de descarga se planifican según la ubicación del camión de transporte. El operador es el encargado de controlar la transición entre la aceleración y la desaceleración del giro. El vaciado se realiza mediante la liberación de un pestillo que asegura la puerta del balde en la parte inferior del balde. La Fase de Retorno se realiza girando la plataforma superior de regreso a la cara de trabajo y reposicionando el balde para comenzar la siguiente fase de excavación.

En la Figura 4 tenemos el plano de cubierta de una pala 4100XPC, donde se muestra todos los componentes mayores que están presentes en la sala de máquinas.

**Figura 4**

*Pala 4100XPC plano de cubierta*



*Nota.* De “Application Handbook”, por Joy Global INC. (2012).

En la Figura 5 se muestra como es el funcionamiento de una pala eléctrica al momento que realiza el ataque al banco de minerales para recolectar material minado que será llevado al proceso de chancado y molienda. En la figura, también se observa el funcionamiento de los dos principales sistemas de carguío del equipo como el movimiento de empuje y de levante, que permite la elevación y recojo de mineral. La capacidad de carga de material de una pala esta definido por la cantidad de material que puede llenarse en el balde, para una pala eléctrica 4100XPC es de unas 74 yardas cúbicas en promedio en cada carguío realizado.

**Figura 5**

*Funcionamiento de una pala eléctrica 4100XPC*

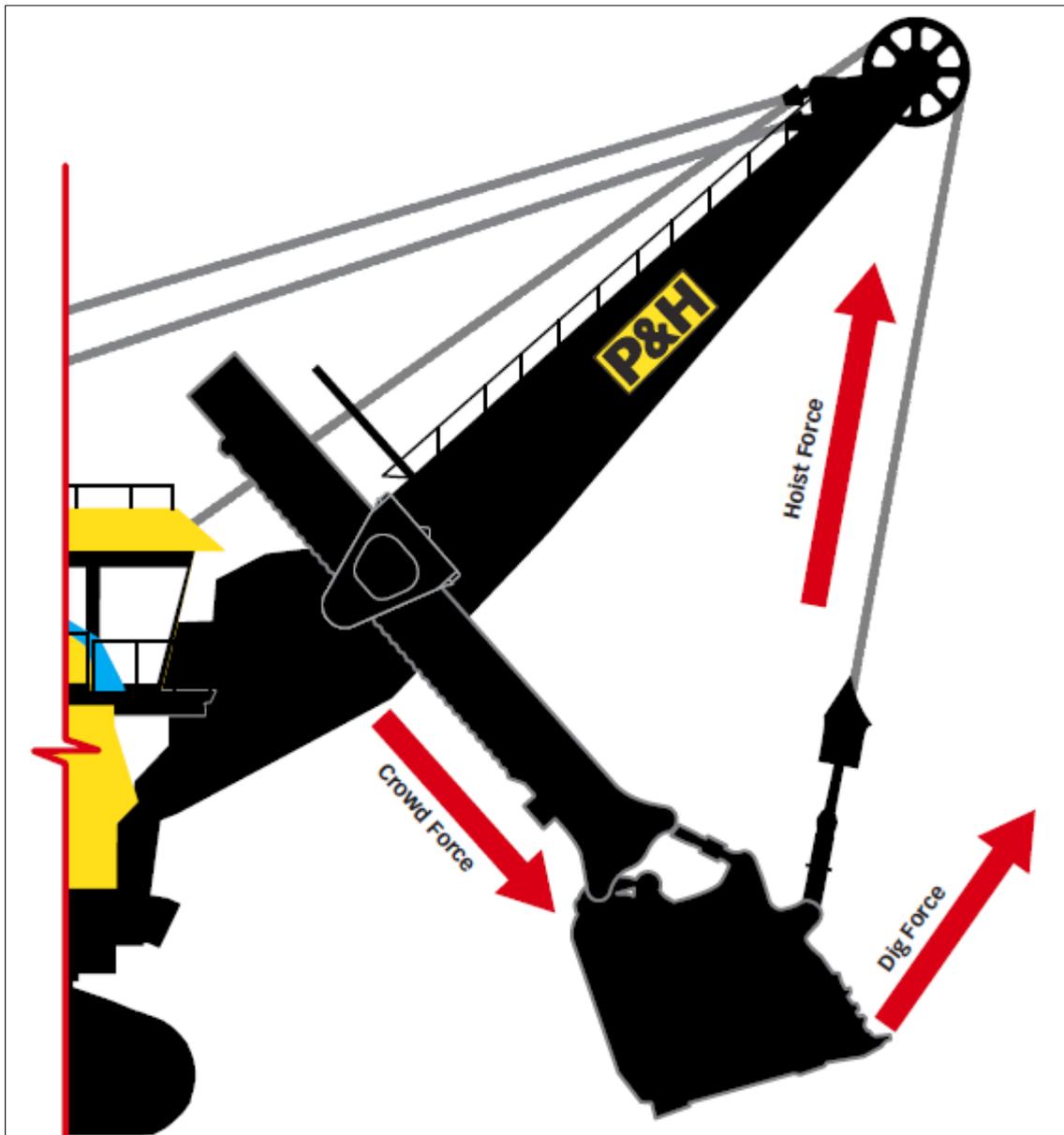


*Nota.* De “Application Handbook”, por Joy Global INC (2012).

De acuerdo con Joy Global (2012) las palas eléctricas generan tres fuerzas diferentes, como vemos en la Figura 6, la de levante o *Levante* a través de un cable; la fuerza de empuje frontal del brazo conocida como fuerza de *Empuje* generada por un par de accionamiento del motor de empuje que se transmite a través del conjunto de la correa de transmisión de la banda de potencia a la maquinaria de empuje luego los piñones del eje del cargador enganchan las cremalleras en las manijas del balde y empujan la manija del balde hacia afuera (apiñamiento) o hacia adentro (retraer) dependiendo de la posición del controlador; por último la fuerza de corte en los dientes del balde básicamente corta el material pero la penetración no debe ser tan profunda como para detener la pala.

**Figura 6**

*Fuerzas de excavación de una pala eléctrica*



*Nota.* De “Application Handbook”, por Joy Global INC (2012).

La pala eléctrica se divide por sistema de funcionamiento los cuales son:

### **2.1.5. Sistema de Levante**

Según Joy Global (2012), el sistema de elevación, a veces denominado sistema de Levante se utiliza para elevar la cuchara. La potencia de elevación es suministrada por dos motores reversibles de CC de tipo P&H que accionan una caja de cambios de doble reducción. Como se ilustra en la Figura 7, componentes resaltados en rojo dentro de la sala de máquinas,

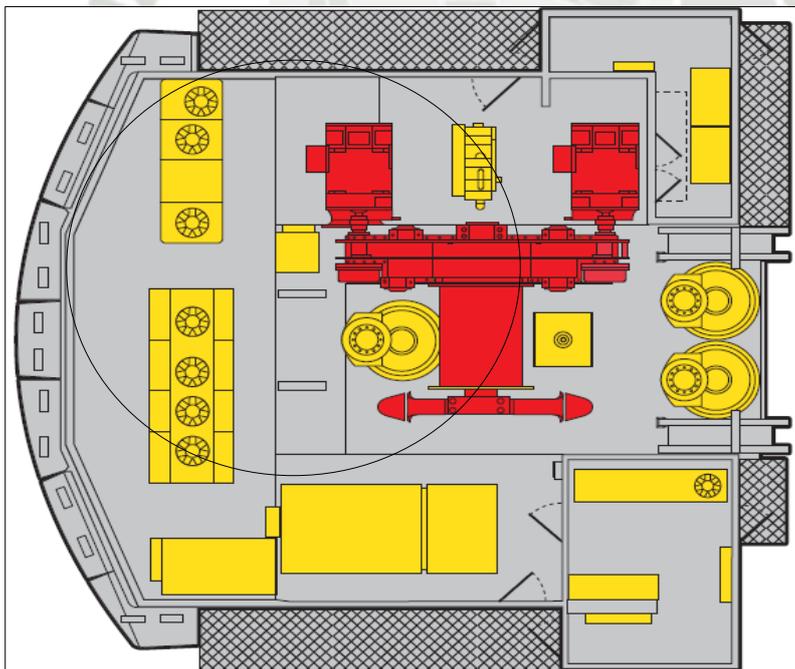
el sistema de elevación está equipado con dos conjuntos de motores, ejes de primera reducción y ejes intermedios que están totalmente sincronizados para proporcionar un movimiento de elevación potente y suave, estos motores accionan un sistema de engranajes situado en el interior de la caja de elevación que hace girar el eje del tambor.

La rotación del tambor hace que los cables de elevación se enrolen o desenrolen, elevando o bajando el brazo. Además, el sistema de elevación incorpora frenos de retención activados por resortes y liberados neumáticamente, montados en la caja de engranajes de elevación en el extremo de cada uno de los dos primeros ejes de reducción, en el lado opuesto de los motores de elevación.

Los frenos de disco se fijan a cada eje de primera reducción mediante estrías. El sistema de elevación se lubrica por baño y por salpicadura a través de un sistema presurizado y automatizado que también lubrica el cojinete de elevación del pedestal; los sistemas de la caja de cambios lubrican las partes de la transmisión.

### **Figura 7**

*Sistema de Levante*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment INC., (2011).

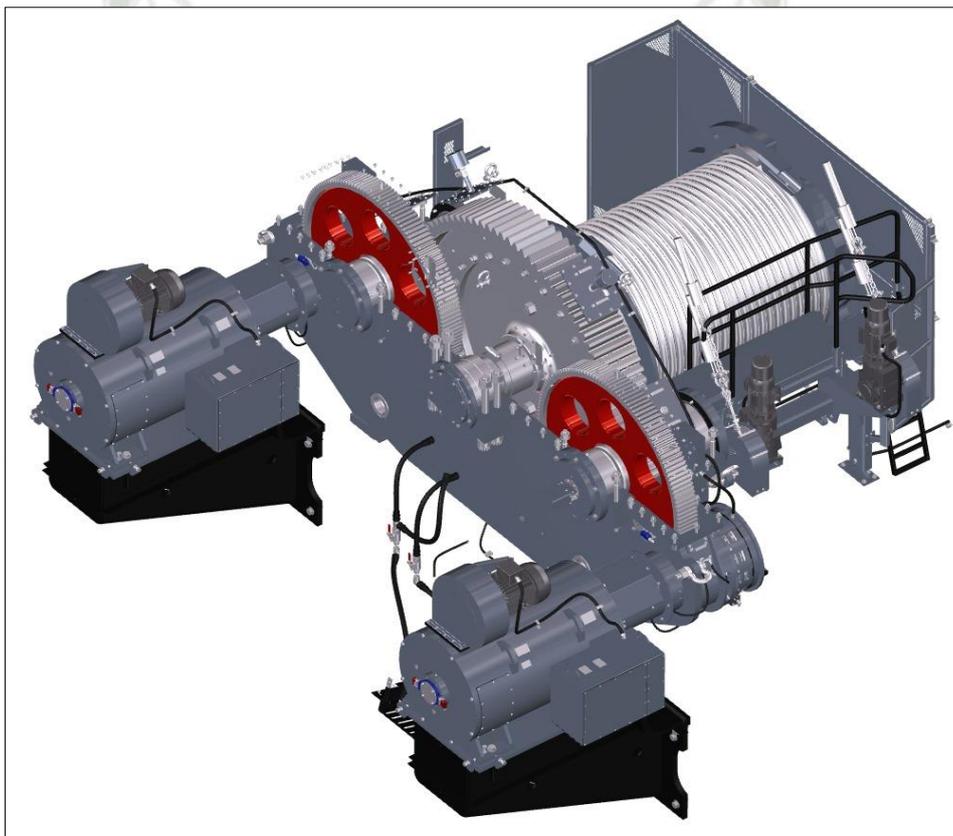
#### **2.1.5.1 Caja de engranajes de Levante.**

La caja de engranajes del sistema de Levante es una construcción sólida a partir de planchas soldadas, esta sirve además de bastidor del sistema de levante, es hermética con el

aceite que alberga en su interior gracias a una junta teórica y un sello de silicona RTV. La caja de cambios contiene 625 litros de aceite para lubricar la transmisión por baño y rociado, además, la caja de cambios contiene un sistema de recirculación de aceite completo con una bomba, un filtro y una tubería que lleva el aceite a los puntos de descarga y a las juntas de los cojinetes (P&H Mining Equipment, 2011). La figura 8 muestra la caja de engranajes de Levante en su interior.

### **Figura 8**

*Caja de engranajes de Levante*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment Inc., (2011).

#### ***2.1.5.2 Sistema de lubricación de la caja de engranajes de Levante.***

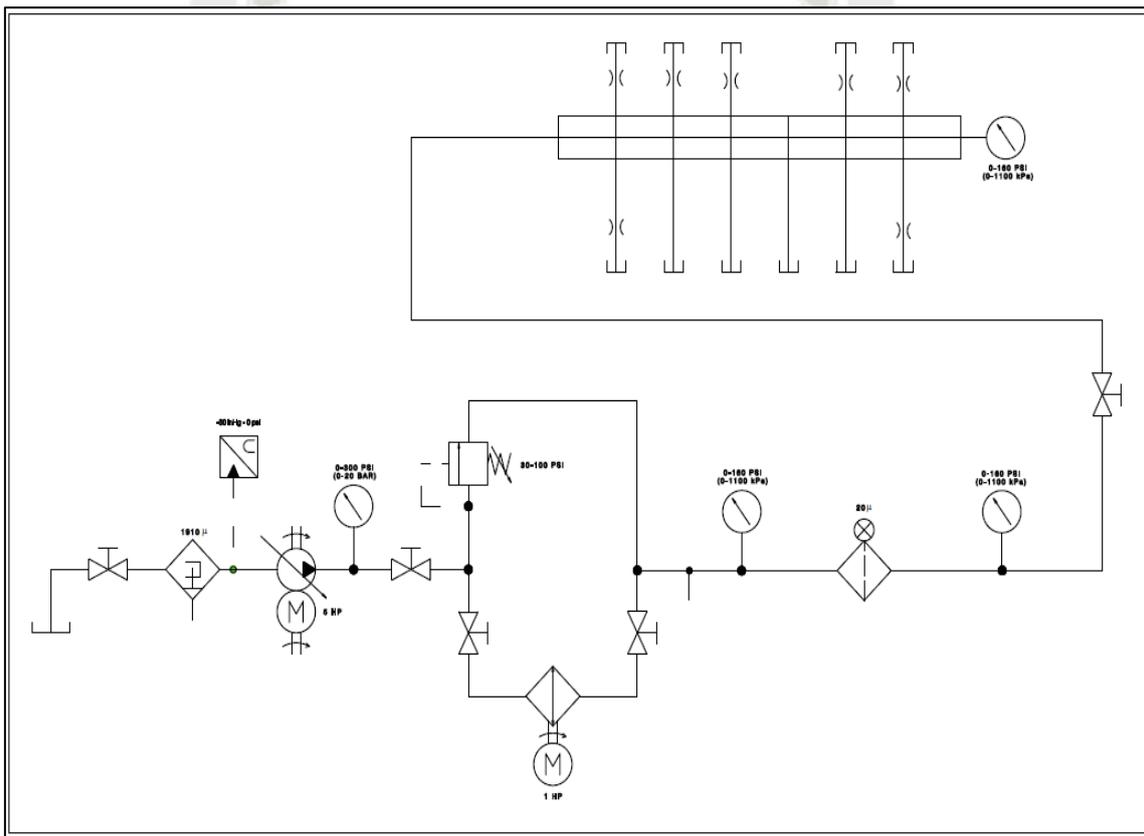
El sistema de lubricación de la caja de engranajes de Levante, indica P&H Mining Equipment (2011), se compone de una bomba, un colador y un filtro. La bomba se alimenta de un motor eléctrico controlado por un variador de frecuencia. Esto permite que el motor modifique su velocidad, se encienda y apague según sea necesario para mantener un flujo de aceite y una gestión de la temperatura óptimos. El enfriador de aceite está situado debajo de la plataforma y está equipado con un ventilador de velocidad variable que modula la refrigeración

según lo que el sistema determine que es necesario. El diseño esquemático de la caja de lubricación del ascensor se muestra en la Figura 9.

El sistema de lubricación del ascensor contiene criterios como la velocidad del motor de la bomba, que debe estar entre 175 y 1300 RPM. La presión de vacío máxima de la bomba es de 178 mm Hg VAC.

**Figura 9**

*Esquema del sistema de lubricación de Levante*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment Inc., (2011).

**2.1.5.3 Bomba de lubricación de levante.**

El sistema de bombeo de aceite para la caja de engranajes del sistema de elevación (Levante) se ve en la Figura 10. Se compone de un motor eléctrico de 5 HP, 1750 RPM operado por una unidad de frecuencia variable que impulsa una bomba de engranajes de desplazamiento positivo con puertos de 1.00 NPT a través de un reductor de engranajes de 2.5.8:1. (P&H Mining Equipement, Inc., 2012).

**Figura 10**

*Conjunto de la bomba*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment Inc., (2011).

**2.1.5.4 Motor y ventilador de levante.**

De acuerdo con lo mencionado por P&H Mining Equipment (2011), dos motores de corriente continua proporcionan la energía para el mecanismo de elevación, estos a su vez son gobernados por el sistema Centurión de la pala, y refrigerados mediante un soplador montado encima de cada motor, como observamos en la Figura 11.

**Figura 11** *Motor y ventilador de levante*

*Motor y ventilador de levante*

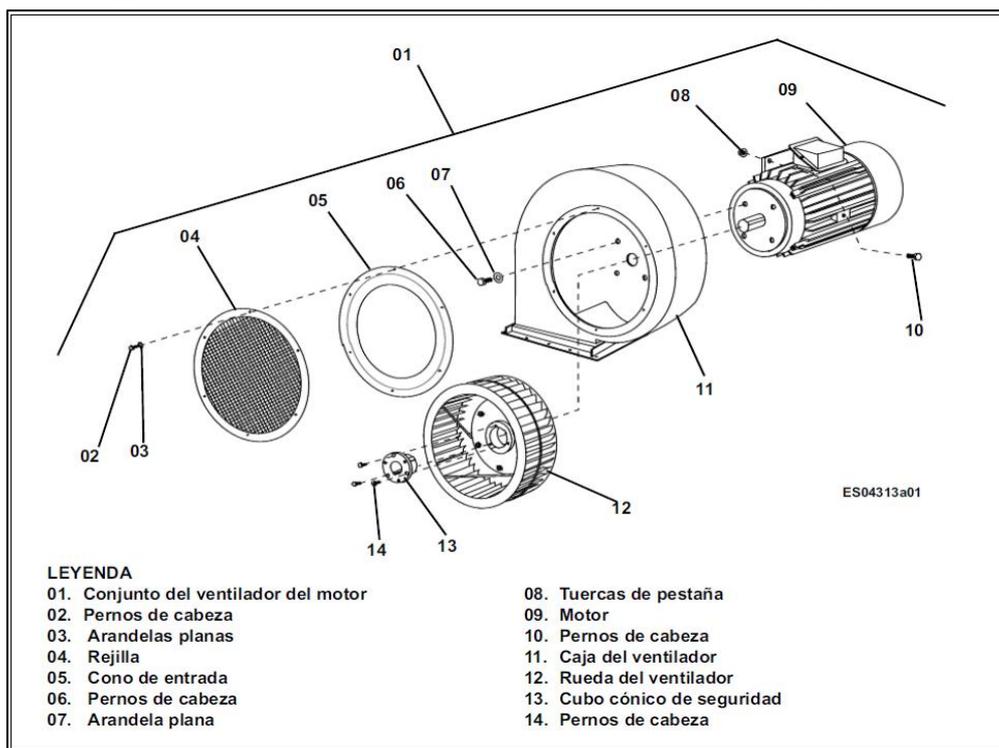


*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment Inc., (2011).

El soplador montado encima de la carcasa del motor eléctrico es un sistema de ventilación por forzado y de ventilador radial centrífugo ideales para un flujo de aire más rápido y dirigido, que hace posible un intercambio de calor más efectivo en esta particular aplicación. En la Figura 12 se observa las partes del ventilador de levante.

**Figura 12**

*Partes del ventilador de levante*



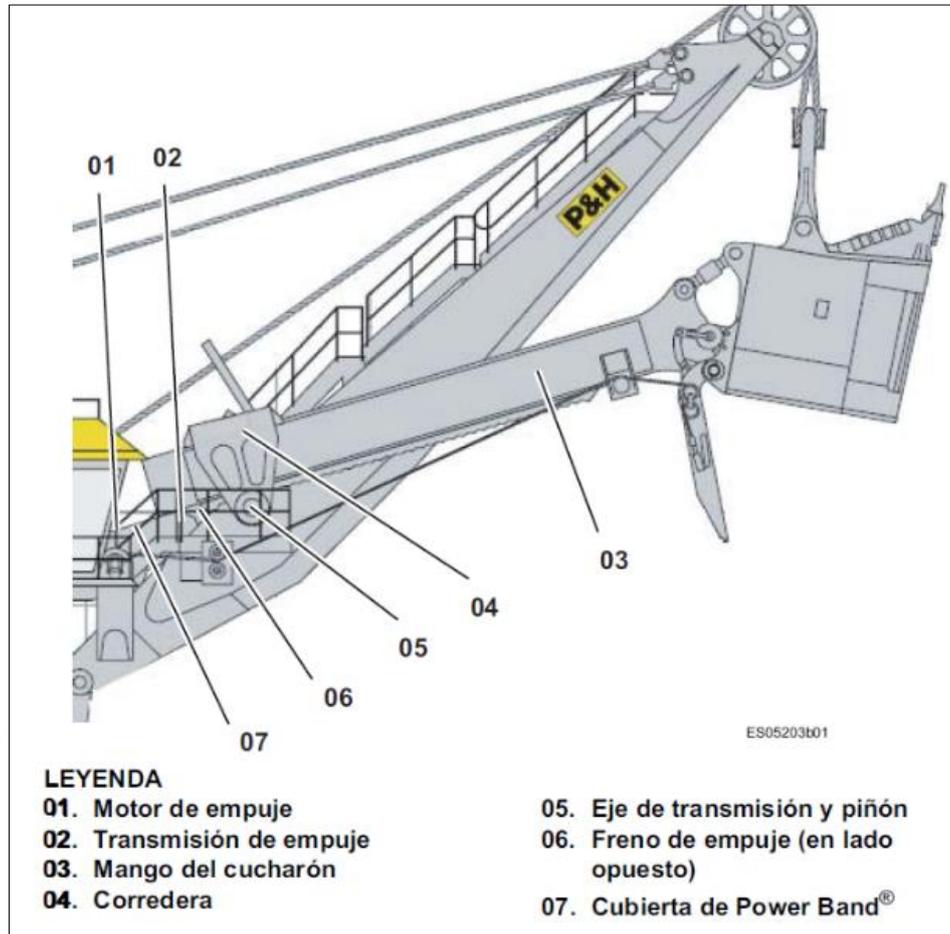
*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment Inc., (2011).

### 2.1.6. Sistema de Empuje

Los componentes del Sistema de empuje van montados en la pluma o Pluma según la

**Figura 13**

*Componentes del sistema de empuje*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment, Inc. (2011).

El sistema del drive de empuje, la caja de engranajes de empuje y la transmisión, el eje de transmisión y las ruedas dentadas, las correderas, el mango de la cuchara, el conjunto del freno de empuje y el sensor del interruptor de límite de empuje se incluyen en esta sección del “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment, Inc. 2011. Apéndice Figura 102. Sistema de empuje

Los componentes del sistema de transmisión de empuje incluyen el motor de empuje, la base del motor de empuje, el conjunto de transmisión de la correa de la banda de potencia y el sistema de tensión de la correa de empuje. Cuando la pala funciona en el modo de empuje y el controlador de empuje está activo, el motor de empuje gira en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario, según el sentido de movimiento del controlador. La fuerza motriz

proveniente del motor se transmite a través del conjunto de correas Power Band al mecanismo de empuje. (Joy Global ,2012).

El sistema de empuje suministra la fuerza motriz al eje de transmisión y a los piñones del eje de transmisión, Joy Global (2012, pp. 2-14) afirma:

Las cremalleras de los mangos del cazo y propulsan los mangos del cazo hacia fuera (empujar) o hacia dentro (retraer) según la posición del controlador. El freno de empuje es un freno de retención de tipo disco que se aplica por resorte y se libera neumáticamente. Cuando la pala no está en uso, el freno de empuje se emplea para mantener la cuchara. El sensor del interruptor de límite de empuje genera una señal eléctrica que ayuda a restringir el movimiento de la manivela de la pala y evitar que la pala se expanda o se retraiga excesivamente. El equipo del sistema de empuje se lubrica de varias formas, incluyendo el uso de los accesorios de lubricación de un solo punto, de baño, de salpicadura y de alimentación a presión del sistema de lubricación automática.

### **2.1.7.Sistema de Propel**

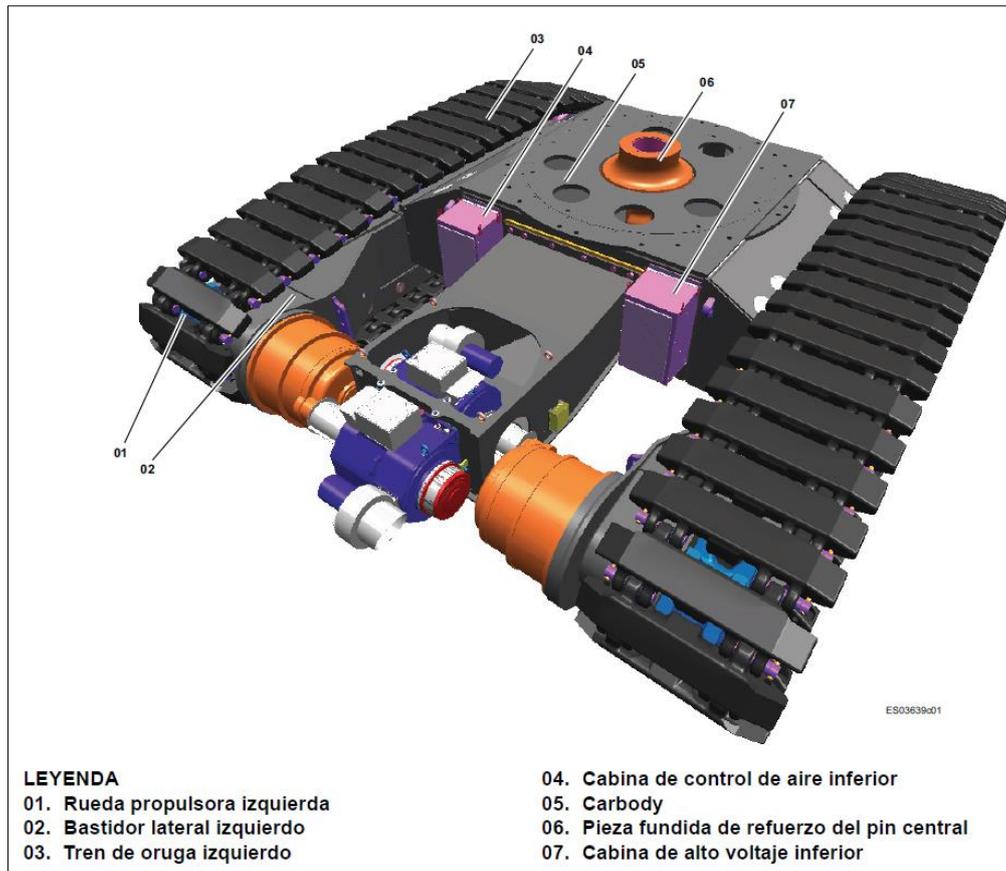
“El sistema de propulsión se encarga de propulsar la pala hacia delante y hacia atrás, de girar a la izquierda y a la derecha y de girar en sentido contrario. El sistema de propulsión está situado en el Carbody y en los bastidores de las orugas, en la parte trasera. Los bastidores de las orugas se fijan al Carbody con pernos” (P&H Mining Equipment ,2011)

El Carbody se fija a los bastidores de las orugas mediante bridas o bordes de fijación. Las orugas están formadas por una serie de zapatas de oruga encajadas que envuelven el bastidor, creando un recorrido continuo para que la pala lo atraviese. En parte central del Carbody una enorme pieza de fundición alberga el pasador central que conecta la plataforma giratoria del chasis superior y la carrocería. La corona giratoria está unida a la parte superior Carbody.

El bastidor de las orugas se fija con los dos trenes de orugas. Cada oruga puede ser impulsada hacia adelante o hacia atrás por separado a través de un módulo de accionamiento propio, lo que permite la dirección diferencial (p.6.1-6.2). En la Figura 14 se observa un esquema de las partes del chasis inferior.

**Figura 14**

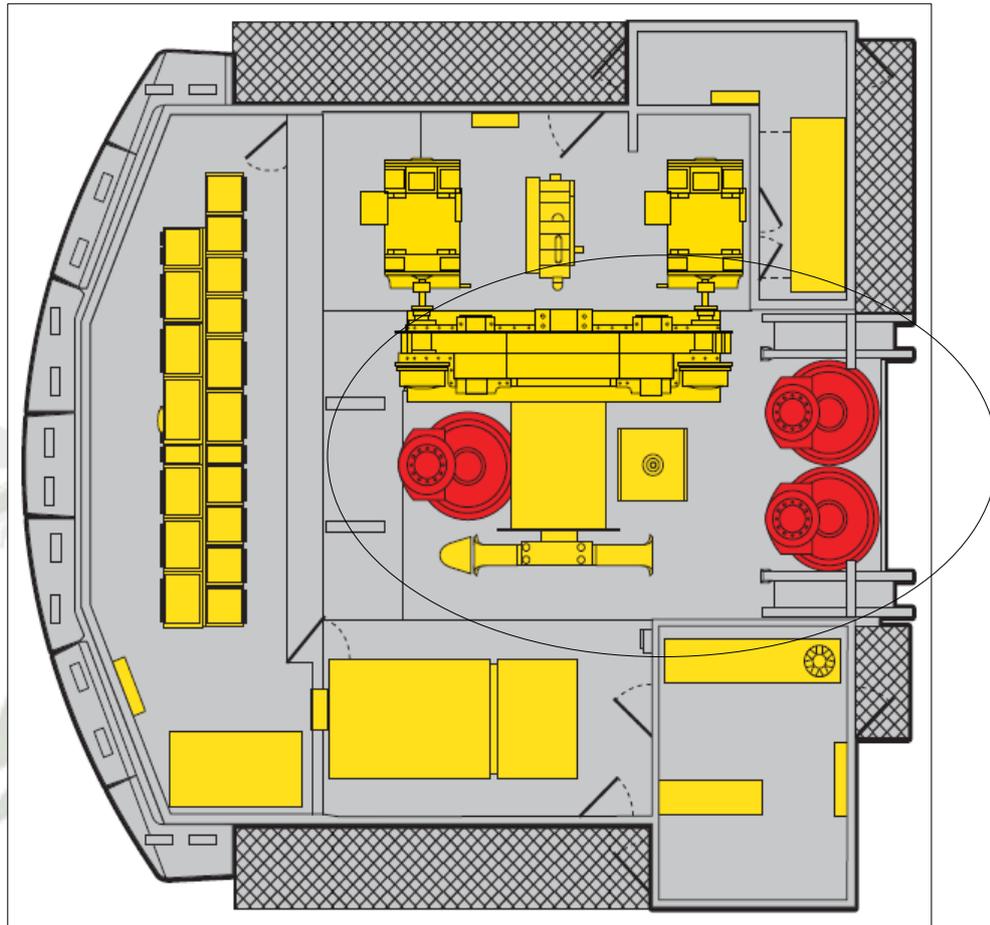
*Chasis inferior*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment, Inc. (2011).

### 2.1.8. Sistema de Swing

De acuerdo con lo mencionado por P&H Mining Equipment (2011), el sistema de giro hace rotar el bastidor de la pala superior con respecto al bastidor de la pala inferior. Se utilizan tres motores eléctricos reversibles P&H ac refrigerados por ventilador para accionar el sistema mediante accionamientos giratorios planetarios de dos reducciones (pp11-1). Como vemos en la Figura 15, el freno y el ventilador del motor del sistema van montados en el extremo superior del motor de giro, componentes resaltados en rojo.

**Figura 15***Mecanismo del sistema de giro*

*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment, Inc. (2011).

#### ***2.1.8.1 Descripción del motor de giro.***

Los motores van montados en la transmisión de giro. Cada eje del motor está unido a una caja de engranajes que finalmente acciona los ejes giratorios a través de un freno de retención instalado en el extremo superior del eje del rotor del motor, (P&H Mining Equipment ,2011). En la Figura 16 se visualiza un ejemplo del motor de giro.

**Figura 16***Motor de giro*

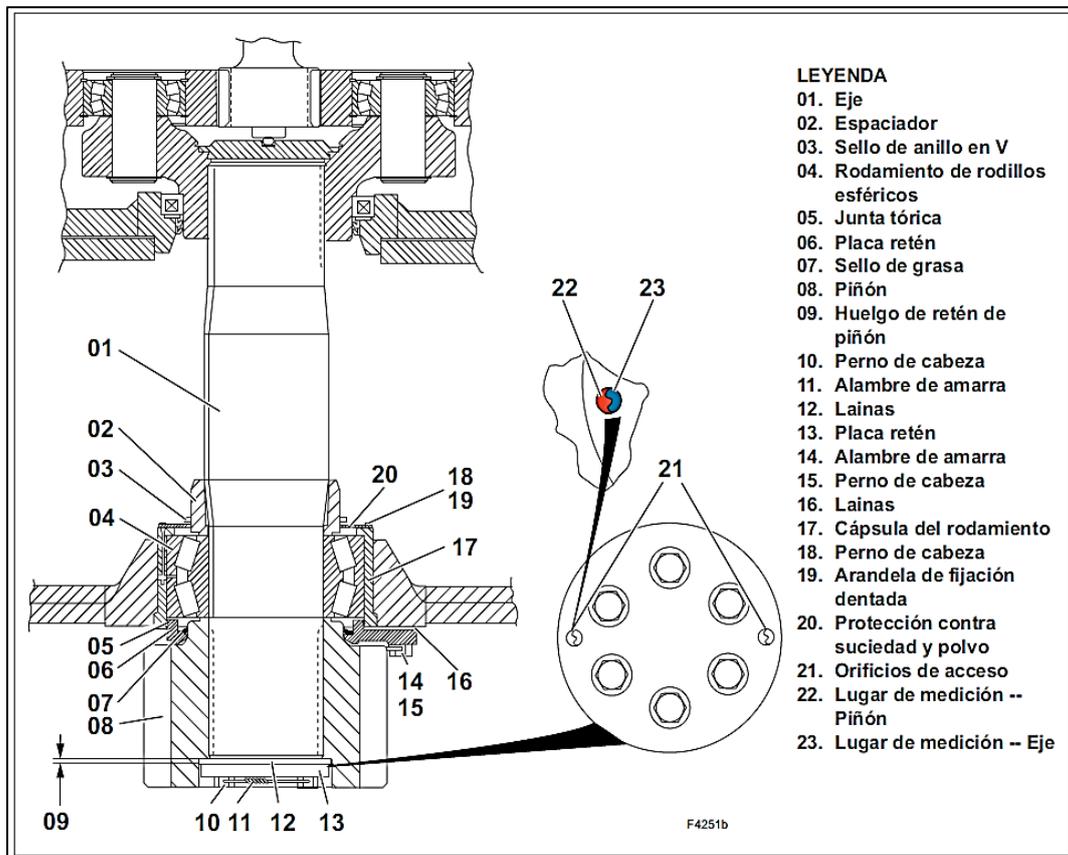
*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment, Inc. (2011).

#### ***2.1.8.2 Descripción del eje de giro.***

Como señala P&H Mining Equipment (2011), el par se transfiere desde la corona de giro para hacer rotar el bastidor superior de la pala en el bastidor inferior. Los ejes de giro se lubrican automáticamente con grasa. El eje de giro y sus accesorios se muestran en la Figura 17.

**Figura 17**

*Eje de giro*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment, Inc. (2011).

### **2.1.9. Sistema de Frenos**

#### **2.1.9.1 Frenos de disco.**

Los frenos de disco se aplican mediante muelles y se desactivan mediante aire comprimido, esto lo podemos ver en el Apéndice Figura 103. P&H (2001) refiere que se emplean como frenos de retención durante las operaciones de elevación, empuje, giro y propulsión. Se trata de frenos de aparcamiento, que se clasifican como "estáticos", ya que se activan sólo después de que la pala se haya detenido eléctricamente, y el componente es entonces mantenido por los frenos de disco. Aunque los frenos de disco son capaces de detener y mantener un vehículo en movimiento, el uso frecuente de esta manera provocará la rotura anticipada de los componentes de los frenos de disco. El procedimiento adecuado es paralizar primero los motores por completo. En la Figura 18 tenemos un freno de disco típico.

**Figura 18***Freno de disco típico*

*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment, Inc. (2012).

P&H (2014) afirma que los frenos de disco neumático se utilizan en todos los movimientos de las palas eléctricas de la producción actual, también se emplean en dragas eléctricas a excepción de modelos anteriores con frenos de zapata.

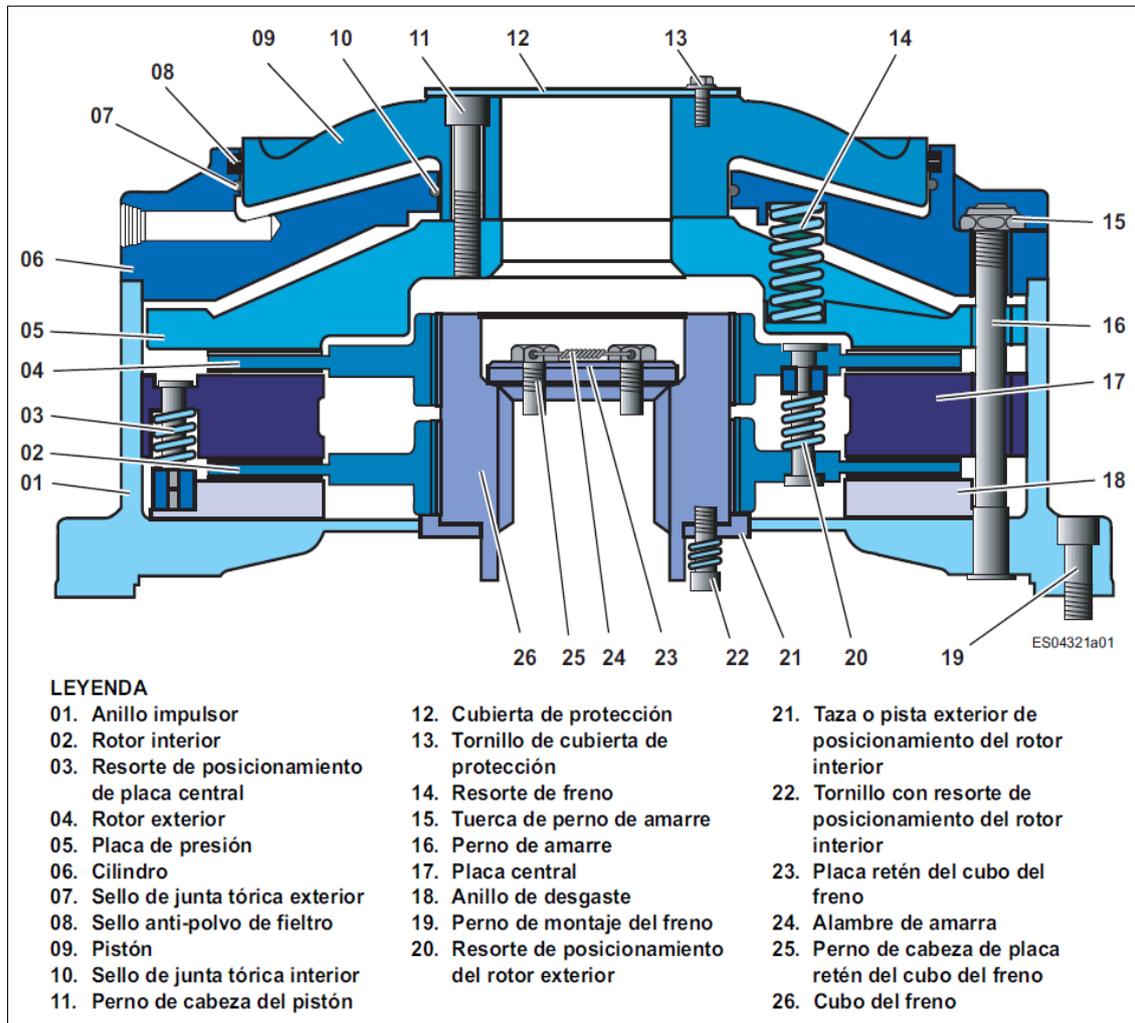
Los frenos de disco ofrecen ciertas ventajas sobre los frenos de zapata o tipo v; como son su respuesta más rápida, un mayor torque de frenado, una menor presión de aire requerida, menor mantención y mínimo de repuestos, P&H (2014). La Figura 19 nos muestra los componentes de frenos de disco.

P&H (2012) afirma que el software del controlador de paletas Centurión abarca el sistema lógico que regula las operaciones de las paletas. Estos sistemas también contienen los frenos de las palas, que se activan mediante presión neumática. Cuando el controlador

Centurión inicia el funcionamiento de la electroválvula de aire, la presión de aire está disponible, y esto se basa en las entradas únicas del controlador Centurión (p. 51).

**Figura 19**

*Componentes del freno típico*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos” por P&H (2012).

### **2.1.9.2 Activación del sistema de freno.**

Los frenos que se desbloquean por aire y se aplican por muelle garantizan que se aplicarán y mantendrán en caso de pérdida de presión de aire o de fallo de la energía. Los frenos de disco se emplean en las cuatro acciones de las palas modernas: Elevar, empujar, girar y propulsar. Como se ve en la Figura 20, las palas 4100 tienen dos frenos de elevación colocados en la caja de engranajes de elevación. Estos frenos están conectados a los ejes de reducción de la primera caja de cambios (P&H, 2014).

**Figura 20***Freno de levante*

*Nota.* De “User Guide - Peak Service”, por P&H (2014).

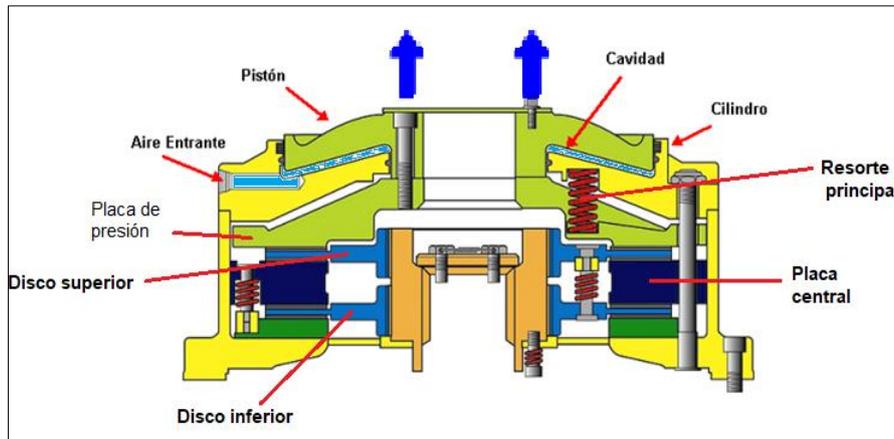
Las acotaciones acerca de los frenos que P&H (2014) nos brinda son: Cuando el operario libera los frenos desde la cabina de operación, se aplica presión de aire al freno y fluirá hacia el interior de la cavidad entre el pistón y el cilindro. Esta cavidad tiene O-Rings para sellar con el fin de evitar que el aire se escape.

La presión del aire empuja el pistón hacia afuera en dirección de las flechas azules. Esto tira la placa de presión hacia arriba y comprime los resortes principales. La placa de presión ya no está en contacto con el disco superior. Cuando el freno se libera, separando la placa de presión de los discos, los discos y la placa central deben estar centrados para evitar que se rocen, provocando fricción y generación de calor.

La Figura 21 se muestra las partes del sistema de freno, cuando el equipo está apagado el sistema está frenado, mientras que la Figura 22 se muestra un esquema de los frenos de aire activados o liberados. Para que la pala eléctrica esté en funcionamiento los frenos deben estar liberados para permitir todos los movimientos del equipo.

**Figura 21**

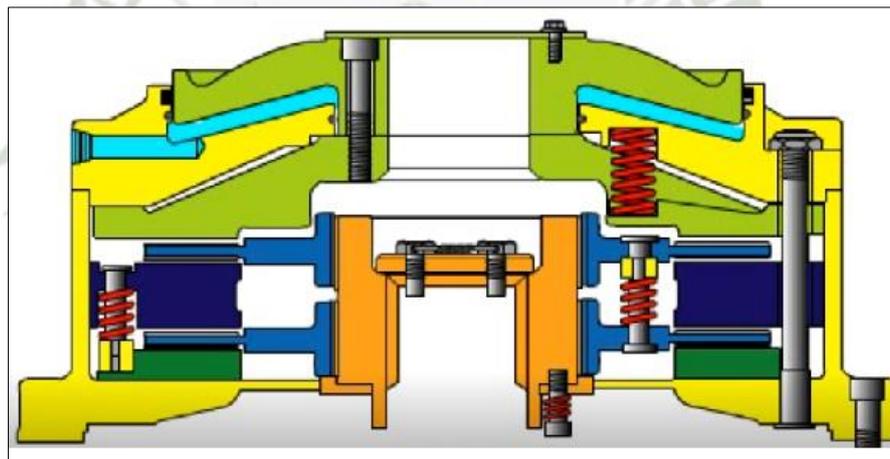
*Partes del freno de aire*



*Nota.* De “User Guide - Peak Service”, por P&H (2014).

**Figura 22**

*Frenos de aire liberados*



*Nota.* De “User Guide – Peak Service”.

#### **2.1.10. Sistema de control Centurión**

El sistema de control Centurión es una unidad de control compuesta por componentes de software y hardware, uno de los cuales es el panel táctil, P&H (2006) afirma: que el sistema de control Centurión se emplea para una serie de aplicaciones de control y supervisión de la máquina. Existen dos paneles táctiles, es la cantidad estándar de ellos, que se colocan en la cabina del operador y en la sala de control. Las pantallas de una pala del sistema de control Centurión se han actualizado para eliminar el exceso de texto, dejando cinco pantallas: funcionamiento, diagnóstico, configuración, actividades y asistencia. En la Figura 23 tenemos

la pantalla de Centurión ubicada en la cabina del operador y en la Figura 24 se observa la pantalla de Centurión ubicada en la sala de control.

**Figura 23**

*Pantalla Centurión en cabina del operador*



*Nota.* De “Tu fuente de conocimiento y desarrollo”, por P&H Mining Equipment, Inc. (2006).

**Figura 24** *Pantalla Centurión en sala de control*

*Pantalla Centurión en sala de control*



*Nota.* De “Tu fuente de conocimiento y desarrollo”, por P&H Mining Equipment, Inc. (2006).

La pantalla Principal de operaciones es la vista por defecto para el operador, durante las operaciones de excavación con la pala. Como se ilustra en la Figura 25.

La barra de navegación de la pantalla principal de operaciones contiene pantallas complementarias a las que se puede acceder tocando sus botones. Estas pantallas complementarias, incluyen la inclinación de la pala, la visualización de la pala y los valores de funcionamiento, los permisos de arranque de la pala, el estado del sistema de lubricación de la pala y la supervisión de la temperatura (P&H ,2006, p.07).

### Figura 25

*Pantallas de operación*



*Nota.* De “Tu fuente de conocimiento y desarrollo”, por P&H INC (2006).

Para acceder a la pantalla de configuración el usuario debe iniciar sesión y luego abrirá la pantalla Login, como visualizamos en la Figura 26, donde el usuario podrá conectarse al sistema con la seguridad apropiada para ver las pantallas de configuración, P&H Mining Equipment (2006).

Esta pantalla de configuración permite al operador especificar tiempos de refrigeración prolongados para los ventiladores de la sala de máquinas, así como limitar los movimientos de la pluma a cuatro puntos, ajustar los ciclos de lubricación automática, y una variedad de otras

características críticas que permiten al operador realizar tareas desde la cabina o la sala de control, P&H Mining Equipment (2006).

**Figura 26**

*Pantalla Login de configuración*



*Nota.* De “Tu fuente de conocimiento y desarrollo”, por P&H INC (2006).

### **2.1.11. Ventajas y desventajas de una pala eléctrica**

Entre las desventajas de una pala eléctrica comparada con alguna pala Diesel es la necesidad de contar con un suministro eléctrico de 7200 Voltios para el funcionamiento del equipo, es decir, se debe contar con un anillo energético estable dentro de mina, la cual no tengo corrientes parasitas las cuales dañen los componentes eléctricos de la pala.

Otra desventaja es la limitada capacidad de movimiento, ya que se puede movilizar dentro de mina, pero con una propulsión muy lenta que daña su propio sistema de carrilera, por lo que se debe realizar transados lentos dentro de mina que pueden durar varios días dependiendo de la distancia.

Se requiere contar con una estabilidad adecuada del suelo o de la superficie donde va a trabajar la pala ya que esta puede ceder, se requiere tener una densidad específica la cual permita que el equipo trabaje sin hundir la carrilearía en la superficie.

## **2.2.Mantenimiento**

### **2.2.1.Tipos de mantenimiento**

#### **2.2.1.1 *Mantenimiento correctivo.***

Se trata de reparaciones realizadas cuando el equipo no funciona; pueden ser programadas o inesperadas. Dentro de las planeadas tenemos los mantenimientos preventivos periódicos y las reparaciones correctivas planificadas para corregir hallazgos encontrados anteriormente y dentro de las reparaciones no planeadas tenemos todas las detenciones derivadas de una falla imprevista, que se ejecutan de inmediato para dar continuidad a la producción de manera parcial o definitiva en el menor tiempo posible (Moubray ,2016).

#### **2.2.1.2 *Mantenimiento preventivo.***

Este puede realizarse mediante inspección o predicción; cuando hablamos de mantenimiento mediante inspección, nos referimos al contacto directo del técnico con la máquina para determinar la necesidad de mantenimiento correctivo. Además, se centra en la limpieza, la revisión, la lubricación y los ajustes. Mediante la previsión, utilizando la probabilidad y la estadística para determinar la necesidad de sustituir activos o componentes individuales. Se utiliza para programar el mantenimiento programado (correctivo planificado backlogs) (Moubray,2016).

#### **2.2.1.3 *Mantenimiento predictivo.***

Se produce cuando un activo está expuesto a una supervisión continua o periódica de su estado. En función de los resultados, se planifican y se llevan a cabo actividades de reparación y/o sustitución de componentes tan pronto como sea posible o dentro de un periodo de funcionamiento que minimice el peligro de una parada y maximice la vida útil del equipo.

### **2.2.2.Monitoreo remoto de condiciones**

La monitorización remota del estado o condición de un equipo implica la medición en tiempo real de los parámetros que señalan un fallo. Esto permite detectar cambios en los patrones habituales en tiempo real, por lo que se evitan las averías, se economiza en el mantenimiento reactivo y se prolonga la vida útil de los activos (Sigma 21 ,2021).

Naturalmente, la monitorización del estado se integra con el mantenimiento predictivo. El seguimiento del comportamiento de los activos es una parte importante del mantenimiento

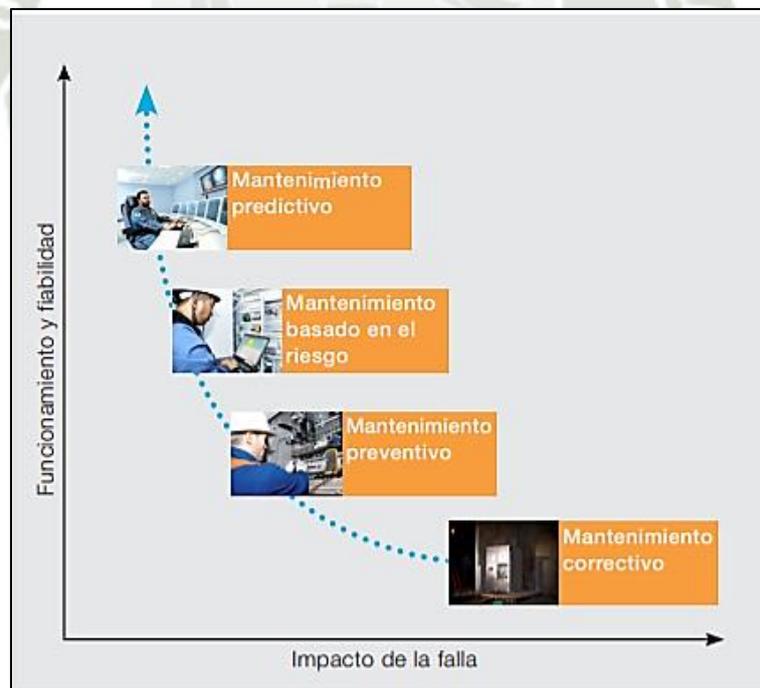
predictivo: los datos recogidos proporcionan la base para descubrir tendencias y perfeccionar los algoritmos la monitorización remota del estado de los equipos tiene un interesante futuro por delante a medida que se desarrollan sensores adicionales que pueden instalarse en los equipos. Además, cada vez se construyen más equipos de acuerdo con los estándares del Internet de las Cosas (IoT). El avance de estos dos factores, la monitorización del estado de los equipos en tiempo real está creciendo significativamente en el mercado (Sigma 21 ,2021).

Los datos de monitorización del estado sirven de base para el mantenimiento predictivo. A partir de los datos se desarrollan patrones que indican que un componente de la máquina se está deteriorando o está a punto de fallar, y basándose en este análisis se planifica el mantenimiento para evitar paradas no programadas de equipos y ahorrar costos de no producción por estas paradas de emergencia.

### 2.2.3. Aplicación de monitoreo remoto de condiciones en la industria

**Figura 27**

*Impacto de falla vs Funcionamiento y fiabilidad de acuerdo con el tipo de mantenimiento, ABB MyRemote Care*



*Nota.* De [https://library.e.abb.com/public/2383338d73a2a2acc1257c210050fadf/BR\\_Service-MyRemoteCare\(ES\)A\\_1VCP000462-1303b.pdf](https://library.e.abb.com/public/2383338d73a2a2acc1257c210050fadf/BR_Service-MyRemoteCare(ES)A_1VCP000462-1303b.pdf)

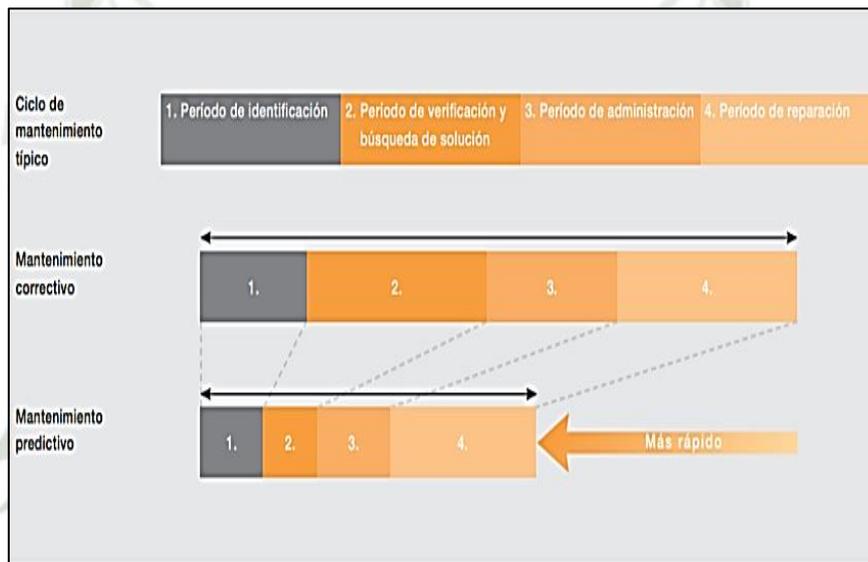
Según ABB (2013), de acuerdo con la Figura 27, el servicio de mantenimiento predictivo garantiza la optimización del proceso de mantenimiento al proporcionar un análisis

de causa raíz de la condición en que está el equipamiento y sugerir medidas de mantenimiento adecuadas. Los expertos de ABB cuidan los equipos gracias a MyRemoteCare, mediante la solución de fallas ya sea antes de que ocurran o antes de que se vuelvan defectos graves.

Los beneficios más importantes del monitoreo de condiciones MyRemoteCare son los siguientes, la reducción de la cantidad de paradas no programadas y costos operativos y el incremento de la disponibilidad de los equipos y la producción vinculada.

**Figura 28**

*Comparación del tiempo de mantenimiento, ABB MyRemote Care*



*Nota.* De [https://library.e.abb.com/public/2383338d73a2a2acc1257c210050fadf/BR\\_Service-MyRemoteCare\(ES\)A\\_1VCP000462-1303b.pdf](https://library.e.abb.com/public/2383338d73a2a2acc1257c210050fadf/BR_Service-MyRemoteCare(ES)A_1VCP000462-1303b.pdf)

Así mismo como se grafica en la Figura 28, otro beneficio importante del monitoreo remoto es el tiempo que se emplea en dar solución definitiva a una avería por mantenimiento que puede llegar a ser la mitad en todo el proceso, así se incrementa el tiempo de producción de la pala.

#### **2.2.4. Indicadores de la gestión de mantenimiento de palas 4100XPC**

Para conocer la marcha del departamento de mantenimiento, García (2010) nos recomienda que debemos definir una serie de parámetros o indicadores que nos permiten evaluar los niveles de desempeño y resultados que se están obteniendo en el área de mantenimiento. Es decir que, a partir de una serie de datos, nuestro sistema de procesamiento debe devolvernos una información, una serie de indicadores en los que nos basaremos para tomar decisiones sobre la evolución del mantenimiento. Es decir, si debemos realizar cambios o mejoras de algún procedimiento en específico.

Se tiene una gran cantidad de indicadores de mantenimiento, pero en la gestión actual de la minera solo se toman como principales las siguientes, las cuales describiremos a continuación.

#### **2.2.4.1 Disponibilidad.**

“La disponibilidad puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente”. (Grajales, Sánchez & Pinzón ,2006, p. 03)

De acuerdo con lo mencionado con Flores et al. (2016, p.13) “El factor de disponibilidad de un equipo o sistema es una medida que nos indica cuánto tiempo está funcionando ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante el periodo en el que se desea que funcione. Típicamente se expresa en porcentaje, no debe ser confundido con la rapidez de respuesta”

#### **2.2.4.2 Disponibilidad mecánica.**

Es el índice que evalúa la eficiencia de mantenimiento, muestra el porcentaje del tiempo programado que el equipo esté disponible para ser usado, es decir descuenta el tiempo por reparación y mantenimiento (Castro ,2014).

$$DM = \frac{HP - (MP + RME)}{HP} \times 100$$

Donde:

HP = horas programadas

MP= mantenimiento preventivo.

RME = reparaciones mecánicas.

#### **2.2.4.3 Disponibilidad física u operacional**

Mide la disponibilidad del equipo exceptuando todas las pérdidas de tiempo, incluyendo las mecánicas. (Rivera, 2015)

$$DF = \frac{\text{Horas trabajadas} + \text{Horas en demora}}{\text{Horas programadas}} \times 100$$

#### **2.2.4.4 Tiempo promedio entre reparaciones**

El tiempo promedio entre reparaciones se refiere a una propiedad de los equipos o de un sistema que indica la velocidad con la que se pueden realizar las intervenciones de

mantenimiento. Rivera (2015) afirma: “Son variables críticas a tener en cuenta para aprovechar este concepto: el diseño, la ubicación física, el plan de repuestos y la estrategia de intervención, entre otras. Este atributo suele evaluarse mediante el indicador MTTR (Mean Time To Repair). Su aplicación se debe a que, como su nombre indica, calcula el tiempo medio necesario para reparar los equipos o sistemas en un periodo de tiempo determinado” (p.09).

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo fuera de servicio}}{\text{Número de detenciones}}$$

#### **2.2.4.5 Tiempo promedio entre fallas**

El tiempo promedio entre fallas se refiere a una propiedad de un equipo o sistema que indica la frecuencia con la que necesita una intervención correctiva. Rivera (2015) nos dice:

Son variables críticas a tener en cuenta para aprovechar este concepto: el diseño, la ubicación física, el plan de repuestos y la estrategia de intervención, entre otras. Este atributo suele evaluarse mediante el indicador MTBF (tiempo medio entre fallos). Su aplicación se debe a que, como su nombre indica, calcula el tiempo medio entre fallos (o paradas) de los equipos o sistemas durante un periodo de tiempo determinado. Se mide como un ciclo completo de tiempo entre fallos desde el comienzo de uno hasta el inicio del siguiente. (p.09)

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo nominal}}{\text{Número de detenciones}}$$

### **2.2.5. Análisis de Indicadores y Resultados**

#### **2.2.5.1 Teorías de gestión de mantenimiento respecto a las tecnologías de mantenimiento remoto**

Hay tres generaciones en la historia del mantenimiento, Moubray (2016) nos muestra: La primera generación consideraba que la prevención de fallos en los equipos no era una tarea prioritaria, pues creía que, dado que el sobredimensionamiento hacía que los equipos fueran fiables y sencillos de reparar, el mantenimiento sistemático era innecesario más allá de la limpieza, la revisión y la lubricación periódicas.

En la tercera generación, se aplicaron nuevas técnicas y conceptos a las herramientas de toma de decisiones (análisis de riesgos, análisis de modos y efectos de fallos y sistemas expertos), metodologías, filosofías de mantenimiento y diseño de equipos, con especial énfasis en el mantenimiento basado en la condición, el mantenimiento proactivo, el mantenimiento productivo total (TPM), el mantenimiento centrado en la fiabilidad (CQM) y el mantenimiento de clase mundial.

La generación actual se da a partir del año 2000 en la que se ha incrementado la automatización y los sistemas electrónicos, exigiendo que el personal que trabaja en las plantas esté capacitado y sea multidisciplinario, en esta generación se prioriza la integración de sistemas, nuevos modelos de análisis avanzados para los datos producidos por los activos y para la toma de decisiones, teniendo en cuenta los costos asociados, para conocer donde es más conveniente retirar los equipos y aplicar de manera inteligente los esfuerzos de mantenimiento que nos puedan dar resultados. En la Figura 29 tenemos un cuadro sobre los criterios de evolución del mantenimiento, de la primera a la cuarta generación.

**Figura 29**

*Cuadro de criterios evolución del mantenimiento*

<i>Criterios evolución del mantenimiento.</i>			
<b>Primera Generación</b>	<b>Segunda Generación</b>	<b>Tercera Generación</b>	<b>Cuarta Generación</b>
Corrección momentánea o definitiva	Planificado	Integración de la producción y el mantenimiento	FMECA
Correctivo	Preventivo	Mantenimiento Productivo Total (TPM)	Sistemas de Mejora Continua
	Predictivo	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)	Modelos estadísticos para la optimización
	Modificativo	Clase Mundial	Gestión del Riesgo
		Proactivo	Gestión de Activos
			Análisis Avanzados de los CMMS

*Nota. Adaptado de MMC, Jhon Moubray (2016).*

*Nota.* De MMC, Jhon Moubray (2016).

Destaca el uso de modelos estadísticos para la optimización, la reducción de riesgos y la toma de decisiones, la evolución de la gestión de activos y su normalización a través de las normas ISO 55001 e ISO 55002, y el avance del análisis de la GMAO (Sistema de Gestión del Mantenimiento Informatizado).

Por último, la tendencia es que las GMAO evolucionen hacia sistemas "inteligentes" capaces de efectuar no sólo sofisticados análisis y previsiones de mantenimiento, sino también de ejecutar y supervisar todas las actividades de mantenimiento. Esta tecnología combinaría Big Data Analytics, Machine Learning e inteligencia artificial. IBM y Watson son precursores de la industria en este sector (Moubray ,2016).

### Capítulo III

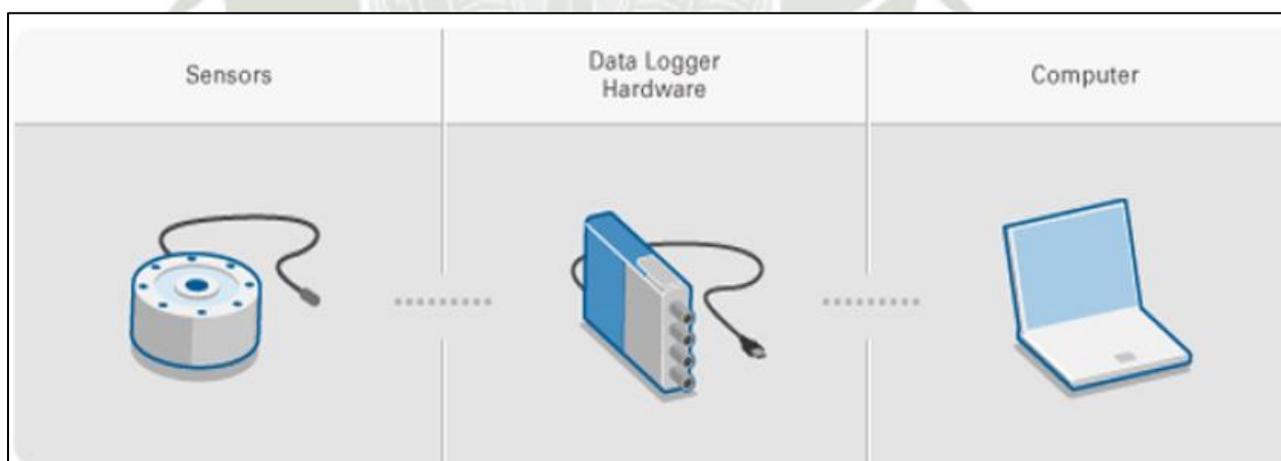
#### 3. Sistema de Monitoreo Remoto

##### 3.1. Sistema de Monitoreo Remoto

El sistema de monitoreo remoto consista en software y hardware que permiten el envío de señales del equipo en tiempo real desde el equipo hacia los servidores. Este sistema consulta un Datalogger o compilador de datos que reúne la información del sistema y son transmitidos a través de un modem y antena al servidos principal.

El dispositivo utilizado es conocido como registrador de datos (Datalogger), vemos un ejemplo en la Figura 30. Este dispositivo tiene una pequeña cantidad de potencia informática diseñada para grabar medidas de cada sensor y transmitir las en un formato que una computadora pueda leer, listo para el análisis. El registrador de datos se comunica inalámbricamente con la computadora o servidor mediante un dispositivo añadido. Luego esta data es subida mediante una red virtual privada (VPN) a un servidor implementado por Joy Global quien almacena la data en un SQL base de datos histórico. Esta base de datos almacena la data por un año (Dixon, 2015).

**Figura 30** Concepto de registrador de datos  
*Concepto de registrador de datos*



*Nota.* De “Research and Development of the Remote Health Monitoring Model to detect Anormal Operation of a P&H Shovel” por Gerard Dixon, (2015).

El sistema PreVail necesita de un kit de conectividad 3G para comunicar datos del Datalogger al servidor de la fábrica. Los equipos que se instalan en la pala eléctrica son los siguientes un modem Sierra Wireless – Airlink con adaptador y base de montaje sobre riel din, un Signal 3G Booster con conectores y cables adaptadores, una antena Plus de alta ganancia

con conectores y adaptadores. En la Figura 31 vemos un ejemplo de un kit de conectividad 3G básico que se instala en los equipos de minería.

**Figura 31**

*Kit de conectividad 3G*



*Nota.* De “Reporte de instalación”, Joy Global (2016)

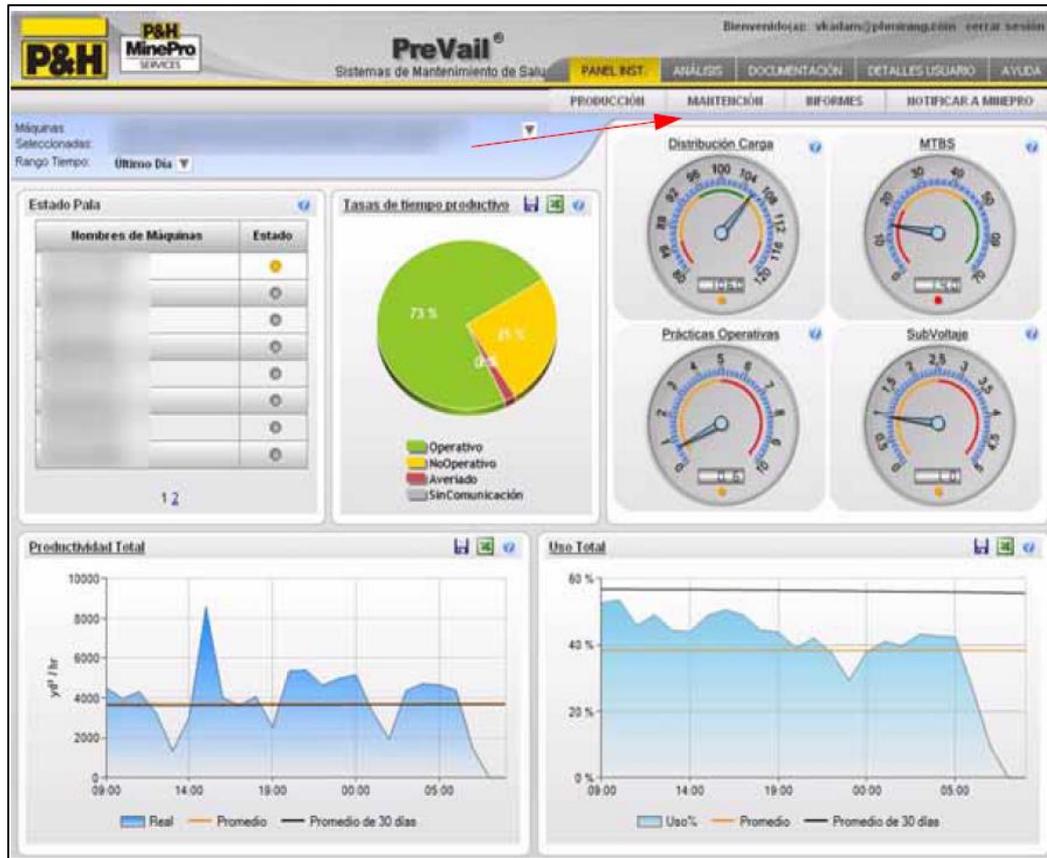
**3.1.1. Teoría del funcionamiento del sistema de monitoreo**

El monitoreo remoto permite evaluar el funcionamiento y rendimiento de equipos mediante un software. El sistema de monitoreo remoto proporciona el estado actual y el rendimiento pasado de las tres palas eléctricas. Esta información es obtenida de la recopilación de aproximadamente de 455 sensores instalados en la pala eléctrica, que se envían a través de un Datalogger y modem a un servidor y después se reflejan en una plataforma interactiva en internet desde cualquier parte del mundo. Luego la información es procesada por los especialistas técnicos para determinar que los valores de funcionamiento del equipo estén en los rangos de funcionamiento correcto o detectar alguna falla inmediata. Guía Usuario PreVail (2009)

La interfaz del software PreVail muestra de forma clara y fácil de entender mensajes de advertencia, distribución de carga de pala, información de la pala (manuales, guías de diagnóstico, esquemas), análisis de tendencias, análisis de alarmas. La Figura 32 nos muestra el menú principal de la interfaz del software PreVail.

**Figura 32**

*Menú de PreVail monitoreo remoto*



*Nota.* De “Guía de Usuario de PreVail”, por P&H (2018).

### 3.1.2. Descripción General de plataforma PreVail

De acuerdo con lo mencionado por P&H (2010) muchas de las pantallas de PreVail usan tablas para mostrar la información y le permiten ordenar, agrupar y filtrar sus datos, como vemos en la Figura 33. Estas tablas pueden ordenarse haciendo clic en el título de una de las columnas, a su vez las columnas pueden filtrarse agregando el texto del filtro en la casilla de texto ubicada en la parte superior de la columna y seleccionando el método que desea usar para filtrar la información.

La plataforma PreVail, tiene diversas funcionalidades, y está diseñado en Java Script, donde la programación de esta página de interacción está a cargo de la empresa que brinda el servicio de monitoreo remoto

**Figura 33**

*Tabla general de plataforma PreVail*

The screenshot shows the PreVail Remote Health Management System interface. At the top, there is a navigation bar with 'P&H' logo, 'PreVail Remote Health Management System', and user information 'Welcome: cpacsi Logout'. Below this are tabs for 'DASHBOARD', 'DOCUMENTATION', 'USER DETAILS', and 'HELP'. A secondary navigation bar includes 'PRODUCTION', 'MAINTENANCE', 'TRENDING', and 'KOMATSU SERVICES'. The main content area displays 'Selected Machines: ES41241 (SH003), ES41249 (SH004), ES41311 (SH005)' and 'Time Range: Last Three Days'. The central part of the interface is titled 'Filtered Outage List' and contains a table with the following data:

	UserAction	Machine	Mine Time	Fault Code	Description	Downtime (Mins)	SubSystem	Severity	Operator Id
>		ES41311 (SH005)	6/8/2021 14:48:43.030	03- ASPPulseMonitorRelay	AirScrubPro Pulse Board Pressure Loss	0.00	Lube	512	Unknown
>		ES41311 (SH005)	6/8/2021 06:04:06.777	03- ASPPulseMonitorRelay	AirScrubPro Pulse Board Pressure Loss	0.00	Lube	512	Unknown
>		ES41249 (SH004)	6/8/2021 04:01:55.890	02- SWG_OverVoltF28F503	SWG Armature Over Voltage Fault	1.02	Swing	701	Unknown
>		ES41249 (SH004)	6/8/2021 03:50:59.157	03-P02M02	Aux Ground Fault	1.13	Electrical	587	Unknown
>		ES41311 (SH005)	6/8/2021 00:04:06.687	03- ASPPulseMonitorRelay	AirScrubPro Pulse Board Pressure Loss	0.00	Lube	512	Unknown
>		ES41311 (SH005)	6/7/2021 19:13:26.320	03- ASPPulseMonitorRelay	AirScrubPro Pulse Board Pressure Loss	0.00	Lube	512	Unknown
>		ES41249 (SH004)	6/7/2021 17:24:12.760	03-A01G02F	Left House Blower Forward Fault	85.25	Electrical	589	Unknown
>		ES41249 (SH004)	6/7/2021 17:08:05.547	03-A01G05F	Right House Blower Forward Fault	15.83	Electrical	589	Unknown

*Nota.* De “Guía de Usuario de PreVail”, por P&H (2021).

### 3.1.3. Advertencias de Subsistemas

Esta cuadrícula de advertencias de subsistemas muestra las advertencias agrupadas por máquina luego por código de falla. P&H (2010), detalla al principio de la cuadrícula se muestra el suceso de advertencia más reciente junto con el número de veces que ocurrió esa falla en la máquina durante el rango de tiempo seleccionado. Esta cuadrícula tiene además funciones de clasificación y filtrado que facilitan la tarea para el usuario.

De acuerdo con la columna de fallas el usuario puede clasificar la información en orden ascendente o descendente, con un clic en el título de la columna. Además, hay varios filtros para clasificar y buscar, como se observa en la Figura 34.

Una función adicional es poder exportar los datos de la cuadrícula de nivel superior a una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Si no se entiende la información en la página de interactividad tiene sus propios manuales de aprendizajes que se puede descargar desde la misma página. La mayoría de los comandos son interactivos y fáciles de usar por el usuario.

**Figura 34**

*Advertencias de subsistema PreVail*

The screenshot shows the PreVail Remote Health Management System interface. At the top, there is a navigation bar with 'P&H PreVail Remote Health Management System', 'Select Equipment Type' (Shovel), 'Welcome: cpacsi', and 'Logout'. Below this are tabs for 'DASHBOARD', 'DOCUMENTATION', 'USER DETAILS', and 'HELP'. A secondary navigation bar includes 'PRODUCTION', 'MAINTENANCE', 'TRENDING', and 'KOMATSU SERVICES'. The main content area displays 'SubSystem Warnings' with a 'Warnings List' table. The table has a header with columns: Machine, Last Occurred, Fault Code, Description, Count, and Severity. Below the header, there are dropdown menus for each column. The table contains 11 rows of warning data.

Machine	Last Occurred	Fault Code	Description	Count	Severity
ES41249 (SH004)	6/9/2021 10:58:00.337	04-NoHstCntrtrACK	No Hoist Crowd Contactor Acknowledge	1	844
ES41249 (SH004)	6/9/2021 11:02:34.303	04-A01F09	Left Front Swing Lube Pump Fault	13	590
ES41241 (SH003)	6/8/2021 20:57:01.000	50-SHR_31_High	Propel Counter rotation detection. High Threshold	3	589
ES41311 (SH005)	6/9/2021 23:39:19.000	50-SHR_31_High	Propel Counter rotation detection. High Threshold	1	589
ES41241 (SH003)	6/8/2021 18:03:41.327	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1	Hoist Lube Pump 1 Flow Fault	5	484
ES41311 (SH005)	6/8/2021 19:12:18.743	04-SlackRopeDetected	Hoist Slack Ropes Detected - Hoist Brake SET	1	409
ES41241 (SH003)	6/8/2021 21:27:17.760	04-SwingImpact1	Swing Impact Level #1 Exceeded	5	407
ES41249 (SH004)	6/8/2021 13:06:48.457	04-SwingImpact1	Swing Impact Level #1 Exceeded	2	407
ES41311 (SH005)	6/9/2021 21:33:50.907	04-SwngmpctLv1	Swing Impact Level #1 Exceeded	10	407
ES41311 (SH005)	6/9/2021 12:12:02.173	04-ABSSCrowdLimitFit	ABSS Crowd Limit Fault	13	370

*Nota.* De “Plataforma PreVail”, por P&H INC (2021).

### 3.1.4. Pantalla de prácticas operativas

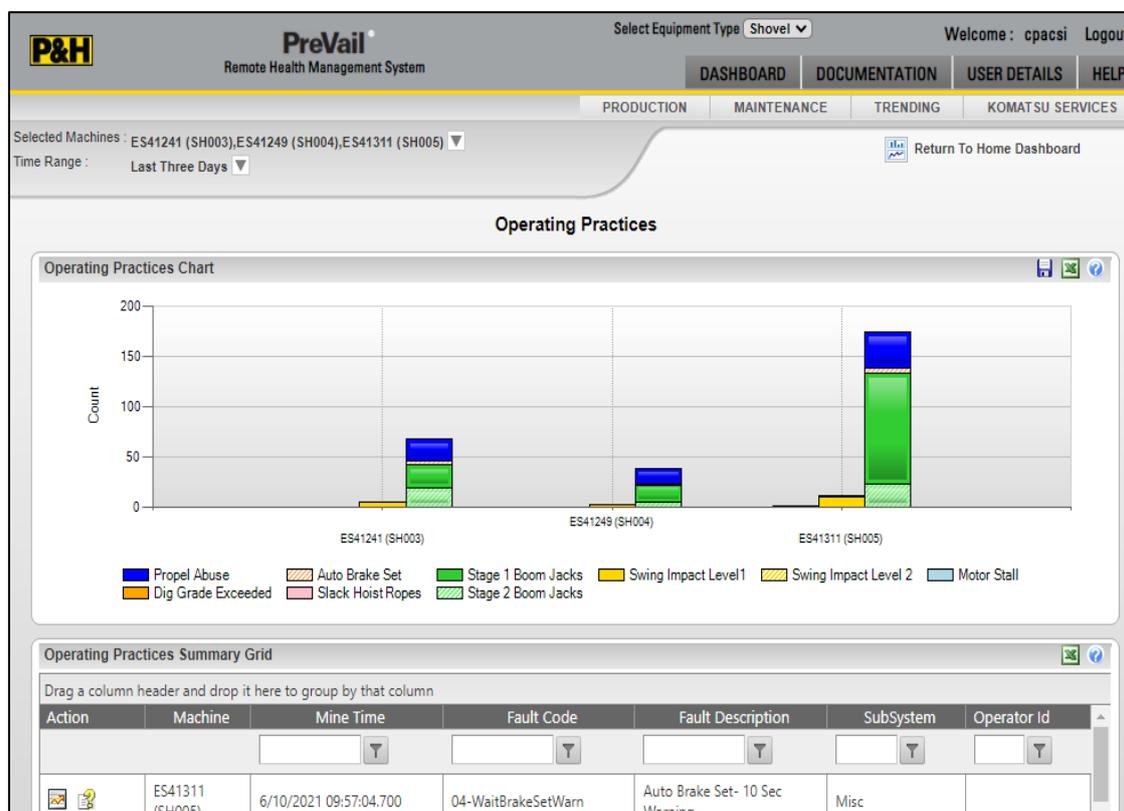
Esta pantalla muestra información detallada de los eventos de palas específicas al nivel de la pala como el tipo y número de eventos durante un periodo específico de tiempo. Según el rango de tiempo seleccionado en la parte superior derecha, se observa los datos a analizar en el panel principal (P&H, 2010).

En la Figura 35, vemos que el usuario puede clasificar la información de acuerdo con cualquiera de las columnas de sucesos, en orden ascendente o descendente, haciendo clic en el título de la columna, además, de varios filtros que facilitan la visualización focalizada de información.

También, se puede contabilizar la cantidad de eventos operativos según el operador que estuvo de turno, para poder así, realizar una evaluación comparativa entre operadores de equipos, es decir, cual tiene mayor o menor cantidad de malas prácticas operativas.

**Figura 35**

*Cuadro de prácticas operativas PreVail*



*Nota.* De “Plataforma PreVail”, por P&H INC (2021).

### 3.1.5. Uso en la minería

“Una minera de superficie logró que ingenieros de campo puedan trabajar con el sistema de monitoreo remoto, supervisando la gestión de procesos de carguío y acarreo, así como equipos auxiliares ubicados a 4,200 metros sobre el nivel del mar en la región de Ancash.” (Antamina, 2020)

Para la empresa el principal inconveniente a nivel tecnológico fue lograr una buena conectividad tanto en campo como en el hogar de los trabajadores, además de proveer de los equipos de cómputo de avanzada tecnología (Antamina, 2020). En la Figura 36 se visualiza el monitoreo de remoto de operaciones en la mina.

Esta pandemia ha acelerado el proceso de tecnologías de monitoreo remoto no solo en áreas de mantenimiento sino también en otras áreas como la de procesos.

**Figura 36***Monitoreo remoto de operaciones en la minera Antamina*

*Nota.* De “Antamina marca un hito tecnológico en la industria minera al supervisar operaciones de manera remota “, por Antamina noticias, (2020) (<https://www.antamina.com/noticias/antamina-marca-hito-tecnologico-industria-minera-supervisar-operaciones-manera-remota/>).

El distanciamiento social ha sido sin duda uno de los principales desafíos para la reanudación de las actividades productivas en tiempos de pandemia, sin que éstas representen un riesgo para la salud de los trabajadores. Frente a ello, son miles las personas en el país quienes han mudado sus oficinas a casa, pero en el sector minero, donde la actividad productiva involucra un complejo trabajo de campo (en su mayoría, en zonas apartadas de las ciudades), requiere desarrollar un “monitoreo remoto de ligas mayores” (Antamina, 2020).

**3.1.6. Reportabilidad del sistema de monitoreo**

Smart Solutions tiene a cargo una serie de pasos y metodologías para garantizar los planes establecidos dentro del proyecto minero (Smart Solutions, 2018).

A continuación, en la Tabla 1 y Tabla 2, se muestra una lista de actividades generales y específicas, en este se muestra un paquete completo de *Joy Operational Excellence* que incluye notificaciones de alerta; reportes diarios, mensuales, entre otros.

**Tabla 1**

*Tipos de Servicio de Monitoreo ofrecida por el dealer del equipo.*

Descripción	Real Time Analytics	Descriptive Analytics	Predictive Analytics	Operational Excellence
Suscripción	✓	✓	✓	✓
Acceso PreVail y Grafana (x20)	✓	✓	✓	✓
Reporte Diario Automático	✓	✓	✓	✓
Soporte remoto conectividad	✓	✓	✓	✓
Reporte de Malas Prácticas Operacionales	✗	✓	✓	✓
Alertas de condiciones	✗	✗	✓	✓
RHM Notificación	✗	✗	✗	✓
RHM Notificación Vibración	✗	✗	✗	✓
Auditorias Operacionales	✗	✗	✗	✓
Evaluación de Mantenimiento	✗	✗	✗	✓

*Nota: Tomado de "Procedimiento de ejecución de servicio de Smart Solutions" por Smart Solutions Joy Global, 2018.*

En la Tabla 2, se muestra una lista de actividades generales y específicas, según cada nivel de monitoreo que se puede realizar en los equipos de acuerdo con las necesidades de cada equipo o cliente.

**Tabla 2**

*Detalle de actividades de Smart Solutions Joy Global.*

<b>Tarea Principal</b>	<b>Detalles de Actividades</b>
<b>Suscripción</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solicitud de Credenciales</li> <li>2. Instalación de PreVail (Software y hardware)</li> <li>3. Activación de equipo en PreVail y Grafana</li> <li>4. Almacenamiento de información de Base de Datos</li> <li>5. Administración y mantenimiento de Plataforma PreVail y Grafana</li> </ol>
<b>Acceso PreVail y Grafana (x20)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Generación y reactivación de cuentas de usuario (Cliente Interno y externo)</li> <li>2. Entrenamiento y Capacitación (Cliente Interno y Externo)</li> <li>3. Generación de Dashboard en Grafana definidos por usuario</li> </ol>
<b>Reportes Automáticos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reporte Diario (Palas, Perforadoras y Cargadores) - Suscripción</li> <li>2. Reporte Diario SOE (Palas) - Suscripción</li> <li>3. Reporte Semanal Summary (Perforadoras y Cargadores) - Suscripción</li> <li>4. Reporte Mensual (Palas, Perforadoras y Cargadores) - Suscripción</li> </ol>
<b>Soporte remoto conectividad</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión de Conectividad y Mantenimiento Remoto de Hardware</li> </ol>
<b>Reportes</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reporte Mensual (Palas, Perforadoras y Cargadores)</li> <li>2. Reporte de Eventos Operacionales por Guardia (Power Bi)</li> <li>3. Reporte de Operador (Palas)</li> <li>4. Reporte de Operador De Guardia (Palas)</li> <li>5. reporte de Mantenimiento</li> </ol>
<b>Alertas de condiciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desarrollar alertas automáticas de condiciones (Matlab, AMC, ACS)</li> </ol>
<b>RHM Notificación</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. RHM Palas</li> <li>2. RHM Perforadoras y Cargadores</li> </ol>
<b>RHM Notificación Vibración</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reporte de Monitoreo de Vibraciones Remoto</li> <li>2. reporte mensual consolidado de recomendaciones</li> </ol>
<b>Desarrollos nuevos Reportes y alertas automáticas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desarrollo de reportes BI</li> <li>2. Desarrollo de reportes automáticos basado en códigos (Python, Matlab)</li> </ol>
<b>Auditorias Operacionales y Evaluación Mantenimiento</b>	Proyecto CI

*Nota: Adaptado de "Procedimiento de ejecución de servicio de Smart Solutions" por Smart Solutions Joy Global, 2018.*

Los siguientes reportes mostrados en la Figura 37, indican la frecuencia en la cual se emiten los reportes del monitoreo remoto, mostrando la principal información para la gestión de mantenimiento de los equipos monitoreados.

**Figura 37**

*Cuadro de listado de reportes*

<i>Listado de reportes</i>				
	Diario	Semanal Quincenal	Mensual	Personalizada
	Informe de desempeño diario	Reporte Quincenal de Control Adaptivo	De operación y Producción	Reportes Automáticos de límites de Control
Palas	Reporte SOE			Notificación RHM
	Reporte de eventos Operativos (Usuarios)	Reporte Quincenal de Payload	De Mantenimiento y/o Reporte Pre PM	Reporte por guaría de eventos operacionales

*Nota. Tomado de "Prevail de Palas, Perforadoras y cargadores Las Bambas", por Smart Solutions (2018).*

*Nota.* De "PreVail de Palas, Perforadoras y cargadores Las Bambas", por Smart Solutions (2018).

### 3.1.7. Visualización de señales en tiempo real

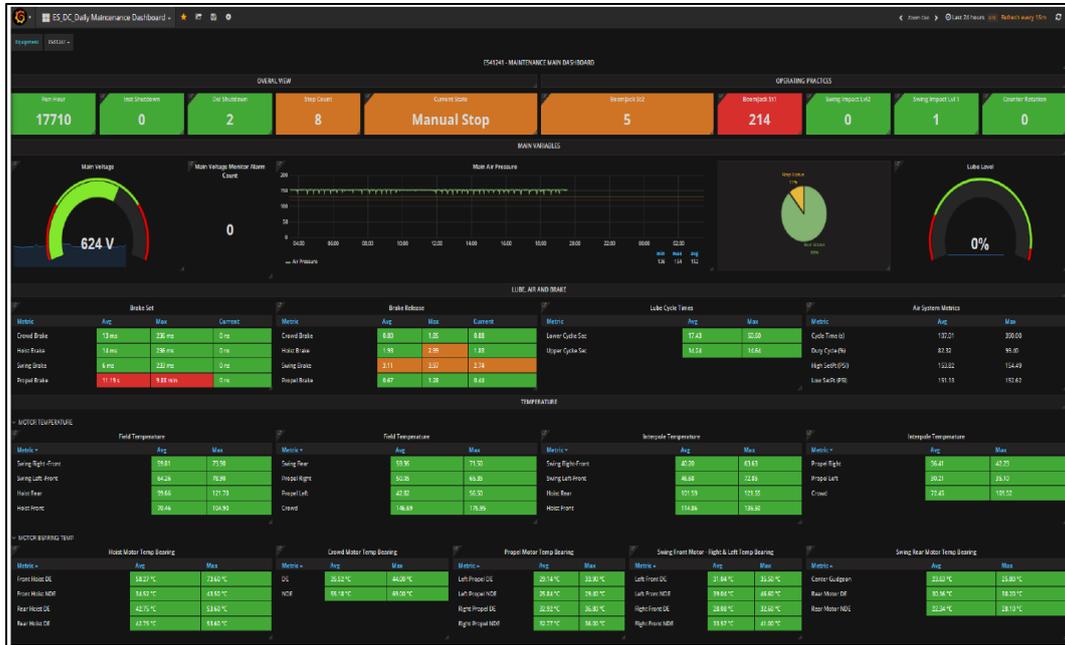
Con la ayuda de la *Datalogger* y el modem de conectividad a internet 3G, la información se envía y almacena en servidores, luego con la aplicación graficadora Grafana, los datos se muestran en una interfaz amigable, (Komatsu, 2018). En la Figura 38 y 39 se observa el panel gráfico donde la información está dividida de la siguiente forma:

1. Eventos operacionales.
2. Principales valores de funcionamiento de motores eléctricos.
3. Temperatura de componentes principales
4. Presiones de principales sistemas.
5. Seguimiento del panel de lubricantes.
6. Frenos de la pala eléctrica.

En estos paneles se pueden modificar el rango de tiempo de visualización, así como el equipo o maquina a analizar u observar. Cada grafica tiene un hipervínculo para observar mayor detalle de cada variable seleccionada, o es un hipervínculo que te lleva a otro panel de análisis.

Figura 38

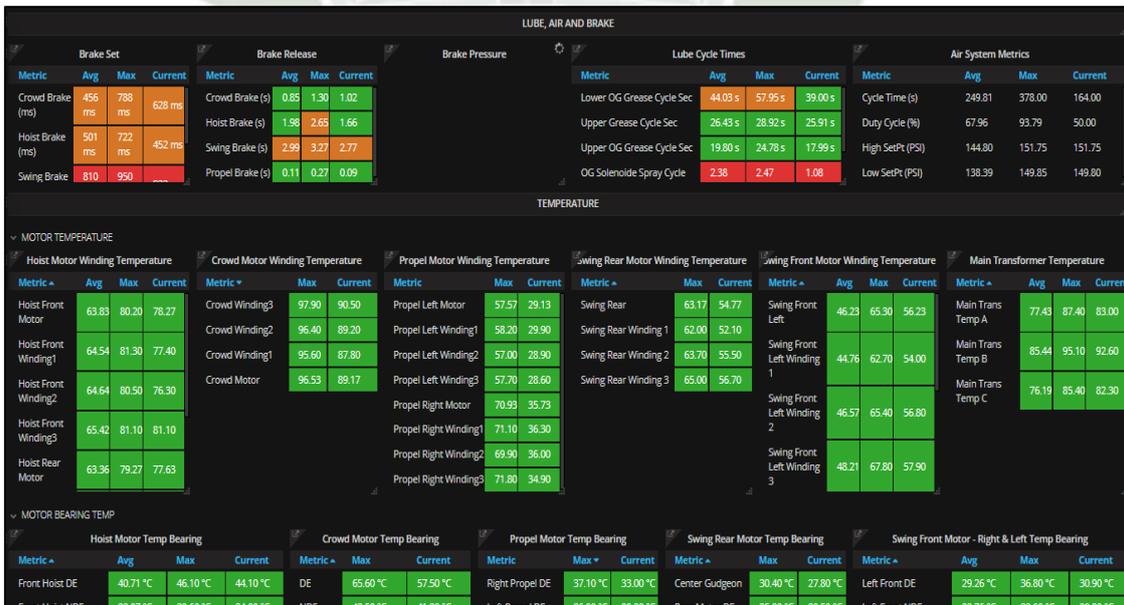
Plataforma Grafana, monitoreo en tiempo real de palas



Nota. De “Surface mining- Smart Solution”, por Joy Global (2017).

Figura 39 Panel de lubricante, aire y freno

Panel de lubricante, aire y freno

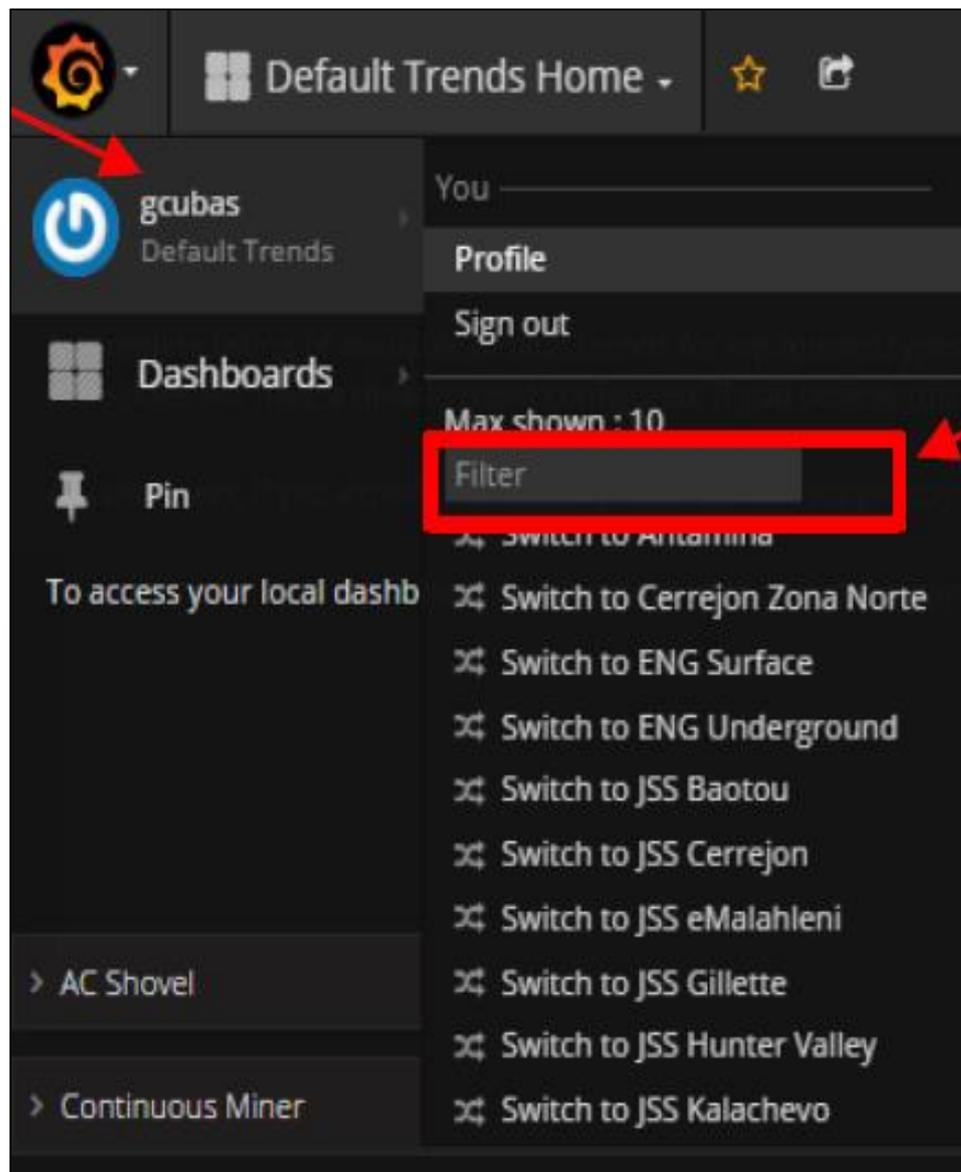


Nota. De “Grafana Trending” por Joy Global (2021).

Con la plataforma Grafana el usuario puede tener acceso a todas las máquinas ubicadas en diferentes centros de operación que reciben el servicio de Joy Smart. Como se observa en la Figura 40. Cada usuario tiene personalizado el acceso según los equipos que desee visualizar.

### Figura 40

*Selección de operación minera y equipo en Grafana*

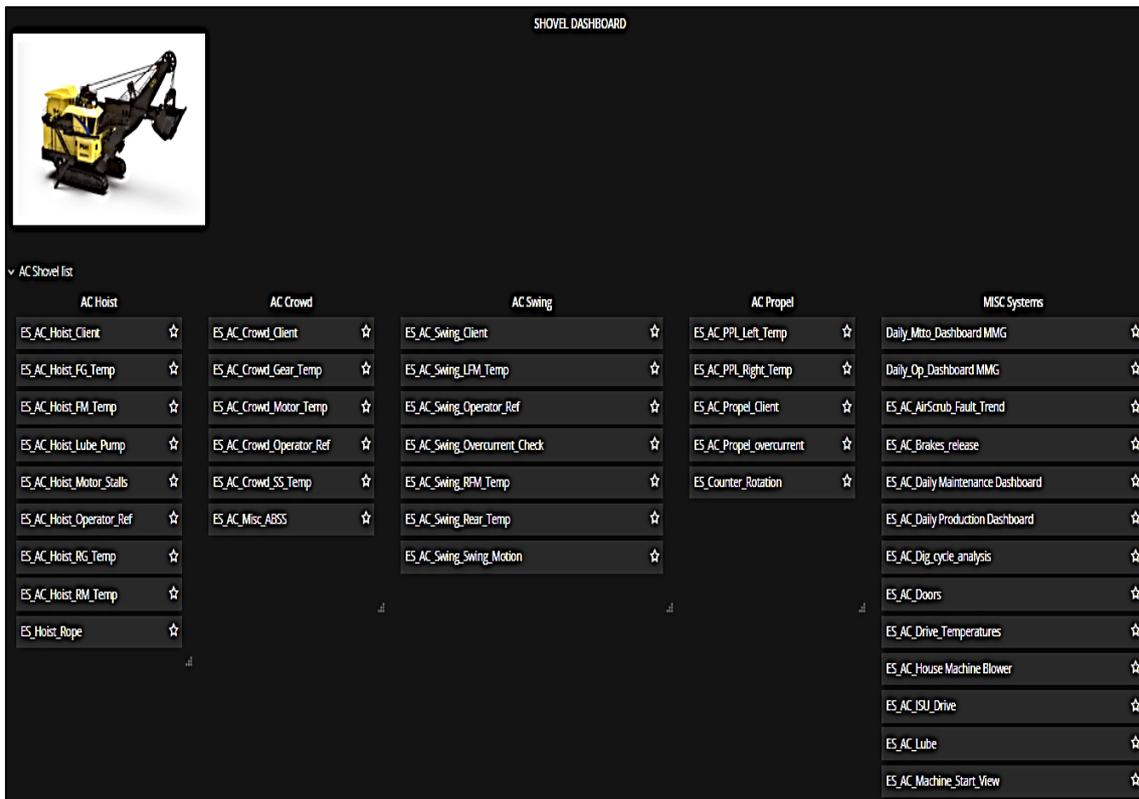


*Nota.* De “Instructivo para ingreso y navegación en plataforma Grafana”, por Joy Global (2017).

Una vez que nos encontremos en nuestra organización de interés, podemos navegar por los diferentes tableros configurados de acuerdo con el tipo de equipo, para el caso de las palas AC se tiene lo mostrado en la Figura 41.

**Figura 41**

*Panel principal de Grafana*



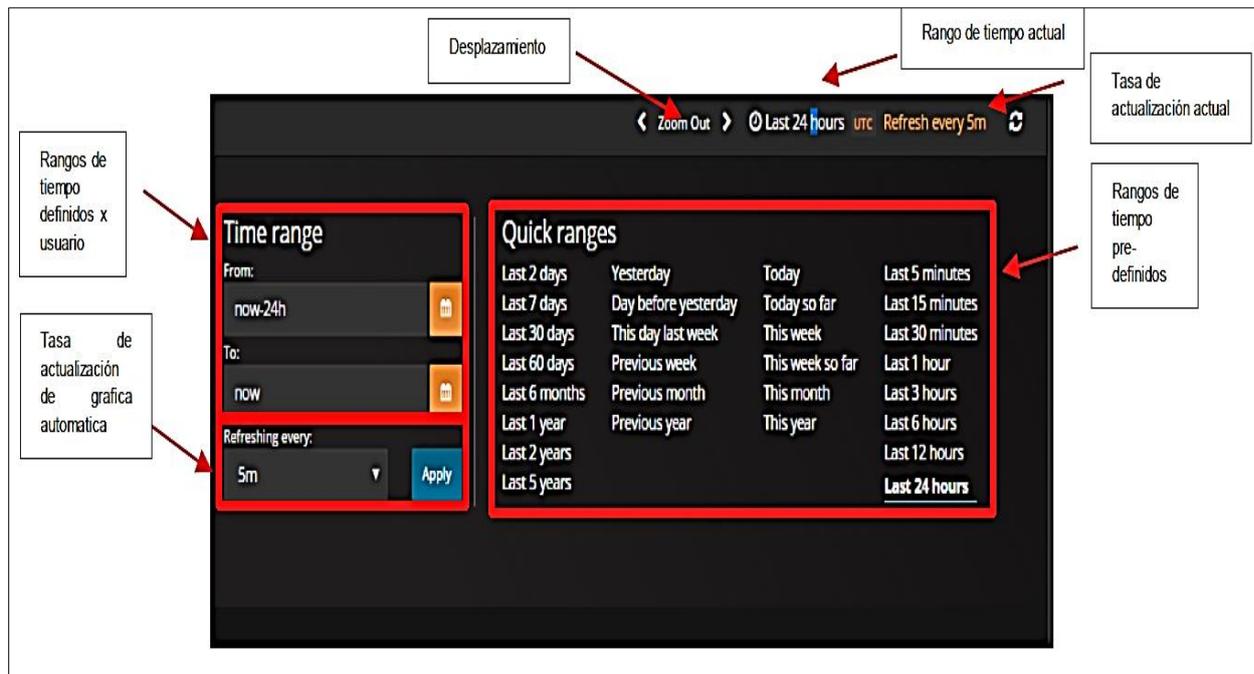
*Nota.* De <https://trending.joyglobal.com/dashboard/db/a-default-trends-home?orgId=19> por Joy Global (2021).

La plataforma Grafana actualiza los datos cada cierto intervalo de tiempo. El usuario tiene la posibilidad de seleccionar y manipular estos tiempos de actualización de la plataforma, es decir, puede tener la opción de actualizar los datos en tiempo real, cada 5, 10, 20 o 60 segundos, dependiendo de la comodidad del usuario, como se muestra en la Figura 42.

La plataforma interactiva tiene múltiples opciones de personalización para cada usuario, desde el color de fondo, hasta como visualizar cada dashboard o panel de control, para un mejor análisis, también la plataforma de Grafana está configurado en el lenguaje de programación JSON, el cual permite al usuario definir sus propias configuraciones dependientes del nivel de programación del usuario.

**Figura 42**

*Rango de tiempo y tasas de actualización*



*Nota.* De “instructivo para ingreso y navegación en plataforma Grafana”, por Joy Global (2017).

### 3.1.8. Datalogger: Phoenix

“Remote Health Monitoring toma datos sin procesar de una máquina de minería y los carga en una base de datos ubicada en el centro de datos de Joy Global. Para hacer esto, utilizamos el software de registro de datos instalado en la GUI de la sala de la derecha de la máquina para recopilar, empaquetar y enviar datos” (Joy Global ,2016, p.03).

El software del Datalogger es instalado como una imagen en el sistema operativo Centurión 5.2 y versiones anteriores (Joy Global ,2016).

De acuerdo con lo mencionado en Joy Global (2014), el Datalogger debe ser configurado manualmente. No se debe usar el programa PUT. Este programa ha presentado algunos problemas y por el momento no se recomienda usar para configurar el Datalogger. Los puntos que se deben considerar durante la configuración de este son la revisión y configuración de archivo, los Tags y la configuración de hora. La idea es que los archivos generados por el Datalogger no se estén generando y enviando a las horas correspondientes.

### 3.1.9. Módem

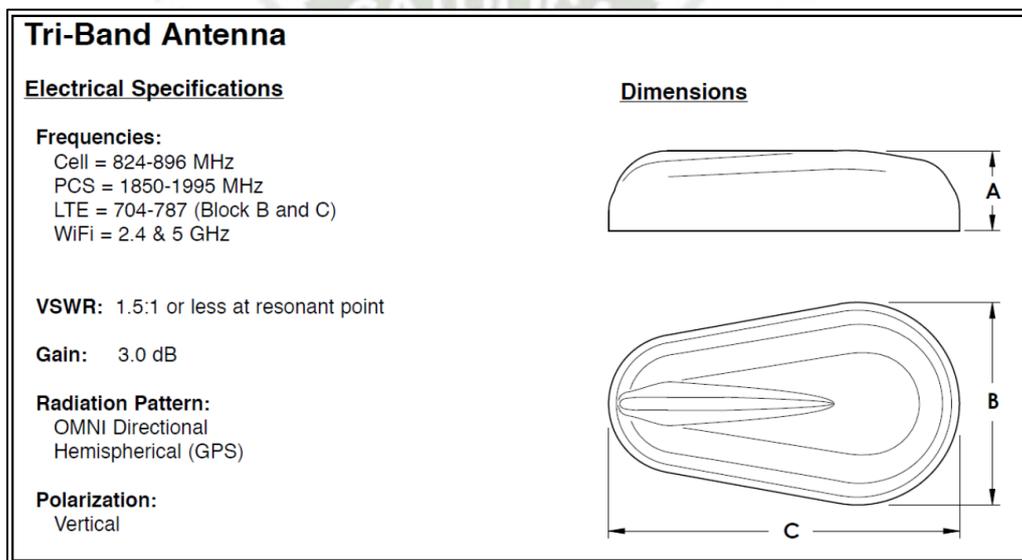
Un módem es un dispositivo que realiza la función de convertir la señal del ISP, que es analógica, a una señal digital, que es la que entienden los dispositivos, y enviarla al aparato al que esté conectado (Nieto, J. G. 2019).

### 3.1.10. Antena Omnidireccional

“La antena tipo mouse tiene mejor captación de señal que las antenas de tipo vara en una compañía minera de tajo abierto al sur del país” (Joy Smart ,2017). Vemos las especificaciones de una antena tipo Mouse Tri Band en la Figura 43.

**Figura 43**

*Antena tipo mouse Tri Band*



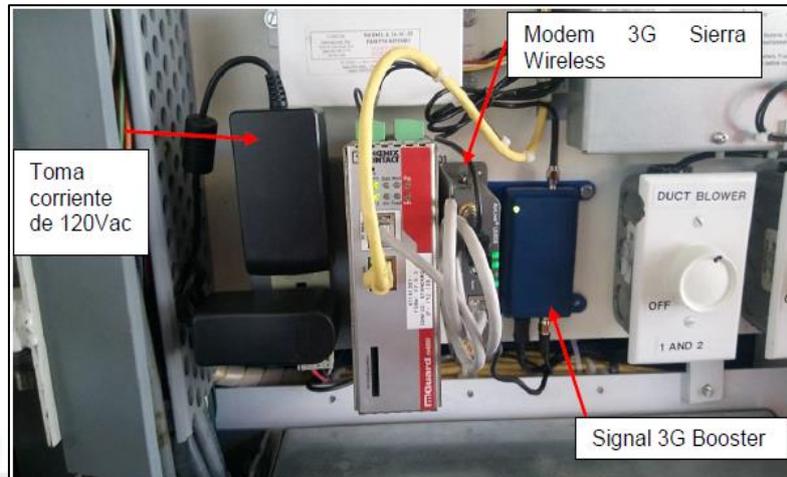
*Nota.* De “Prueba de ganancia de antenas”, por Joy Smart (2017).

### 3.1.11. Booster (repetidor de datos)

Los amplificadores de señal celular son dispositivos implementados en redes celulares para ayudar principalmente a restablecer conexión entre nodos móviles y estación base en regiones de recepción de señal débil. También se pueden utilizar para ampliar rango de cobertura celular amplificando y retransmitiendo la señal débil de la estación base a lo largo de las direcciones deseadas. Estos repetidores han encontrado aplicaciones muy útiles en las diversas generaciones de redes celulares como señal. En la Figura 44 se visualiza el booster de señal 3G y su conectividad. Onwuka et al. (2018)

**Figura 44**

*Booster de señal de 3g en pala eléctrica P&H 4100XPC*



*Nota.* De “Reporte de instalación PreVail”, por Joy Global (2016).

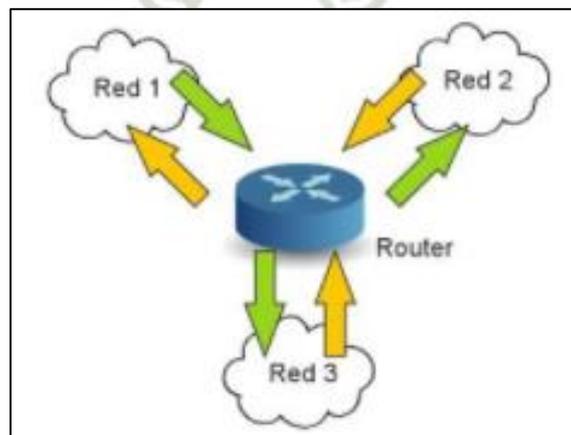
**3.1.12. Router (para dar la IP de datos de comunicación)**

El término Router se traduce como enrutador o encaminador. Valdivia (2014) refiere que, en las redes telemáticas, un Router es un dispositivo para unir redes y para elegir una ruta óptima que se deben seguir los mensajes desde un equipo a otro. Para poder unir redes, el Router debe tener una interfaz por cada red a la que se conecta, y cada una de las interfaces del Router debe tener asignada una dirección IP válida en cada una de las redes, por ejemplo, en la Figura 45 se puede ver al Router como elemento de unión de tres redes distintas.

El Router tiene las principales funciones de elegir las mejores rutas de salida para los mensajes y la conmutación de los paquetes hacia la interfaz de salida adecuada.

**Figura 45**

*Router uniendo tres redes*



*Nota.* De “Redes telemáticas”, por Valdivia (2014)

**Figura 46**

*Router FL MGUARD RS*



*Nota. De*” Catálogo Phoenix Contact “por Phoenix Contact (2011).

En la Figura 46 se ve una imagen del router FL MGUARD RS, el cual es instalado en todos los equipos como parte del hardware para poner operativo el sistema de monitoreo remoto en las mineras.

## Capítulo IV

### 4. Casos de Estudio - Aplicación de RHM en la Gestión de Mantenimiento

#### 4.1. Metodología de implementación de análisis de casos

Para el análisis de los casos de estudio que se desarrollarán en la presente tesis, se utilizó una metodología que consta de seis pasos ordenados, que son:

##### 4.1.1. Análisis de criticidad

El análisis de Criticidad es una metodología que clasifica a los equipos de acuerdo con su importancia en operaciones mina según su producción, en caso de fallar y según los posibles daños o accidentes que pudiera ocasionar.

El nivel de criticidad lo determinan: el área de operaciones, el área mantenimiento, y la gerencia, quienes determinaran la clasificación de prioridades para el MP y MPd.

Para fines de la investigación del presente trabajo se desarrollará dos análisis de criticidad. En primer lugar, el análisis de criticidad de los equipos de carguío en operaciones mina para determinar el equipo a analizar, y después de los sistemas críticos de este equipo, la Pala P&H 4100 XPC.

##### 4.1.1.1 Análisis de criticidad de los equipos de carguío

Se realizará el análisis a los equipos de carguío del área de operaciones mina y los criterios de evaluación utilizados fueron: Factor de recurrencia de eventos de falla, factor operacional, factor de flexibilidad operacional, factor de costos de mantenimiento correctivo, factor de seguridad y medio ambiente y consecuencia.

Para determinar la criticidad utilizaremos el método de matriz de criticidad que es bastante sencillo y práctico, este modelo está construido en base al análisis de sistemas en función al concepto de riesgo. (Parra y Crespo, 2012).

**Figura 47**

*Cuadro de Matriz para análisis de criticidad de Equipos de Carguío*

<b>Frecuencia de Fallas - FF</b>		
Muy malo	Mayor a 60 eventos al año	4
Malo	Entre 40 y 60 eventos al año	3
Regular	Entre 20 y 40 eventos al año	2
Bueno	Menos de 20 eventos al año	1
<b>Impacto Operacional - IO</b>		
	MTBF<350	10
	351<MTBF<550	7
	551<MTBF<750	5
	751<MTBF<1000	3
	MTBF>1000	1
<b>Flexibilidad Operacional - FO</b>		
	No se cuenta con repuestos en stock para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes	4
	Se cuenta con repuestos en stock que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios	2
	Se cuenta con repuestos en stock, tiempos de reparación y logística pequeños	1
<b>Costo de Mantenimiento - CM</b>		
	Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares	2
	Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares	1
<b>Impacto en Seguridad, higiene y medio Ambiente - SHA</b>		
	Riesgo Alto	16
	Riesgo Medio	8
	Riesgo Mínimo	4
	Ningún Riesgo	2

*Nota.* Elaboración Propia

$$CTR = FF * C$$

Donde:

CTR: Criticidad total por riesgo

FF: Frecuencia de fallas (fallos / año)

C: Consecuencia de los eventos de falla.

El valor de la consecuencia se obtiene a partir de la siguiente expresión

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

Donde:

IO: Factor de impacto en la producción

FO: Factor de flexibilidad operacional

CM: Factor de costos de mantenimiento

SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y medio ambiente

Reemplazando todo en la fórmula inicial tendremos que:

$$CTR = FF * [(IO * FO) + CM + SHA]$$

**Tabla 3**

*Análisis de Criticad de Equipos de Carguío.*

Modelo	FF	IO	FO	CM	SHA	CTR
PC-2000	2	3	2	2	8	32
LT-2350	3	3	2	2	8	48
7495 Hydracrowd	2	9	8	4	16	184
4100 XPC	2	15	8	4	16	280
6060 FS	4	9	4	2	8	184

*Nota: Elaboración Propia*

Como se puede observar en la Tabla 3, las Palas Eléctricas P&H 4100XPC son los equipos de carguío más críticos dentro de las operaciones mina.

Para propósitos de la tesis se analizará las tres palas eléctricas P&H cuya información se detalla en la siguiente tabla.

**Figura 48** *Selección de Palas a analizar*

*Cuadro de Selección de Palas a analizar*

Tipo	Código	Description of functional location (MODELO)	Serie
Palas	SH003	Shovel P&H 4100XPC-DC	ES41241
Palas	SH004	Shovel P&H 4100XPC-DC	ES41249
Palas	SH005	Shovel P&H 4100XPC-DC	ES41311

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.1.1.2 Análisis de criticidad de los sistemas de la pala P&H 4100 XPC**

De la misma manera en la Figura 49 se desarrolló el análisis de criticidad de los sistemas de la Pala P&H 4100 XPC donde los criterios de evaluación utilizados fueron: Factor de recurrencia de eventos de falla, factor operacional, factor de flexibilidad operacional, factor de costos de mantenimiento correctivo, factor de seguridad y medio ambiente y consecuencia.

**Figura 49**

*Cuadro de Criterios para análisis de criticidad de P&H 4100 XPC*

<i>Criterios de evaluación para análisis de criticidad de sistemas de la pala P&amp;H 4100 XPC</i>		
<b>Frecuencia de Fallas - FF</b>		
Muy malo	Mayor a 60 eventos al año	4
Malo	Entre 40 y 60 eventos al año	3
Regular	Entre 20 y 40 eventos al año	2
Bueno	Menos de 20 eventos al año	1
<b>Impacto Operacional - IO</b>		
	MTBF<350	10
	351<MTBF<550	7
	551<MTBF<750	5
	751<MTBF<1000	3
	MTBF>1000	1
<b>Flexibilidad Operacional - FO</b>		
	No se cuenta con repuestos en stock para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes	4
	Se cuenta con repuestos en stock que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios	2
	Se cuenta con repuestos en stock, tiempos de reparación y logística pequeños	1
<b>Costo de Mantenimiento - CM</b>		
	Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares	2
	Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares	1
<b>Impacto en Seguridad, higiene y medio Ambiente - SHA</b>		
	Riesgo Alto	16
	Riesgo Medio	8
	Riesgo Mínimo	4
	Ningún Riesgo	2

*Nota: Elaboración Propia*

*Nota.* Elaboración propia.

Así mismo como se desarrolló en análisis de criticidad en el punto 3.1.1.1 calculamos el CTR (Criticidad Total por Riesgo) para los sistemas de la Pala, como se puede observar en la Tabla 4. En base a los resultados de los análisis de criticidad, de los sistemas más críticos, se escogieron 3 casos de estudio que se analizan en esta tesis.

**Tabla 4**

*Análisis de Criticad de Sistemas de la Pala P&H 4100 XPC*

Modelo	FF	IO	FO	CM	SHA	CTR
Sistema de Aire	3	10	1	1	2	39
Sistema Propel	2	5	2	1	4	30
Sistema de Levante	2	10	2	2	4	52
Sistema Swing	2	7	2	2	4	40
Sistema de Empuje	2	10	2	2	4	52

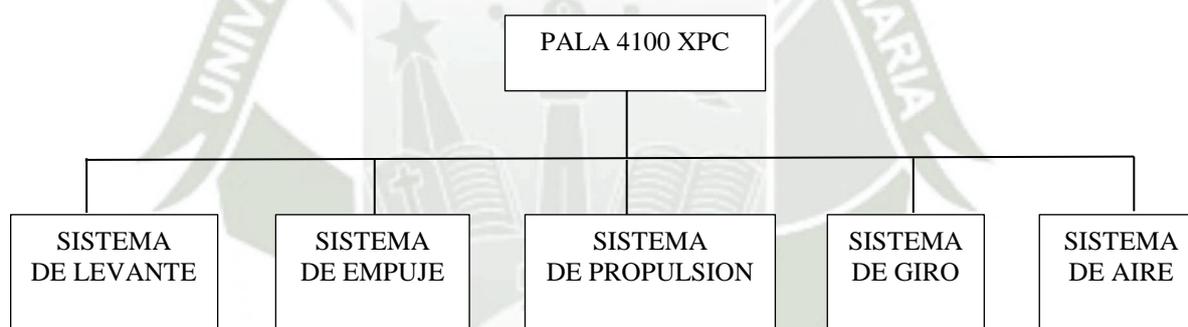
*Nota: Elaboración Propia*

#### 4.1.2. Ubicación por sistemas, subsistemas y componentes del equipo

Se ubicará por sistemas, subsistema y componente de la pala los casos a analizar para que de esta manera se tenga una ubicación espacial del mismo en el Anexo Tabla 13 se observa toda la distribución completa de una pala 4100XPC.

**Figura 50** *Arbol de sistemas de Pala 4100 XPC*

*Árbol de Sistemas de Pala 4100 XPC*



*Nota. Elaboración Propia*

#### 4.1.3. Modo de falla y efecto de falla

El Análisis de Modo y Efecto de Falla [AMEF] es una herramienta de mejora de procesos, proactiva, sistemática y de trabajo en equipo que permite rediseñar un proceso para evitar fallas o errores antes de que estos ocurran (Bestratén, 2004).

En este punto de la metodología haremos la descripción del posible modo de falla indicando la forma o manera en que puede ocurrir una falla y el efecto de falla que es el resultado o consecuencia del modo (falla).

#### 4.1.4. Monitoreo de Falla

En esta parte de la metodología se indica cómo se ubica la información de la falla a través de las plataformas de monitoreo remoto Prevail y Grafana.

#### 4.1.5. Análisis de datos encontrados

En esta parte de la metodología se analiza los datos encontrados en las plataformas de monitoreo remoto en búsqueda de las posibles causas del modo de falla.

#### 4.1.6. Solución de Falla

Después de monitorear y analizar los datos encontrados a través de los sistemas de monitoreo remoto, y se busca una solución teórica que evite la posible falla.

### 4.2. Caso de Estudio 1: Sistema de Frenos de Aire de Sistema de Giro

#### 4.2.1. Análisis de criticidad

De acuerdo con la Tabla 4, mostrada anteriormente, se determinó que el sistema de frenos tiene una criticidad de 39, para lo cual se muestra en la Tabla 5 la matriz de criticidad del sistema de aire.

**Tabla 5**  
*Matriz de criticidad del sistema de aire*

Frecuencia de Fallas - (FF)	4					
	3			Sistema de Aire		
	2					
	1					
		10	20	30	40	50
Criticidad Total por Riesgo - $[(IO \times FO) + CM + SHA]$						

*Nota. Elaboración Propia*

#### 4.2.2. Ubicación por sistemas, subsistemas y componentes del equipo

Según la ubicación del modo de falla detectado este se ubica en el sistema de Swing, en subsistema giro mecánico, en el ensamblaje de los frenos de giro como se muestra en la Figura 51.

**Figura 51**

*Cuadro de ubicación de sistema de frenos de Giro*

<i>Ubicación de sistema de frenos de Giro</i>		
<b>4100 XPC</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Sub Sistema</b>	<b>Componente</b>
Sistema de Giro	Sistema de Giro Mecánico	Ensamblaje de Frenos de Giro

*Nota: Elaboración Propia. La información es un extracto de la Tabla 13 en los Anexos donde se muestra toda la distribución de componentes.*

*Nota.* Elaboración Propia

#### **4.2.3. Modo de falla y efecto de falla**

Este primer caso muestra un modo de falla en el sistema de frenos de aire de la pala eléctrica, donde el modo de falla recurrente es el desgaste prematuro y posterior falla de los frenos de aire. La falla consiste en que el freno demora en activarse, es decir, debería frenar en un tiempo máximo de dos segundos, pero cuando el freno está desgastado esta demora hasta 4 segundos o no frena, causando una condición de seguridad y de funcionalidad del equipo.

Este modo de falla no puede ser detectada o la causa raíz no puede ser evaluada directamente en el equipo debido al difícil acceso a la unidad y porque no se puede desarmar un freno en funcionamiento, solo se puede detectar la falla por que el operador indica que la pala no frena o demora mucho en frenar. Con la tecnología de monitoreo remoto del equipo se puede realizar un análisis remoto de este modo de falla para encontrar la posible falla prematura y solucionar este problema antes que falle complemente el componente en funcionamiento, lo que haría que el equipo quede inoperativo.

La pala consta de 6 frenos activados por aire, el sistema es normalmente cerrado, es decir, cuando el equipo está apagado o en falla los frenos están activados, pero cuando el equipo está en funcionamiento, el aire llega a los frenos para liberarlos y el equipo pueda trabajar. Cuando el equipo requiere frenar se le quita la presión de aire; el sistema de aire general de la pala tiene 150 PSI de presión generados por el compresor de aire, pero el sistema de frenos requiere una regulación máxima de 110 PSI para su funcionamiento, ya que los frenos se activan a 86 PSI.

El sistema de frenos debe ser calibrado a 110 PSI, si tiene mayor presión los frenos se desgastan rápidamente por tener resortes internos que reducen su vida útil por el exceso de presión, para entender este funcionamiento se describe la siguiente analogía, los resortes de la suspensión de un vehículo desgastan al pasar por baches o rompemuelleres constantemente,

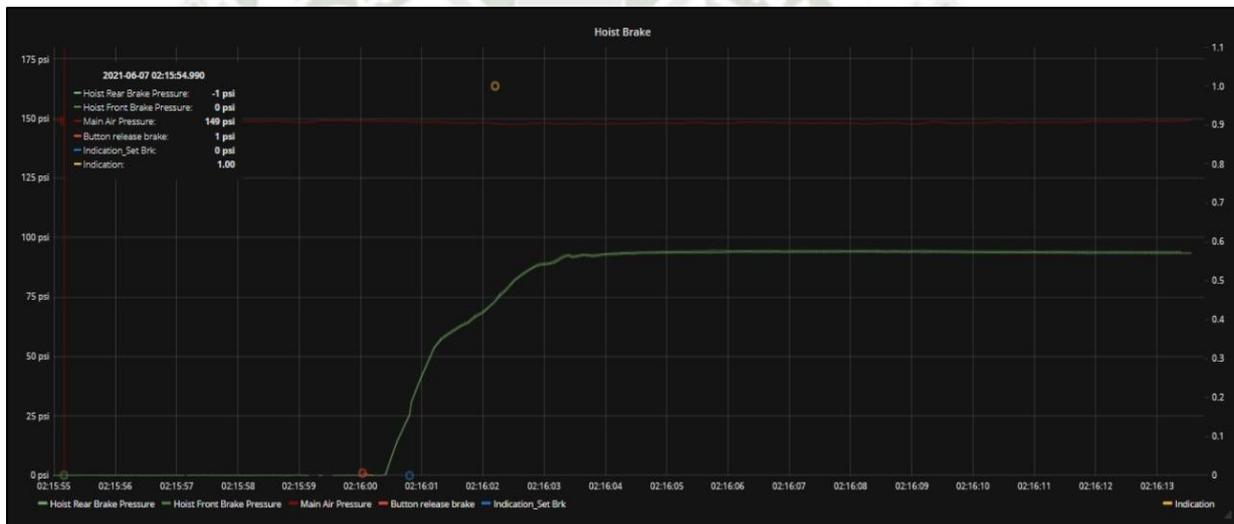
igualmente el freno de aire al trabajar con sobrepresión es como si trabajar constantemente sobre rompemuellas, desgastando el tiempo de vida de los resortes, si el freno debe durar 8000 horas, trabajando con sobrepresión solo llegan a 4000 horas o menos.

#### 4.2.4. Monitoreo remoto de falla

En la Figura 52 se muestra la evaluación realizada a través del sistema remoto donde se puede visualizar la presión del sistema general de aire, la presión de funcionamiento de los frenos y la velocidad de activación de los frenos de aire. Con estas tres variables podemos inferir que el modo de falla presente es la sobrepresión en el sistema, así poder avisar al personal técnico en campo para que en oportunidad realice la regulación respectiva.

**Figura 52**

*Grafana de activación de freno*



*Nota.* De “Grafana Trending”, por Joy Global (2021).

También, en la Figura 53, se observa diferentes valores estadísticos que te muestra el sistema, por la experiencia y conocimiento del sistema podemos inferir el modo de falla, se muestra un promedio de tiempo de activación de freno, el tiempo máximo en el cual se activó el freno y el tiempo del último frenado. Se observa que en el sistema de Swing el freno demora más de 4 segundos, y también se hace una verificación de estos datos en un timeline, en otra grafica donde se visualiza la activación del freno en cada segundo. Tambien se visualiza en la Figura 53 que la presion de freno llega a 149 PSI, lo cual desgasta el freno.

**Figura 53**

*Cuadro de tiempo de activación de freno*

Brake Release			
Metric	Avg	Max	Current
Crowd Brake (s)	0.73	2.13	0.76
Hoist Brake (s)	1.81	3.17	1.75
Swing Brake (s)	4.06	4.56	3.87
Propel Brake (s)	0.26	0.49	0.27

*Nota.* De “Grafana Trending”, por Joy Global (2021).

Sin este sistema de monitoreo remoto no existiría forma de solucionar las posibles fallas, ya que antes lo que se hacía era simplemente cambiar el freno antes de su tiempo de vida estimado, generando paradas del equipo en operación e incrementando los costos de mantenimiento.

En la Figura 54, Grafana nos permite visualizar en un cuadro el tiempo de accionamiento de los frenos de principales sistemas de funcionamiento de la pala Empuje, Levante, Swing y Propel; además, muestra el tiempo de liberación de freno, la presión de freno, la presión principal del sistema en PSI.

**Figura 54**

*Visualización de frenos en tabla de la plataforma grafica Grafana*

Brake Set			Brake Release			Brake Pressure			
Metric	Avg	Max	Metric	Avg	Max	Metric	Avg	Max	Current
Crowd Brake (ms)	246 ms	400 ms	Crowd Brake (s)	0.73	2.13	Propel Left (PSI)	5 psi	102 psi	0 psi
Hoist Brake (ms)	420 ms	570 ms	Hoist Brake (s)	1.81	3.17	Propel Right (PSI)	6 psi	102 psi	0 psi
Swing Brake (ms)	596 ms	767 ms	Swing Brake (s)	4.06	4.56	Swing Rear (PSI)	72 psi	100 psi	96 psi
Propel Brake (ms)	380 ms	548 ms	Propel Brake (s)	0.26	0.49	Swing Front Right (PSI)	72 psi	98 psi	96 psi
						Swing Front Left (PSI)	71 psi	98 psi	95 psi
						Hoist Rear (PSI)	62 psi	98 psi	96 psi
						Hoist Front (PSI)	64 psi	97 psi	95 psi
						Crowd (PSI)	64 psi	97 psi	95 psi

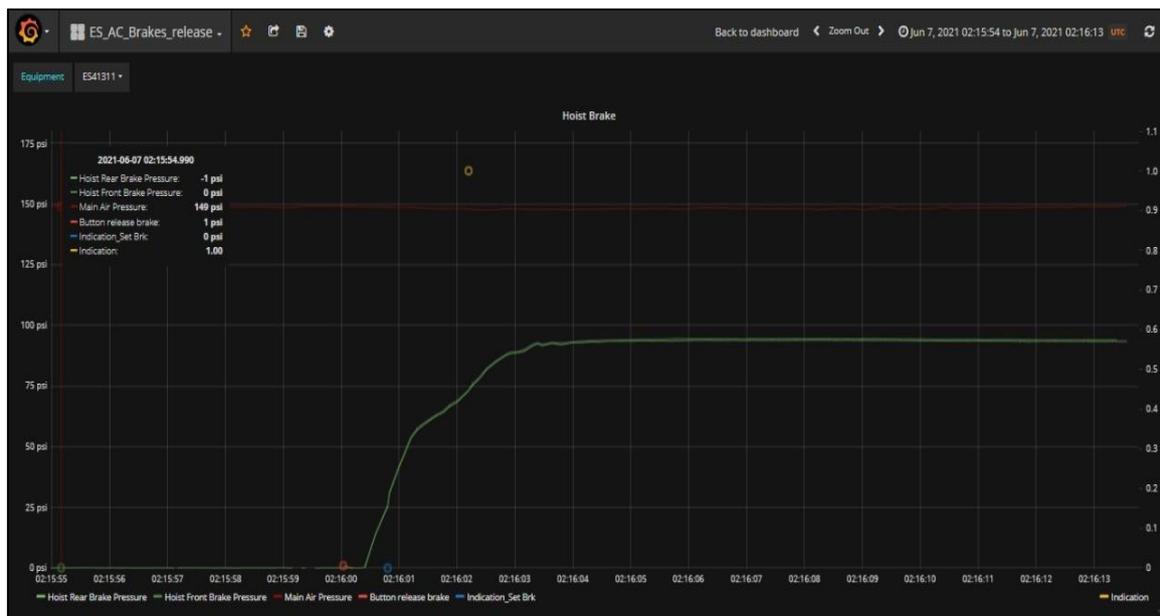
*Nota.* De “Plataforma Grafana”. Por Joy Global (2021).

Se observa en la Figura 55, como se realiza la activación del freno en una gráfica interactiva, donde el eje x es tiempo y el eje y la presión; en esta se puede ver cuando demorar

en la activación del freno, esta herramienta nos ayuda a verificar, que todas las presiones estén bien seteadas y si el tiempo de activación del freno es muy largo, puede determinarse que este la tiene los resortes vencidos, por ende, ya se requiere cambio.

**Figura 55**

*Tiempo de accionamiento de Frenos*



*Nota.* De “Plataforma Grafana”, por Joy Global (2021).

#### 4.2.5. Análisis de datos encontrados

Con los datos obtenidos a través del análisis de los gráficos del sistema de monitoreo remoto, podemos determinar que hay un problema en el sistema de frenos de Swing, por ende, primero los técnicos tienen que subir al equipo para realizar una revisión de mantenimiento en la parada de mantenimiento, por lo que se genera una OT como podemos ver en el Apéndice Figura 92 Orden de trabajo de regulación de frenos. Los técnicos deben de realizar esta calibración de la correcta presión del freno cada 500 horas en los mantenimientos de los equipos, pero esta presión suele descalibrarse por funcionamiento normal, o son mal calibradas por los técnicos o no se verifica en el Sistema Centurión que es medida por un transductor de presión ubicada en cada gabinete eléctrico de cada freno, y esta sea igual a la presión de aire que marca el manómetro; ocurre que antes de las 500 horas de trabajo esta presión de descalibra y no puede ser detectada, ocasionando que las 8000 horas de vida útil de los frenos se reduzcan a menos de la mitad.

#### 4.2.6. Solución al modo de falla

La solución para este modo de falla consiste en verificar diariamente en el sistema de monitoreo remoto las condiciones actuales de todas presiones de funcionamiento del sistema de frenos de cada sistema, también cuando se realiza la calibración de presión de frenos se debe de visualizar también en el Sistema Centurión la presión que marca el transductor de presión y comparar con el manómetro, ambos deben de ser muy similares, sino también se debe de cambiar el manómetro. Se debe de calibrar la presión a 100 a 110 PSI, para evitar el desgaste prematuro de frenos.

#### 4.3. Caso de Estudio 2: Lubricación de Sistema de Levante.

##### 4.3.1. Análisis de Criticidad

De acuerdo con la Tabla 5 se determinó que el sistema de levante tiene una criticidad de 52, se muestra en la Tabla 6 la matriz de criticidad del sistema de levante.

**Tabla 6**

*Matriz de criticidad del sistema de aire.*

Frecuencia de Fallas - (FF)	4					
	3					
	2					Sistema de Levante
	1					
		10	20	30	40	50
Criticidad Total por Riesgo - [(IO x FO)+ CM + SHA]						

*Nota. Elaboración Propia*

##### 4.3.2. Ubicación por sistemas, subsistemas y componentes del equipo

De acuerdo con la ubicación de los componentes en el caso, su ubicación en la pala es en el sistema de levante, en el subsistema de levante mecánico, en el componente de bomba de lubricación de levante.

**Figura 56**

*Cuadro de ubicación de la bomba de lubricación de levante*

<i>Ubicación de la Bomba de Lubricación de Levante</i>		
4100 XPC		
Sistema	Sub Sistema	Componente
Sistema de Levante	Sistema de Levante Mecánicos	Bomba de Lubricación de Levante

*Nota: Elaboración Propia, estos datos es un extracto de la Tabla 13 en los Anexos donde se muestra toda la distribución de componentes.*

*Nota.* De Elaboración Propia.

Estos datos es un extracto de la Tabla 13 en los Anexos donde se muestra toda la distribución de componentes.

#### 4.3.3. Modo de falla y efecto de falla

El análisis de reporte sobre una pala en una minera de tajo abierto en el sur peruano el día 26 de junio del 2021, mostrados en se reportó un evento en el sistema de lubricación de transmisión de Levante, se caracterizó el nivel de severidad como nivel B mantenimiento programado en PM (Joy Global, 2020). De acuerdo con los criterios de severidad de la empresa de monitoreo, que se muestran en la Figura 57.

**Figura 57** *Cuadro de criterios de severidad*

*Cuadro de criterios de severidad*

<i>Tabla de criterios de severidad</i>	
CRITERIO DE SEVERIDAD	
	Equipo normal
<b>A</b>	Equipo en observación y seguimiento
<b>B</b>	Mantenimiento programado en PM
<b>C</b>	Inspección y/o cambio de componente en una semana
<b>D</b>	Inspección y/o cambio de componente urgente

*Nota: Tomado de "Análisis reporte RHM", por Joy Global 2021*

*Nota.* De "Análisis reporte RHM", por Joy Global 2021

Se puede apreciar en los logs de eventos Figura 58, que se tienen múltiples eventos de lubricación de TX de Levante, tales como alta temperatura de aceite de lubricación, flujo bloqueado de bomba de Levante, falla de bomba de lubricación de Levante y falla de flujo de lubricación de Levante.

**Figura 58**

*Log de eventos Smart Service Report*

Month/Day	Outage Id	Duration (min)	Local Time	Code	Description (Pink is the PreVail identified cause)
06/26/2021			00:03:43.330	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021	957550	7.03	01:41:36.933	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021	957558	8.10	01:54:03.920	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021			02:17:27.547	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021	957575	5.83	03:13:09.323	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021			03:36:01.480	04	04-A01D07
06/26/2021	957577	0.00	03:41:25.090	03	03-HOISTLUBEBLOCKAGE
06/26/2021			05:45:26.783	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021			06:03:42.153	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021			07:51:01.567	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021			14:12:26.537	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021			15:57:04.337	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/26/2021			18:03:42.660	04	04-Hoist_Lube_Flow_Fault_1
06/15/2021	953532	6.98	23:24:46.843	03	03-E32A01C
06/25/2021	957335	2.50	11:16:31.313	03	03-U63X13
06/25/2021	957335	2.50	11:17:13.480	03	03-U63X13
06/25/2021	957335	2.50	11:18:09.603	03	03-U63X13
06/25/2021	957335	2.50	11:18:35.153	03	03-U63X13
06/25/2021	957341	1.25	11:43:03.137	03	03-U63X13
06/26/2021	957550	7.03	01:35:59.323	03	03-U63X13
06/26/2021	957550	7.03	01:41:38.287	03	03-U63X13
06/26/2021	957555	4.98	01:46:02.407	03	03-U63X13
06/26/2021	957558	8.10	01:53:21.157	03	03-U63X13
06/26/2021	957558	8.10	01:54:04.923	03	03-U63X13
06/26/2021	957575	5.83	03:07:47.720	03	03-U63X13
06/26/2021	957577	0.00	03:41:25.090	03	03-HOISTLUBEBLOCKAGE

*Nota.* De “SAP PM”, adaptado de (Joy Global, 2021).

**4.3.4. Monitoreo remoto de falla**

Mediante el graficador de datos Grafana, se puede visualizar en la Figura 59 el aceite de Levante alcanzó una temperatura de 80°C el día 26 de junio, pero la condición de incremento de temperatura ya se presentada desde la fecha 20 de junio. El día 26 reportó a tiempo real el evento, que si no fuese por los ingenieros en la estación Smart Global que monitorizan el estado de los equipos a tiempo real, esta falla probablemente en el peor de los escenarios posibles no hubiera sido detectado a tiempo, y así se hubiese originado una parada no programada.

**Figura 59**

*Grafana de temperatura de aceite Levante*



*Nota.* De “Grafana Trending”, por Joy Global (2021).

Ya teniendo la condición detectada previamente podemos realizar un plan de acción para la intervención sabiendo directamente los puntos de inspección: Inspeccionar funcionamiento de bomba de lubricación, estado de filtros y evaluación de aceite de lubricación. Inspeccionar correcto estado de drive de lubricación de Levante. Inspeccionar circuito de potencia y de control de accionamiento de bomba de Levante. Inspeccionar configuración en “Pantalla de Opciones del Software Control Builder” sobre las opciones de la bomba de Levante. Realizar pruebas dinámicas de funcionamiento de la bomba.

#### **4.3.5. Análisis de datos encontrados**

Cuando se realizó la inspección en campo de las condiciones encontradas se halló material particulado excesivo en el filtro de 20 micras de la transmisión de Levante. Se visualiza el reporte de filtros del Levante en la Figura 60.

**Figura 60**

*Corte de filtro de recirculación de transmisión de Levante*



Nota. De “Grafana Trending”, por Joy Global (2021).

#### 4.3.6. Solución al modo de falla

La solución consiste en determinar de dónde viene el particulado presente en los filtros y en la rejilla, para cambiar el componente dañado. También continuar con el seguimiento de condiciones presentes en la transmisión, verificando si la temperatura vuelva a incrementarse

después de haber cambiado los filtros y haber limpiado la rejilla de seguridad, también se decidió cambiar la bomba de la recirculación de la transmisión de levante.

#### 4.4.Caso de Estudio 3: Sobre temperatura en motor de Empuje

##### 4.4.1.Análisis de Criticidad

De acuerdo con la Tabla 4 se determinó que el sistema de levante tiene una criticidad de 52, se muestra en la Tabla 7 la matriz de criticidad del sistema de empuje.

**Tabla 7**

*Matriz de criticidad del sistema de empuje.*

Frecuencia de Fallas (FF)	4					
	3					
	2					Sistema de Empuje
	1					
		10	20	30	40	50
Criticidad Total por Riesgo - [(IO x FO) + CM + SHA]						

Nota: Elaboración Propia

##### 4.4.2.Ubicación por sistemas, subsistemas y componentes del equipo

De acuerdo con el caso la ubicación de los componentes en evaluación se encuentra en el sistema de empuje, en el subsistema de empuje mecánico y eléctrico, en las estructuras y los componentes de motor de ventilación de empuje.

**Figura 61**

*Cuadro de corte de ubicación de sistema de empuje*

<i>Ubicación de sistema de Empuje</i>		
<b>4100 XPC</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Sub Sistema</b>	<b>Componente</b>
Sistema de Empuje	Sistema de Empuje Mecánica	Estructuras
	Sistema de Empuje Eléctrico	Motor de ventilación de empuje
<small>Nota: Elaboración Propia, estos datos es un extracto de la Tabla 13 en los Anexos donde se muestra toda la distribución de componentes.</small>		

Nota. Elaboración Propia,

##### 4.4.3.Modos de falla y efecto de falla

Se presenta el siguiente modo de falla, se dan alertas de sobre temperatura en el motor de Empuje en Campo, el sistema remoto lanzó advertencias sobre el incremento de temperatura, ocurridas los días 8 y 9 de noviembre, a las 14:00 horas como se muestra en la Figura 62.

**Figura 62**

*Advertencias del sistema remoto*

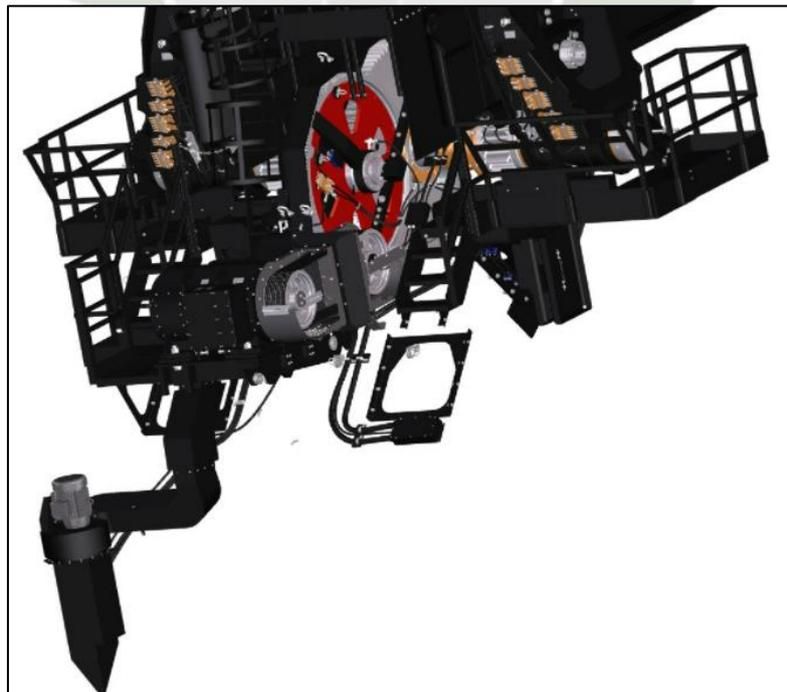
Action	Machine	Mine Time	Fault Code	Fault Description	SubSystem	Severity
	ES41241 (SH003)	11/9/2018 14:48:13.373	04-B01X01V	Crowd FLD Over Temp Alarm	Crowd	332
	ES41241 (SH003)	11/8/2018 13:49:52.810	04-B01X01V	Crowd FLD Over Temp Alarm	Crowd	332

*Nota.* Adaptado de “Sistema PreVail”, por Joy Global (2018)

En la Figura 63 vemos un esquema del sistema de enfriamiento de la pala 4100 XPC; y en la Figura 64 el esquema del motor de Blower de la misma pala. Paralelamente, cuando se tuvo esta falla también se presentó una falla en los ventiladores de enfriamiento de la sala de máquinas, lo cual no permitida determinar adecuadamente la causa raíz directa del modo de falla descrito, esta OT se puede visualizar en el Apéndice Figura 96.

Del mismo modo, se realizó la verificación eléctrica del Blower lado derecho de la sala de máquinas, sin encontrar alguna falla que permita el calentamiento progresivo del motor de Empuje, esta inspección se puede verificar en el Apéndice Figura 93. También se realizó la inspección de tensado y alineamiento de la faja de Empuje como se observa en el Apéndice Figura 94 y Figura 95.

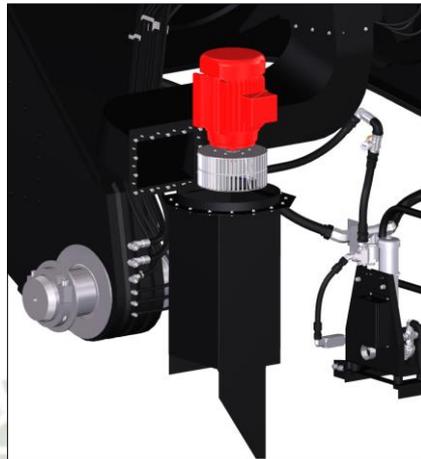
**Figura 63** *Sistema de enfriamiento del sistema de empuje de una pala eléctrica*  
*Sistema de enfriamiento del sistema de empuje de una pala eléctrica*



*Nota.* De “Sistema de visualización 3D Shovel”, por Joy Global 2021

**Figura 64**

*Motor de Blower en la sala de máquina de una pala 4100XPC*



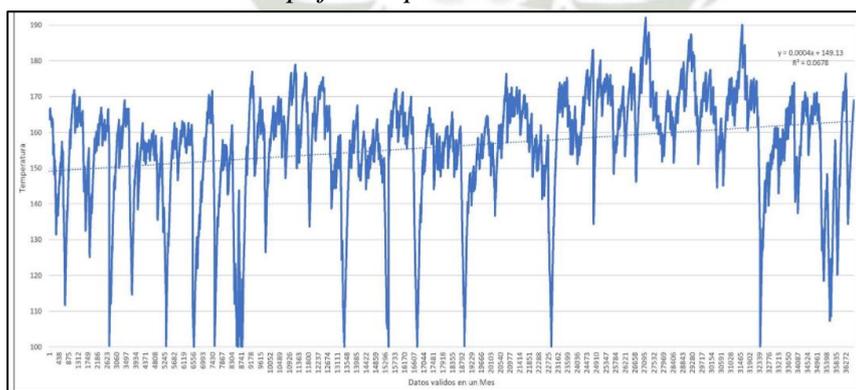
*Nota.* De “Sistema de visualización 3D Shovel”, por Joy Global (2021).

#### 4.4.4. Monitoreo remoto de falla

En el sistema de monitoreo remoto se observa que existe un incremento progresivo de la temperatura del motor de Empuje en el RTD de campo. En la Figura 65 también se visualiza que este incremento de temperatura se presenta en todos los sensores del motor, NDE, DE, Armadura, por lo que se presenta la condición inusual de incremento de temperatura cada día, este incremento aún no pasa los valores límites de alerta y de parada de equipo, pero dentro de ese rango de temperatura en el tiempo se da un incremento anormal.

**Figura 65**

*Temperatura de motor de Empuje campo*

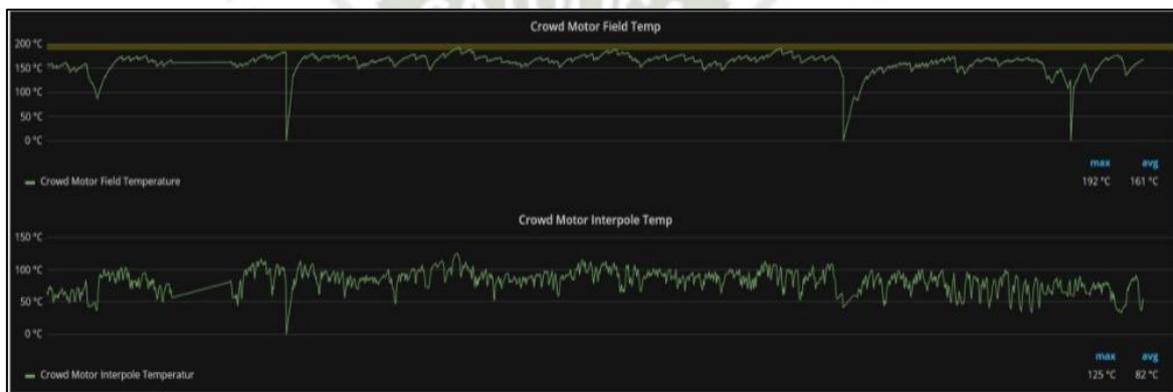


*Nota.* La gráfica muestra el incremento de temperatura de los últimos 30 días de 14°C ( $y=0.0004X + 149.13$ , donde  $y$  = temperatura;  $x$  = datos (1209 datos muestran en un día), Adaptado de “Grafana Trending”, por Joy Global 2021.

A través del sistema Grafana se verifica el comportamiento de incremento de temperatura, en los últimos siete días. Se extrae esta información y en el Excel se realiza una función estadística para determinar a través de una función lineal, cual es el factor de incremento de temperatura, para poder saber cuándo llegaría a la temperatura de alerta y de falla. También se detecta a través de Grafana el incremento de temperatura en otros RTD's, en la Figura 66, el incremento de temperatura en el motor de Empuje, y en la Figura 67 en incremento de temperatura de rodamiento del motor de Empuje.

**Figura 66**

*Temperatura de motor de Empuje*



*Nota.* Data de temperatura de la pala SH003, en los últimos 7 días y captura de pantalla de GUI de motor de Empuje de las 23:00 horas. Adaptado de “Grafana Trending”, por Joy Global (2021).

**Figura 67**

*Temperatura de rodamiento de motor de Empuje*



*Nota.* El 23 de agosto se registró un incremento de temperatura en el motor de Empuje alcanzando hasta 82°C. Adaptado de “Grafana Trending”, por Joy Global (2021).

Después del suceso ocurrido se decidió realizar seguimiento de manera inter diaria hasta fecha del mantenimiento programado del equipo. En el día del mantenimiento programado se ejecuta el backlog de inspección, pero igual sigue la condición del incremento de temperatura, es decir, no se encontró la causa raíz que causaba el problema del incremento de temperatura. Adicional a la revisión remota también se realizó una videoscopia para ver el estado de la transmisión de Empuje para descartar falla mecánica como se observa en el Apéndice Figura 98.

#### **4.4.5. Análisis de datos encontrados**

La causa raíz del problema se detectó en varias etapas, ya que inicialmente la condición detectada no podía ser determinada fácilmente, ya que se desconocía si era un problema mecánico o eléctrico, pero gracias al monitor remoto previamente se puede prever y tener todo los repuestos y elementos necesarios para actuar rápidamente.

En la Figura 68, se observa que se intervino en varias oportunidades el equipo para realizar inspecciones para saber cuál era la causa raíz. Primero se realizó la medición de temperatura del motor con pirómetro encontrando que el exceso de temperatura es real, se revisó el sistema eléctrico y frenos, encontrando todo normal. También, se inspecciono el Blower, o sistema de enfriamiento del motor, pero no se encontró condición. En la Figura 60 podemos ver un gráfico de las temperaturas límite del motor de Empuje.

En una segunda etapa de inspección programada, y con más tiempo para verificar la causa raíz se encontró dos observaciones: Primero, los ductos del Blower tenían una abertura por donde había presencia de fuga de aire y está cada vez se hacía más grande, debido a una soldadura de pernos en la estructura de los ductos del Blower.

La segunda y principal condición encontrada era que en el mantenimiento anterior los técnicos habían invertido las fases del motor eléctrico del Blower, causando que la dirección de giro de este cambiara, ocasionando que en vez que haya succión de aire este sea inverso. Sumando estas dos condiciones fue lo que provocada el incremento de temperatura del motor de Empuje. También se realizó el alineamiento de la faja de Empuje como se observa en la Notificación y posterior Orden de Trabajo, mayor detalle en el Apéndice Figura 97 y Figura 101.

**Figura 68**

Listado de intervenciones al equipo por el evento presentado

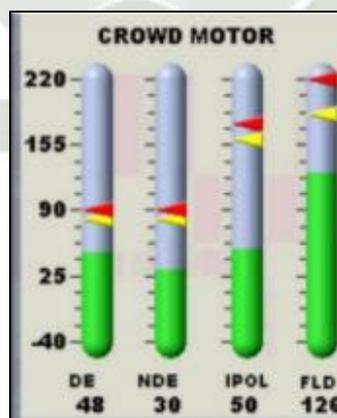
FLOTA	EQUIPO	Fecha	Tur	Hora Inicio	Hora Termina	Duración hora	Estado	Categoría	Descripción del Evento
4100 XPC	SH003	11-Aug-18	A	7:37	9:05	1.47	MTO	MTTO NO PROG	No Contractual, Evento operacional - pin de zapata salido
4100 XPC	SH003	13-Aug-18	A	10:44	11:01	0.28	MTO	MTTO NO PROG	Regulacion de compuerta
4100 XPC	SH003	13-Aug-18	A	14:43	15:29	0.77	MTO	MTTO NO PROG	Falla en ventilador de sala de maquinas
4100 XPC	SH003	13-Aug-18	B	0:00	5:00	5.00	MTO	MTTO PROG	Cambio de cable de Hoist
4100 XPC	SH003	13-Aug-18	B	5:00	7:00	2.00	MTO	MTTO PROG	No contractual, Demora por corte de energia.
4100 XPC	SH003	14-Aug-18	A	7:00	9:49	2.82	MTO	MTTO PROG	Pre PM
4100 XPC	SH003	14-Aug-18	A	10:53	10:58	0.08	MTO	MTTO NO PROG	Regulacion de compuerta
4100 XPC	SH003	14-Aug-18	B	4:11	4:26	0.25	MTO	MTTO NO PROG	Regulacion de compuerta
4100 XPC	SH003	15-Aug-18	A	10:35	10:40	0.08	MTO	MTTO NO PROG	Regulacion de compuerta
4100 XPC	SH003	16-Aug-18	A	9:10	9:16	0.10	MTO	MTTO NO PROG	Regulacion de compuerta
4100 XPC	SH003	18-Aug-18	A	16:40	16:54	0.23	MTO	MTTO NO PROG	No contractual, Falta de energia, Electricidad Mina
4100 XPC	SH003	18-Aug-18	A	17:38	17:53	0.25	MTO	MTTO NO PROG	RESETEO DE RELAY TERMICO DE BLOWER SALA MAQUINAS
4100 XPC	SH003	19-Aug-18	B	23:41	0:20	0.65	MTO	MTTO NO PROG	FALLA EN VENTILADOR DE SALA DE MAQUINAS
4100 XPC	SH003	21-Aug-18	B	19:11	19:44	0.55	MTO	MTTO NO PROG	EVALUACION FALLA VENTILADOR RH SALA MAQUINAS
4100 XPC	SH003	22-Aug-18	A	8:21	9:33	1.20	MTO	MTTO NO PROG	EVALUACION FALLA VENTILADOR RH SALA MAQUINAS
4100 XPC	SH003	23-Aug-18	A	18:52	19:00	0.13	MTO	MTTO NO PROG	EVALUACION FALLA VENTILADOR RH SALA MAQUINAS
4100 XPC	SH003	23-Aug-18	B	19:00	19:05	0.08	MTO	MTTO NO PROG	EVALUACION FALLA VENTILADOR RH SALA MAQUINAS
4100 XPC	SH003	23-Aug-18	B	19:56	20:19	0.38	MTO	MTTO NO PROG	EVALUACION FALLA VENTILADOR RH SALA MAQUINAS
4100 XPC	SH003	31-Aug-18	B	22:45	7:00	8.25	MTO	MTTO PROG	PM1 + Backlogs
4100 XPC	SH003	1-Sep-18	A	7:00	19:00	12.00	MTO	MTTO PROG	PM1 + Backlogs
4100 XPC	SH003	1-Sep-18	B	19:00	0:50	5.83	MTO	MTTO PROG	PM1 + Backlogs
4100 XPC	SH003	1-Sep-18	B	2:49	3:05	0.27	MTO	MTTO NO PROG	Tensado de polea motor de Crowd
4100 XPC	SH003	3-Sep-18	A	11:04	11:11	0.12	MTO	MTTO NO PROG	No Contractual - Falta en radio de telecomunicaciones
4100 XPC	SH003	3-Sep-18	A	12:44	13:03	0.32	MTO	MTTO NO PROG	Falla en sistema de aire principal
4100 XPC	SH003	3-Sep-18	A	18:30	18:44	0.23	MTO	MTTO NO PROG	Falla en sistema de arranque del equipo
4100 XPC	SH003	3-Sep-18	B	3:34	5:09	1.58	MTO	MTTO NO PROG	Cambio de fusibles en convertidores Hoist

Nota. Adaptado de “Grafana Trending”, por Joy Global (2021).

En la Figura 69 se observa como se muestra en el GUI los límites de advertencia y de parada de equipo en color amarillo y rojo respectivamente de las temperaturas de Interpolo y de campo, así como las temperaturas de los lados No Drive End y Drive End

**Figura 69** Temperaturas limite en el motor de Empuje

Temperaturas limite en el motor de Empuje



Nota. Adaptado de “Grafana Trending”, por Joy Global (2021).

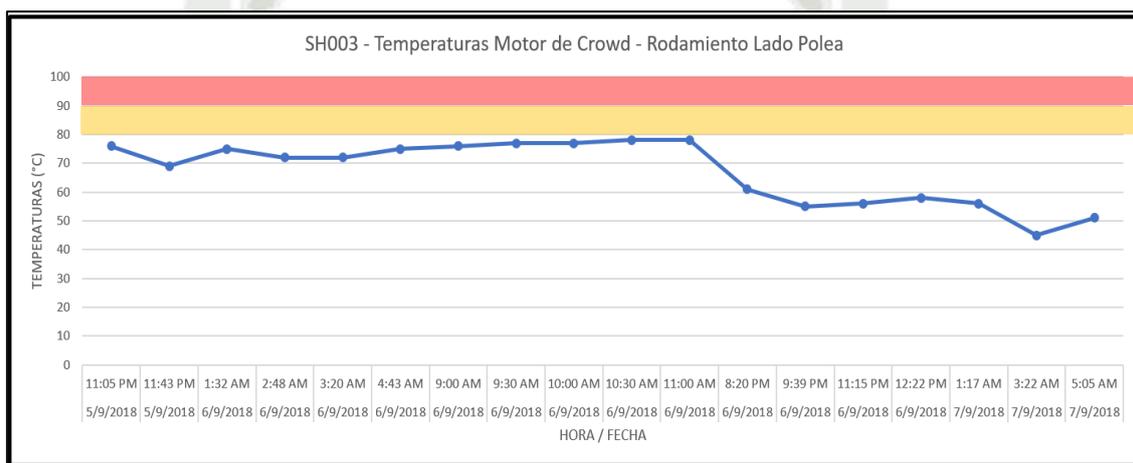
**4.4.6.Solución al modo de falla**

La solución para este modo de falla consistió en ajustar los ductos de aire del Blower que van al motor de Empuje y cambiar el motor del Blower mediante una OT generada la cual la podemos observar en el Apéndice Figura 99. Orden de trabajo de mantenimiento de cambio

de contactor Blower de sala de maquina RH. Se ajustaron lo pernos ya que estaban sueltos los cuales dejaban un espacio por el cual fugaba aire, y también se corrigió el principal modo de falla que era corregir las fases del motor eléctrico para cambiar el sentido del motor. En la Figura 70 se muestra el cuadro de seguimiento de temperatura, después se corrigió el modo de falla.

**Figura 70**

*Valores de temperatura de seguimiento después del cambio el sentido de giro del blower*



*Nota.* De “Grafana Trending”, por Joy Global (2021).

Después de haber solucionado la falla se procedió con el seguimiento de temperaturas respectivo cada 30 minutos para verificar que la tempera no varié y este dentro de los rangos de trabajo permitido, como observa en el Apéndice Figura 100 donde se observa la toma de valores de temperatura, donde no se registra valor fuera de los permitidos con lo que se concluye la operatividad del sistema y del equipo.

## Capítulo V

### 5. Implementación y Resultados

#### 5.1. Gestión de Implementación Sistema de Monitorio Remoto

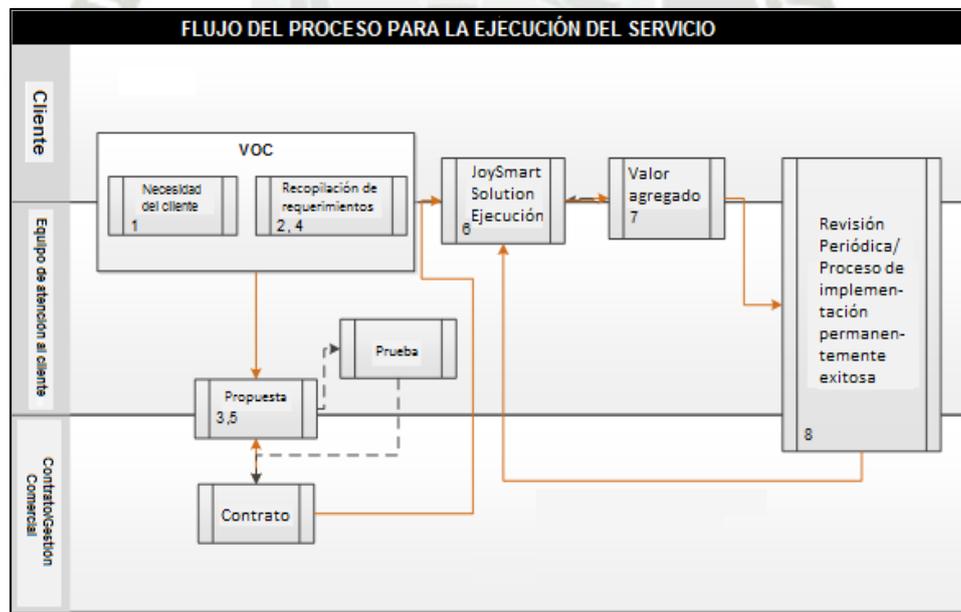
La implementación de un sistema de monitoreo remoto es una iniciativa de parte del OEM [Original Equipment Manufacture], el vendedor de las palas eléctricas hacia mina, que ofrece este sistema de monitoreo remoto para su marca de palas eléctricas, para este caso, las palas eléctricas modelo 4100XPC.

La gestión del sistema de monitoreo remoto es la clave para una adecuada implementación, se debe de tener una persona encargada dentro de la minera y también una persona en la organización del vendedor que lideren e impulsen la implementación. El administrador de servicios del vendedor designado tiene la responsabilidad de la adecuada ejecución de cada fase de este procedimiento de implementación (Smart Solutions ,2018)

En la Figura 71 observamos un diagrama del flujo de procesos para ejecutar el servicio.

**Figura 71** Flujo de proceso para la ejecución del servicio

Flujo de proceso para la ejecución del servicio



*Nota.* De “Procedimiento de ejecución de servicio Joy Global”, (2018).

El monitoreo remoto ejecutado por el equipo de Smart Solution comienza con la revisión del reporte diario por equipo, luego se analizan las fallas para emitir recomendaciones, conclusiones y la lista de componentes, tiempo de ejecución para casos *Salesforce*. Por su cuenta los ejecutivos de ventas se encargan de los costos. Para finalizar se cierra con notificaciones *feedback* que en su posteridad ayudará a otros especialistas a resolver dudas y

proporcionar experiencia. Todos los reportes se envían mediante correos y las tareas se ingresan por SAP.

Todo comienza con una alarma que es validada por un analista, luego esta información se transmite al departamento de mantenimiento para resolver la indicación, luego se verifica y controla el incidente para ser considerada finalmente como una condición normal.

El plan de implementación del monitoreo remoto tiene tres sectores como son; el personal, el de sistemas y el de procesos; cuenta, además, con cuatro etapas las cuales son: procura que puede durar una semana, puesta en marcha con un intervalo de tiempo de 3 semanas, operación con 5 meses de duración y evaluación que cuenta con solo 2 semanas.

En relación con el personal comienza con la fase de procura con la capacitación y difusión del personal de mantenimiento y operaciones. Luego en la fase de puesta en marcha se vuelve a capacitar e identificar mejoras inmediatas. En la fase de operación se vuelve a capacitar al personal por dos meses en grupos con reuniones mensuales para constatar el avance. La fase de evaluación pone a prueba al personal en asertividad de diagnósticos, reporte y cierre de casos.

En el sector de sistemas comienza con la fase de procura con la instalación de hardware de comunicación y creación de cuentas para los usuarios. La puesta en marcha contiene la generación de *dashboard* personalizados. En operación se genera los *backlogs* y *Salesforce*, además, se identifican las posibles fallas crónicas. Finalmente se evalúan las alarmas y eventos exitosos.

El sector de procesos en su fase de procura se encarga de vincular el proceso de mantenimiento y los protocolos de falla en comunicación. En la etapa de puesta en marcha se habilita el centro de monitoreo y el listado de distribución de reportes. La fase de operación consta de retroalimentar y registrar las condiciones informadas, dar seguimiento según prioridad. Finalmente, la etapa de evaluación analiza los costos evitados.

## **5.2.Resultados en Disponibilidad, MTBF y MTTR de los Años 2018 a 2020**

Las siguientes gráficas fueron extraídas del histórico de indicadores de gestión del mantenimiento en los años 2018 a 2020 de la plataforma SIRE PC desarrollado por una minera ubicada al sur de país. Este software es un sistema de reportes de planeamiento y confiabilidad que nos permite observar los datos de indicadores de mantenimiento a través del tiempo de manera clara y sencilla. Para todas las siguientes graficas se ha evaluado el modelo de Palas 4100XPC conformado por la SH003, SH004 y SH005 como se detalló anteriormente en el

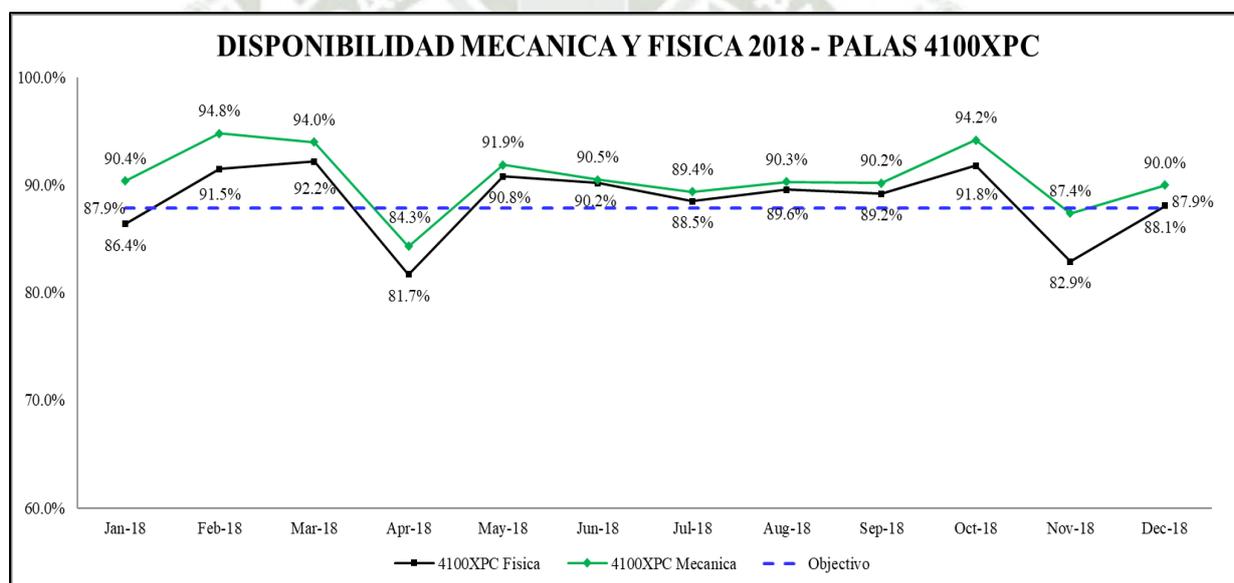
Capítulo IV en la Figura 48. En las Figuras 72, 73 y 74 se muestran la mejora de disponibilidad física gradual que se obtuvo del año 2018 al 2020, que se incremente en 1.5 puntos porcentuales durante este periodo en el cual se implementó y se aplicó el sistema de monitoreo remoto en esta minera.

### 5.2.1. Disponibilidad

En la Figura 72, correspondiente al año 2018 vemos la línea base de cómo se venía cumpliendo el objetivo de Disponibilidad antes de la aplicación del sistema de monitoreo, en tres meses no se logró el objetivo de disponibilidad y no se tuvo mayores meses con diferencia amplia en canto al objetivo.

**Figura 72** Disponibilidad Palas 4100XPC-Año 2018

*Disponibilidad Palas 4100XPC-Año 2018*

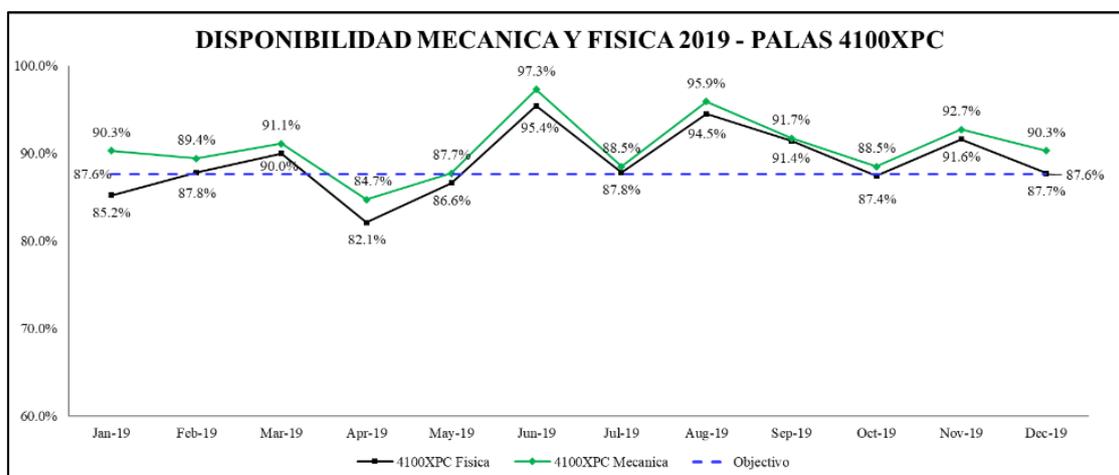


*Nota.* De “Plataforma SIRE PC” perteneciente a desarrollo interno de la minera en evaluación.

Las Figura 73, correspondiente al año 2019 en el que ya se aplica el sistema de monitoreo remoto vemos que solo no se cumple dos meses del primer semestre con el objetivo de disponibilidad, y, además, se tiene tres picos en los que se supera el objetivo de este año ampliamente.

**Figura 73**

*Disponibilidad 4100XPC-Año 2019*

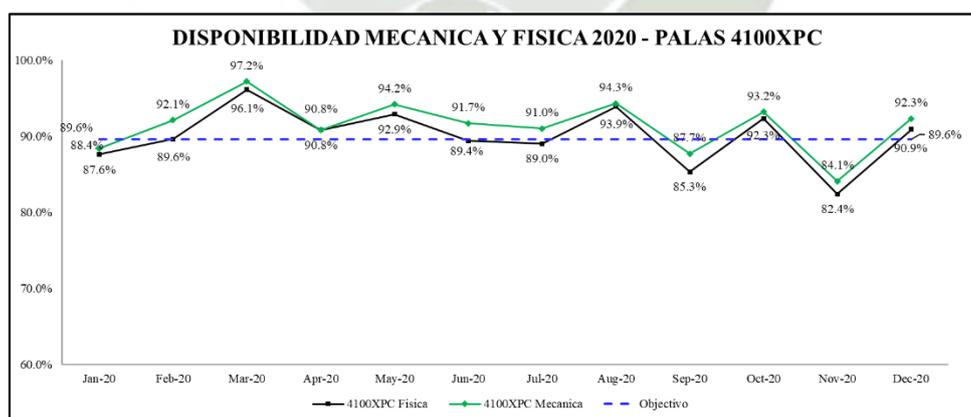


*Nota.* De “Plataforma SIRE PC”

En la Figura 74, correspondiente al año 2020 con la aplicación del sistema de monitoreo remoto a un 100%, se toma la decisión de incrementar el objetivo de 87,6% del año 2019 a 89.6% en este 2020, y a aun así se logra superar el objetivo de disponibilidad y solo se cae en por debajo en tres meses. Considerando que en estos meses se realizaron cambios de componentes mayores por la antigüedad de las Palas.

**Figura 74** *Disponibilidad 4100XPC- Año 2020*

*Disponibilidad 4100XPC- Año 2020*

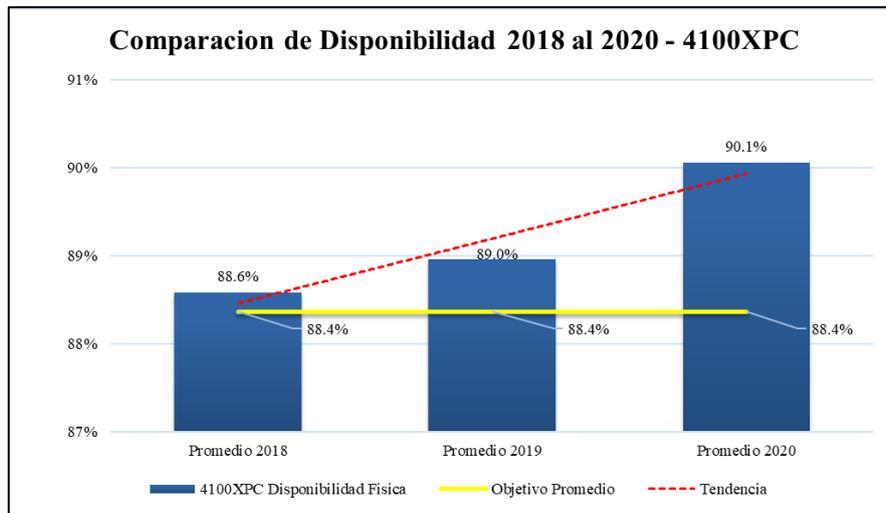


*Nota.* De “Plataforma SIRE PC”.

Comparando los promedios de disponibilidad Anual, en los tres años analizados se logró superar el Objetivo de Disponibilidad trazado y además se incrementó la disponibilidad en 0.4% el primer año y en 1.1% el segundo año, a pesar de que por la antigüedad de los equipos la tendencia debería ser descendente, esta fue positiva como puede verse en la Figura 75.

**Figura 75**

*Comparación de Disponibilidad 2018 al 2020 - 4100XPC*

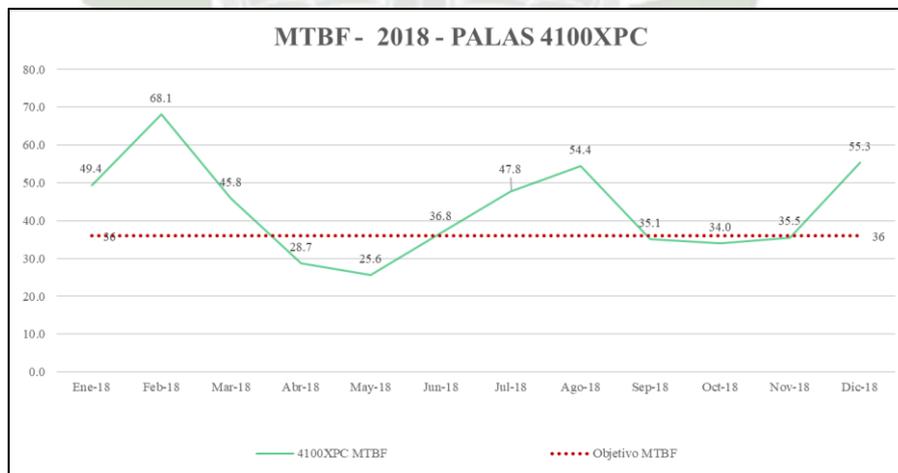


*Nota.* Elaboración Propia.

**5.2.2.MTBF Y MTTR**

En la Figura 76, vemos la línea base en cuanto al MTBF en el año 2018, en el cual en cinco meses no se logró el objetivo.

**Figura 76** *MTBF Palas 4100XPC-Año 2018*  
*MTBF Palas 4100XPC-Año 2018*



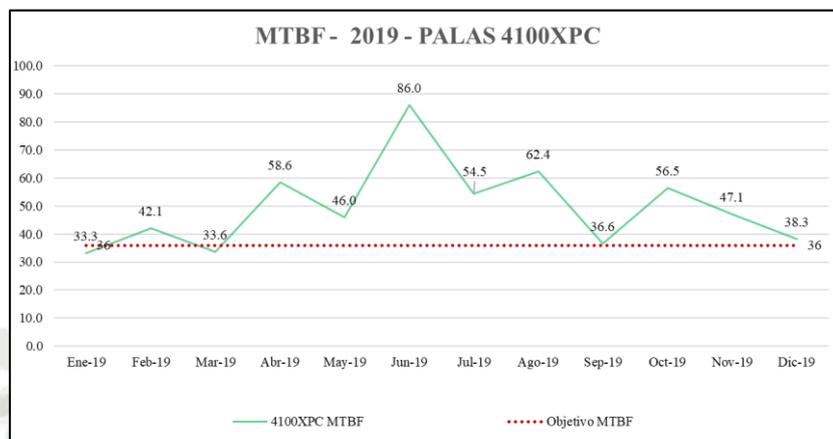
*Nota.* De “Plataforma SIRE PC” perteneciente a desarrollo interno de la minera en evaluación.

En la Figura 68, ya con la aplicación del sistema de monitoreo remoto en este año 2019, se ve la mejora notable en cuanto al MTBF en relación con el año anterior, solo no se llega por

pocos puntos en dos meses al objetivo y se alcanza un pico de ochenta y seis horas de MTBF en el mes de junio.

**Figura 77**

*MTBF Palas 4100XPC-Año 2019*

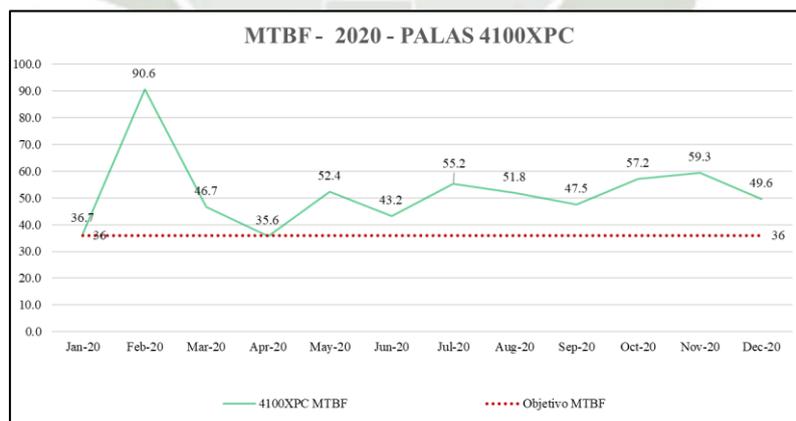


*Nota.* De “Plataforma SIRE PC” perteneciente a desarrollo interno de la minera en evaluación.

En la Figura 78, se cumple con el MTBF durante todo el año, teniendo resultados muy por encima del objetivo y un nuevo pico récord de noventa horas en el mes de febrero.

**Figura 78**

*MTBF Palas 4100XPC-Año 2020*



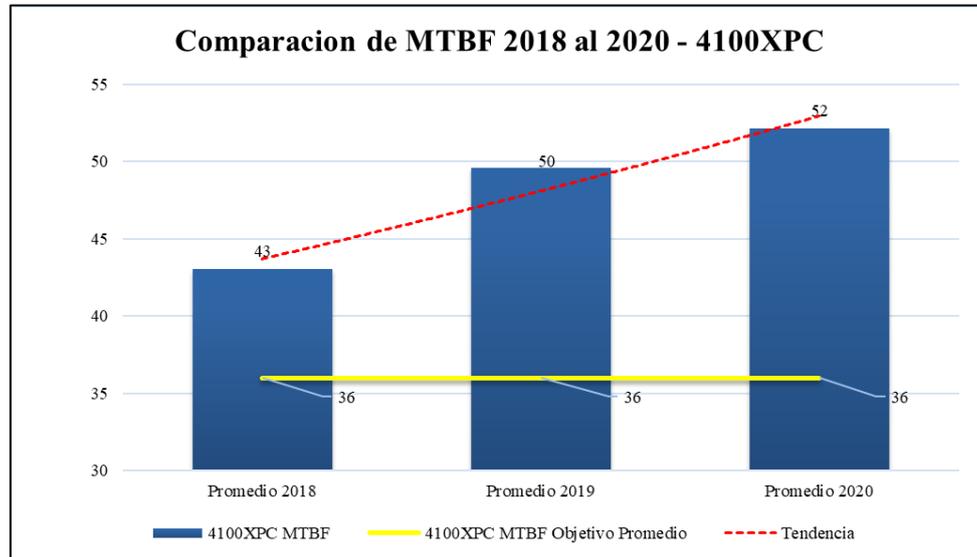
*Nota.* De “Plataforma SIRE PC” perteneciente a desarrollo interno de la minera en evaluación.

Comparando los resultados de MTBF Anual, en los tres años analizados se logró superar el Objetivo de MTBF trazado, y se resalta que el año 2019 y 2020 con el sistema de monitoreo remoto, vemos en la Figura 79 que se logró incrementar notablemente este indicador

al poder anticiparse a las fallas y tener menos detenciones imprevistas y poder planificar los correctivos antes que estos se agraven en una detención mayor no programada.

**Figura 79**

*Comparación de MTBF 2018 al 2020 - 4100XPC*

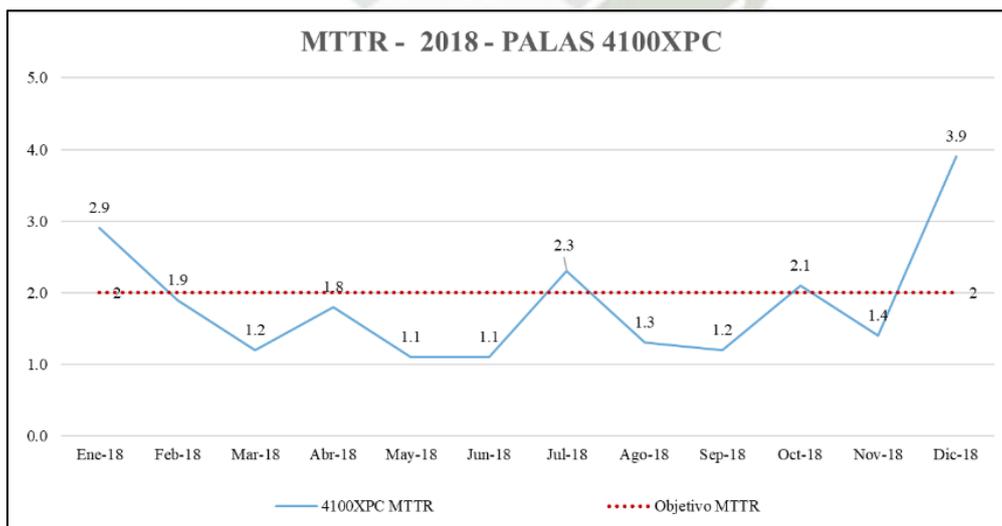


*Nota.* Elaboración propia

En la Figura 80, vemos la línea base en cuanto al MTTR en el año 2018, en el cual en cuatro meses no se logró el objetivo teniendo un MMTR por encima del esperado.

**Figura 80**

*MTTR Palas 4100XPC-Año 2018*

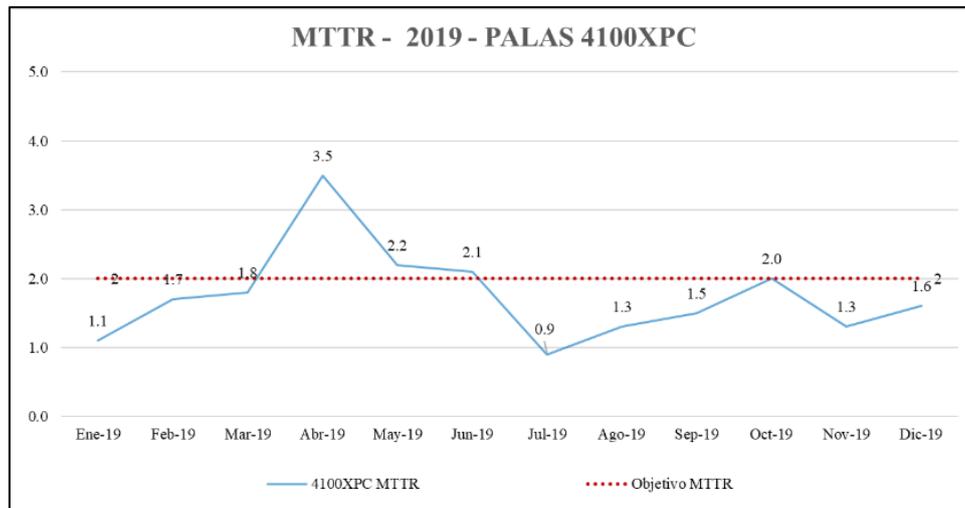


*Nota.* Elaboración propia

En la Figura 81, con la aplicación del sistema de monitoreo remoto, podemos observar que en solo un mes se tuvo un valor muy por encima del esperado durante el primer semestre.

**Figura 81**

*MTTR Palas 4100XPC-Año 2019*

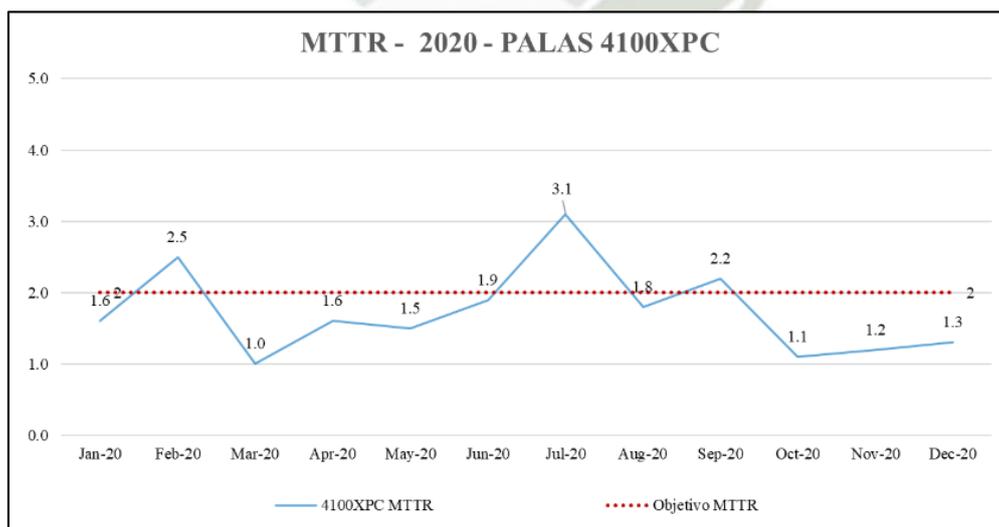


*Nota.* Elaboración propia

En la Figura 82, vemos que en tres meses se tuvo valores que sobrepasaron negativamente el objetivo, sin embargo, considerando que el MTBF fue mayor en este año como se mostró anteriormente, el número de paradas fue menor y por ende incremento el tiempo en reparaciones. De igual forma hacia el fin del segundo semestre se observa una tendencia de reducción del MTTR positiva.

**Figura 82**

*MTTR Palas 4100XPC-Año 2020*



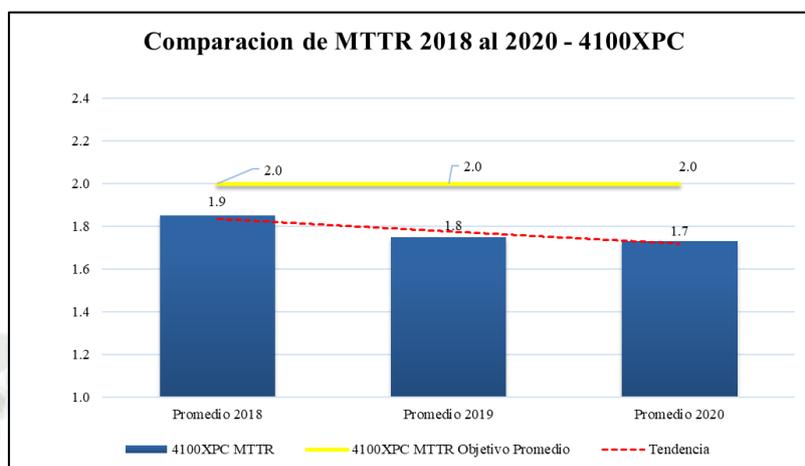
*Nota.* Elaboración propia

Comparando los resultados de MTTR Anual en la Figura 83, en los tres años analizados se logró superar el Objetivo de MTBF trazado, no hubo reducción muy significativa en este

KPI, sin embargo, al tener mayor antigüedad los equipos, el obtener una tendencia positiva es un logro.

**Figura 83**

*Comparación de MTBF 2018 al 2020 - 4100XPC*



*Nota.* Elaboración propia

### 5.3. Aplicación del Monitoreo Remoto en la Gestión de Mantenimiento

#### 5.3.1. Análisis del rendimiento de los sistemas mineros

El personal del centro de monitoreo remoto puede monitorear y analizar el rendimiento del equipo a partir de datos en tiempo real e históricos. Esto incluye la producción de informes y métricas en relación con un conjunto acordado de KPI tal como se define en el modelo de participación. Estos informes serán revisados por el personal en el sitio y fuera del sitio con sesiones regulares entre vendor y el cliente para refinar los informes y resaltar el valor proporcionado. Con el tiempo, a medida que la mejora se hace evidente, este valor debe destacarse en los informes entregados a la minera. (Joy Global, 2018).

#### 5.3.2. Monitoreo remoto de salud y soporte técnico

El centro de servicio de monitoreo remoto del OEM brindará soporte y supervisará los equipos según los datos recopilados de otros equipos alrededor del mundo, así como los datos procesados y almacenados (datos históricos). Esto incluirá el uso de herramientas de diagnóstico predictivo que se ejecutan en los centros de datos de OEM. Los informes periódicos sobre el estado del equipo se revisarán con el representante del cliente correspondiente.

#### 5.3.3. Servicio de administración de activos

Esta oferta de servicios, como una opción, monitoreo de condiciones que puede incluir auditorías de mantenimiento, análisis de desgaste, análisis de vibraciones y análisis de muestras

de aceite. Otra oferta también puede incluir RCM y Servicio por contrato. Los informes resumidos mensuales se incluyen como parte de este servicio (Smart Solutions ,2018).

#### **5.3.4. Entrenamiento de mantenimiento y entrenamiento del ingeniero**

La capacitación está dirigida a las mejores prácticas y técnicas que resultan en una mayor eficiencia y un tiempo más rápido para reparar y mantener. Los informes periódicos sobre las eficiencias serán revisados por el área de ingeniería del OEM en conjunto con su personal de entrenamiento a operación con el representante de la minera. (Komatsu, Smart Solutions ,2018).

### **5.4. Resultados Económicos de los Casos de Estudio Analizados**

#### **5.4.1. Costos evitados**

Para calcular el beneficio económico del sistema de monitoreo remoto en estas fallas, podemos realizar un análisis de lucro cesante, pero para fines práctica se aplicará la siguiente formula:

$$\begin{aligned} & \text{Costo horas hombre} + \text{Costo repuestos evitados} \\ & + \text{Costo de tiempo de parada del equipo} = \text{Costos evitados} \end{aligned}$$

Esta fórmula fue presentada por el dealer del sistema para realizar una formulación practica para encontrar un estimado de beneficios del sistema de monitoreo remoto.

En esta minera en la que se realiza la aplicación del sistema de monitoreo remoto se tiene un promedio de 12000\$/hora de parada de una pala de producción como son las palas eléctricas P&H 4100XPC.

#### **5.4.2. Caso de estudio 1: Sistema de Frenos de Aire de Sistema de Giro**

Para el caso de estudio uno se tiene el siguiente costo evitado:

$$(2 \text{ tecnicos})(6 \text{ horas}) \left( \frac{100\$}{H} \right) + \$5.000 + (6 \text{ horas}) * 12000\$/horas = \$78 200,00$$

Por fines prácticos se asume que el costo horario de una pala eléctrica será de \$12 000 dólares por hora.

Se considera que el tiempo de cambio de freno es de 6 horas realizado por 02 mecánicos. El tiempo de vida útil de un freno o programación para su cambio es de 8.000 horas de trabajo. Y el costo de un freno es de 10.000, el sistema de monitoreo remoto evita el desgaste prematuro al realizar las regulaciones de aire respectivas, por lo tanto, se considera que el freno dure su tiempo de vida útil. Normalmente, sin este sistema el freno falla a la mitad de su vida útil, de modo que, estaríamos ahorrando en repuesto el 50% del precio de un freno.

#### 5.4.3. Caso de estudio 2: Lubricación de Sistema de Levante.

Para el caso de estudio dos se tiene el siguiente costo evitado:

$$(3 \text{ tecnicos})(5 \text{ horas}) \left( \frac{100\$}{H} \right) + \$200\,000 + (140 \text{ horas}) * 12000\$/\text{horas} \\ = \$1\,168\,000,00$$

Por fines prácticos se asume que el costo horario de una pala eléctrica será de \$12 000 dólares por hora, como podemos comprobar en el Apéndice, Figura 78 y Figura 79, Costo por hora de Producción de Equipo.

En este caso el sistema evito una parada mayor del equipo donde pudo haber habido daños de los engranajes de la transmisión, ya que, se visualizó prematuramente las alertas de manera remota evitando una parada del equipo por sobrecalentamiento, cuando la temperatura llega a su límite máximo de trabajo.

Si hubiese ocurrido el evento de sobrecalentamiento se tendría que realizar una inspección completa del estado de la transmisión como el cambio de filtros, por lo tanto, las horas hombre evitadas, son de 3 técnicos, durante 5 horas. Se evitaron el desgaste prematuro de la transmisión y una posterior falla catastrófica. En una falla catastrófica los costos de reparación de una transmisión pueden alcanzar los \$200.000 dólares, y la parada del equipo por una semana. Se considera que la pala trabaja 20 horas por día.

#### 5.4.4. Caso de estudio 3: Sobre temperatura en motor de Empuje

Para el caso de estudio tres se tiene el siguiente costo evitado:

$$(7 \text{ tecnicos})(14 \text{ horas}) \left( \frac{100\$}{H} \right) + (14 \text{ horas}) * 12000\$/\text{horas} = \$177\,800,00$$

Nota: Por fines prácticos se asume que el costo horario de una pala eléctrica será de \$12 000 dólares por hora.

Se considera para el cálculo de los costos evitados el tiempo de parada que hubiera tenido la pala eléctrica si es que no hubiesen inspeccionado previamente el equipo con ayuda del monitoreo remoto para lo cual iban a cambiar el motor eléctrico de Empuje. Para este cambio se requiere 14 horas, 3 mecánicos, 2 electricistas, 1 grúa telescópica de 200 toneladas, 1 operador y 1 rigger.

Los repuestos evitados no se consideran porque así se hubiera cambiado el motor este estaría en buen estado porque no era la causa raíz.

### 5.5. Beneficio Económico General

El beneficio económico general generado por el sistema de monitoreo remoto durante el año 2020 y 2019 en dos palas eléctricas de 30 millones de dólares cada una, fue de \$300 000 dólares y \$600,000 dólares respectivamente según Apéndice Tabla 8 y Apéndice Tabla 9. Durante los dos años se tuvo un ingeniero de monitoreo el cual diariamente revisaba los signos vitales de cada equipo. Con ayuda de los paneles de control y analíticas programadas en el sistema de monitoreo se puede mejorar el análisis de datos lo que facilita el análisis al ingeniero. También, se muestra en el Apéndice Tabla 11 el resumen de todas las OT generadas por el Sistema de Monitoreo Remoto, donde todas tiene un beneficio de ahorro económico.

Para implementar este sistema de monitoreo remoto, y pagar el sueldo del ingeniero de monitoreo se calcula un costo por año de \$25,000 dólares, y el costo de implementación \$20,000 dólares que incluye el hardware y la instalación, siendo el costo total \$45,000 dólares anuales. Mayor detalle de la información en Apéndice Tabla 12 Gestión de Notificaciones abierta y cerradas generadas por el sistema de monitoreo remoto en todos los equipos de la minera con el software instalado. También, se agrega como referencia los costos evitados en una pala AC, pala SH005, los cuales se muestran en el Apéndice Tabla 10.

## Conclusiones

Primero, se comprobó la hipótesis planteada, analizando los indicadores de mantenimiento al año 2020 se muestra que la disponibilidad física se incrementó en 1 punto porcentual, lo que representa una mejora considerable.

Segundo, de acuerdo con el caso 1, se evitó un costo de \$78,200 dólares; ya que nos alertó de anomalías presentadas en el sistema de frenos. En el caso 2, se logró evitar una parada no programada del equipo debido a la alerta temprana del sistema de monitoreo, el cual nos alertó del incremento de temperatura en el sistema de transmisión de Levante y se evitó una falla catastrófica que tendría un costo de \$1'168,000 dólares. En el caso 3, se ahorró un costo de \$177,800 dólares, evitando así una posible parada del equipo por fallas en el motor Empuje. En promedio se tuvo un costo evitado de más de \$474,000 dólares por cada caso.

Tercero, se logró demostrar que los costos evitados por la implementación del sistema de monitoreo remoto en dos palas eléctricas durante dos años fueron aproximadamente de un millón de dólares, este monto superó al monto inicial proyectado de cuatrocientos mil dólares promedio por año.

Cuarta, los costos de implementación del sistema de monitoreo son de cuarenta y cinco mil dólares al año, no superan los cien mil dólares en el año, con las ganancias obtenidas son mucho mayores lo cual justifica su implementación en tres palas eléctricas 4100XPC en una minera en la Región Apurímac.

## Recomendaciones

Primero, implementar el sistema de monitoreo remoto en los equipos de gran minería, como palas eléctricas, perforadoras y cargadores frontales, para realizar seguimiento de sus condiciones de manera remota, permitirá evitar pérdidas económicas por parada de equipo, o fallas imprevistas.

Segundo, al realizar la implementación del sistema de monitoreo remoto, se debe hacer seguimiento de los beneficios a través de los costos evitados y a través de los indicadores de mantenimiento, como la disponibilidad, MTTR y MTBF.

Tercero, para un adecuado monitoreo de condiciones se debe contar con un ingeniero analista que debe revisar diariamente las variaciones de las señales vitales de los equipos. Y también desarrollando nuevos algoritmos los cuales permitan la automatización del monitoreo.

Cuarto, capacitar a todo el personal de mantenimiento involucrado en el área para que conozcan el funcionamiento del sistema monitoreo remoto, aplicado a la gestión de mantenimiento.

Quinto, evaluar es sistema cada año para verificar sus beneficios económicos, para mejorar el sistema buscando mayor autonomía y control remoto, con el objetivo de solo tener personal indispensable en mina.

Sexto, evaluar no solo la automatización de equipos móviles en mina, sino también utilizar este monitoreo remoto en otras áreas en la mina para evitar horas de exposición del personal a peligros de la operación.

### Referencias

- Albarracín, J. M. (2007). *Redes Inalámbricas Comunitarias. Sistemas Redis*.
- Asociación Automotriz (P&H Mining Equipment, Inc., 2012) del Perú [AAP]. (2019). *Notas Estadísticas – Importación de Vehículos Nuevos 2019*. Recuperado de [https://aap.org.pe/estadisticas/importaciones\\_vehiculos\\_nuevos/importacion-de-vehiculos-nuevos-2019/](https://aap.org.pe/estadisticas/importaciones_vehiculos_nuevos/importacion-de-vehiculos-nuevos-2019/)
- Banco Central de Reserva del Perú [BCRP]. (2019). *Notas de estudios del BCRP*. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Notas-Estudios/2019/nota-de-estudios-14-2019.pdf>
- Carrión Campos, D. A. (2018). *Motor eléctrico en CA y Pala eléctrica 4100XPC en la Minera Cerro Verde Arequipa (Tesis inédita de pregrado)*. Universidad Continental, Huancayo, Perú. Recuperado de: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4975/1/IV\\_FIN\\_109\\_T E\\_Carrion\\_Campos\\_2018.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4975/1/IV_FIN_109_T E_Carrion_Campos_2018.pdf)
- Castro Mendoza, F. E. (2014). *Evaluación de los factores que determinan la disponibilidad mecánica y performance de equipos LHD en la Unidad Minera Milpo (Tesis inédita de pregrado)*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2175>
- Chinchilla, M.C. (2015) *La delimitación del tema de investigación y la formulación y delimitación del problema (Tesis inédita de doctorado)*. Universidad Mariano Galvez, Guatemala.
- Dixon, G. (2015). *Research and Development of the Remote Health Monitoring Model to Detect Abnormal Operation of a P&H Shovel*. University de Newcastle.

- Flick, U. (2015). El diseño de la investigación cualitativa (Vol. 1). Ediciones Morata.
- Flores, C. A., Pinedo, Y. G., Orellana, G. M., Luna, C. M., Ocas, B. P., Gilio, K. P., ... & Rojo, C. M. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. *Ingeniería industrial*, (34), 11-26.
- Garrido, S. G. (2010). Organización y gestión integral de mantenimiento. Ediciones Diaz de santos.
- Grajales, D. H. M., Sánchez, Y. O., & Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et technica*, 1(30).
- Guerrero Chanduví, D. A. (2016). 5.3 Definición del alcance. Gestión de alcance de proyecto. Recuperado de: <https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2381/5.3%20Definicion%20del%20Oalcance.pdf?sequence=1>
- Herrera Herbert, J., & Pla Ortiz de Urbina, F. (2006). Métodos de minería a cielo abierto.
- Leiva Peña, C. I. (2020). Análisis de implementación de camiones autónomos en mina a cielo abierto.
- Lira, A. D., & Aristondo, F. M. (2007). Panorama de la Minería en el Perú. Osinergmin.
- Manuel Bestratén Belloví, Rosa M<sup>a</sup> Orriols Ramos, Carles Mata París. (2004). Análisis modal de fallos y efectos, AMFE. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Notas Técnicas de Prevención – 679.
- Matías Ayma, R. F. (2020). Aplicación de un dron para mejorar los procesos productivos en Minera Chinalco Perú SA, Morococha 2020.
- Moubray John (2016). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, United Kingdom, Biddles Ltd.
- Nieto, J. G. (2019, junio 12). Módem, router y punto de acceso: en qué se diferencian y cuál cubre mejor tus necesidades. <https://www.xatakamovil.com/conectividad/modem-router-punto-acceso-que-se-diferencian-cual-cubre-mejor-tus-necesidades>
- Onwuka, E. N., Okwori, M., Aliyu, S. O., Oyewobi, S. S., Alenoghena, C. O., Bello-Salau, H., & Asuquo, V. (2018). Survey of Cellular Signal Booster. *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*.

- Parra, C., & Crespo, A. (2012). Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos. Ingeman, 5-7.
- P&H Mining Equipment Inc. (2010). *Guía de usuario de PreVail* [PreVail User Guide]. Peak Services. Milwaukee, Wisconsin 53201: Autor
- P&H Mining Equipment Inc. (2014). *Guía del Estudiante* [Student Guide]. Peak Services. Milwaukee, Wisconsin 53201: Autor
- P&H Mining Equipment Inc. (2006). Sistema de Control Centurión [Centurion Control System]. Peak servicios, Milwaukee. Wisconsin 53201: Autor
- P&H Mining Equipment, Inc., (2011). *Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos (libro1)* [Mechanical System Training Manual]. Milwaukee, Wisconsin 53201: Autor
- Phoenix Contact, (2011). Catálogo de FL MGuard RS. Recuperado de: <https://www.phoenixcontact.com/es-es/productos/enrutador-de-seguridad-para-carril-simetrico-fl-mguard-rs-vpn-2989611>
- ProActivo, (2020). Antamina marca un hito tecnológico en la industria minera al supervisar operaciones de manera remota. Tomado de <https://proactivo.com.pe/antamina-marca-un-hito-tecnologico-en-la-industria-minera-al-supervisar-operaciones-de-manera-remota-fotos-y-video/>
- Rico, Dewar. (2011). Redes y tecnologías de banda ancha, tecnologías de acceso de banda ancha. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Universidad de Pamplona, ISSN: 1692-7257, vol. 1, No 17. 113-120.
- Rico-Bautista, D., Sánchez-Espinosa, L., & Portillo-Ballesteros, E. Y. (2014). Redes Mesh, una alternativa a problemas de cobertura de red: una revisión de literatura. Revista Ingenio, 7(1), 27-42.
- Rivera Estay, J. L. (2015). Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar Impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos.
- Sigma 21 (2021). Mantenimiento predictivo: técnicas de monitoreo del estado. Tomado de <https://www.sicma21.com/tecnicas-de-monitoreo-del-estado/>
- Smart Solution, (2018). Procedimiento de ejecución de servicio de smart Solutions. Tomado de “Research and Development of the Remote Health Monitoring Model to detect Anormal Operation of a P&H Shovel” por Gerad Dixon, 2015.

Valdivia Miranda, C. (2014). Redes telemáticas. Ediciones Paraninfo, SA. 017 – 2018.  
Recuperado de <http://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018.pdf>



### Anexos

- Costos Evitados
- Fichas Técnicas
- Ordenes de Trabajo
- Notificaciones
- Sistemas y subsistemas de Pala eléctrica P&H 4100XPC



### Anexo- Costos Evitados

**Tabla 8**

*Costos evitados del monitoreo remoto de equipo en la pala SH003*

SH003 - ES41241				ANALISIS DE COSTO EVITADO MINIMO (SF)				
Date	OT	Type	PDM	Case Subject	Horas Evitadas	Costo Hora	Posibles Rptos	Total, Evitado
26/02/2020	200554421	RHM	B	Transductor de nivel de grasa no envía señal	5	\$6,900	\$0	\$34,500
17/12/2019		RHM	B	Banco 3 RPC sin señal de corriente	6	\$6,900	\$150,000	\$191,400
17/12/2019		RHM	B	Crowd Brakes Did Not Set Fault	3	\$6,900	\$0	\$20,700
21/06/2020	200543809	RHM	D	Falla a tierra en transformador principal	2	\$6,900	\$0	\$13,800
17/12/2019	200532124	RHM	B	Presión principal de sistema neumático es baja	0	\$6,900	\$0	\$0
24/03/2020	200532122	RHM	B	Alarmas continuas por falla a tierra DC	3	\$6,900	\$0	\$20,700
06/06/2020	200542315	RHM	B	RTD de Transmisión de empuje, Rodamiento reducción Lado derecho forzada	0	\$6,900	\$8,000	\$8,000
02/07/2020	200532124	RHM	B	Presión neumática baja de frenos superiores	3	\$6,900	\$0	\$20,700
25/08/2020	200556765	RHM	C	No se tiene comunicación con datalogger	0	\$6,900	\$0	\$0
					<b>22</b>		<b>\$158,000</b>	<b>\$309,800</b>

*Nota. Tomado del Software de Gestión de Mina ERP SAP de Minera del Sur*

**Tabla 9**

*Costos evitados del monitoreo remoto de equipo en la pala SH004.*

SH004 - ES41249				ANALISIS DE COSTOS EVITADOS				
Date	OT	Type	PDM	Case Subject	Horas Evitadas	Costo Hora	Posibles Rptos	Total, Evitado
24/03/2020	200537941	RHM	B	Falla Interruptor Bloqueo Puerta Gab Control Inf [03-L54A01]	8	\$6,900	\$0	\$55,200
18/02/2020		RHM	A	Crowd Brakes Did Not Set Fault	3	\$6,900	\$0	\$20,700
02/07/2020	200532047	RHM	B	Presión neumática de frenos mal regulada	3	\$6,900	\$18,000	\$38,700
27/01/2020		RHM	B	Transductor de nivel de grasa Milltronics sin señal	5	\$6,900	\$0	\$34,500
17/01/2020		VIBRACIONES	B	Desgaste o mal ajuste de los componentes de conmutación B B	4	\$6,900	\$0	\$27,600
17/01/2020		VIBRACIONES	B	Desgaste o mal ajuste de los componentes de conmutación B B	4	\$6,900	\$0	\$27,600
02/07/2020	200537939	RHM	B	Falla Transductor de nivel de grasa Milltronics	5	\$6,900	\$0	\$34,500
15/04/2020	200533058	RHM	B	Batería de Backup PLC AC800 descargada	10	\$6,900	\$0	\$69,000
06/06/2020	200537941	RHM	B	Fallas del I/O Lower	8	\$6,900	\$0	\$55,200
25/06/2020		RHM	D	Sobrecorriente de campo de motor de Crowd	6	\$6,900	\$30,000	\$71,400
30/07/2020		RHM	B	Alarma Térmica en Drive de Levante	1	\$6,900	\$0	\$6,900
27/07/2020	200551606	RHM	C	Falla de arranque de módulo de TripRite	15	\$6,900	\$0	\$103,500
17/01/2020		VIBRACIONES	B	Soltura de Caja de Transmisión	3	\$6,900	\$0	\$20,700
17/01/2020		VIBRACIONES	B	Impactos aleatorios	3	\$6,900	\$0	\$20,700
10/04/2020	200537940	RHM	B	Resolver de giro sin lectura	0	\$6,900	\$15,000	\$15,000
18/06/2020	200543846	RHM	B	Falla Sobre Voltaje TripRite	2	\$6,900	\$0	\$13,800
18/06/2020	20054361	RHM	D	Banco RPC 1 deshabilitado y RPC 3 desbalanceado	3	\$6,900	\$0	\$20,700
<b>TOTAL</b>					<b>83</b>		<b>\$63,000</b>	<b>\$635,700</b>

*Nota. Tomado del Software de Gestión de Mina ERP SAP de Minera del Sur*

**Tabla 10**

*Costos evitados del monitoreo remoto de equipo en la pala SH005*

SH005 - ES41207				ANALISIS DE COSTO EVITADO MINIMO (SF)				
Date	OT	Type	PDM	Case Subject	Horas Evitadas	Costo Hora	Posibles Rptos	Total, Evitado
16/05/2020	200537911	RHM	B	Gran incidencia de eventos de ABSS Crowd limit fault	2	\$6,900	\$0	\$13,800
27/04/2020	200537902	RHM	B	Fallas continuas de Run Disabled	2	\$6,900	\$0	\$13,800
16/05/2020	200537910	RHM	B	Se presentaron múltiples eventos de Crowd Oersted	1	\$6,900	\$0	\$6,900
08/05/2020	200536470	RHM	C	Presión de frenos de propulsión elevada	5	\$6,900	\$0	\$34,500
10/06/2020	200542321	RHM	B	Advertencia Escalera Izquierda Abajo	2	\$6,900	\$0	\$13,800
29/06/2020		RHM	D	Compuerta de balde no cierra	0	\$6,900	\$0	\$0
25/08/2020	200556766	RHM	C	No se tiene comunicación con datalogger	0	\$6,900	\$0	\$0
<b>TOTAL</b>					<b>12</b>		<b>\$0</b>	<b>\$82,800</b>

*Nota. Tomado del Software de Gestión de Mina ERP SAP de Minera del Sur*

**Figura 84**

*Costo por hora de Producción de Equipo – Mina*

	Unidad	Jan-18	Feb-18	Mar-18	Apr-18	Promedio
Camión	\$/Hr	1,663	2,431	2,854	4,586	<b>2,883</b>
Pala	\$/Hr	10,063	15,656	16,924	28,021	<b>17,666</b>
Perforadora	\$/Hr	15,465	22,781	22,684	29,045	<b>22,494</b>

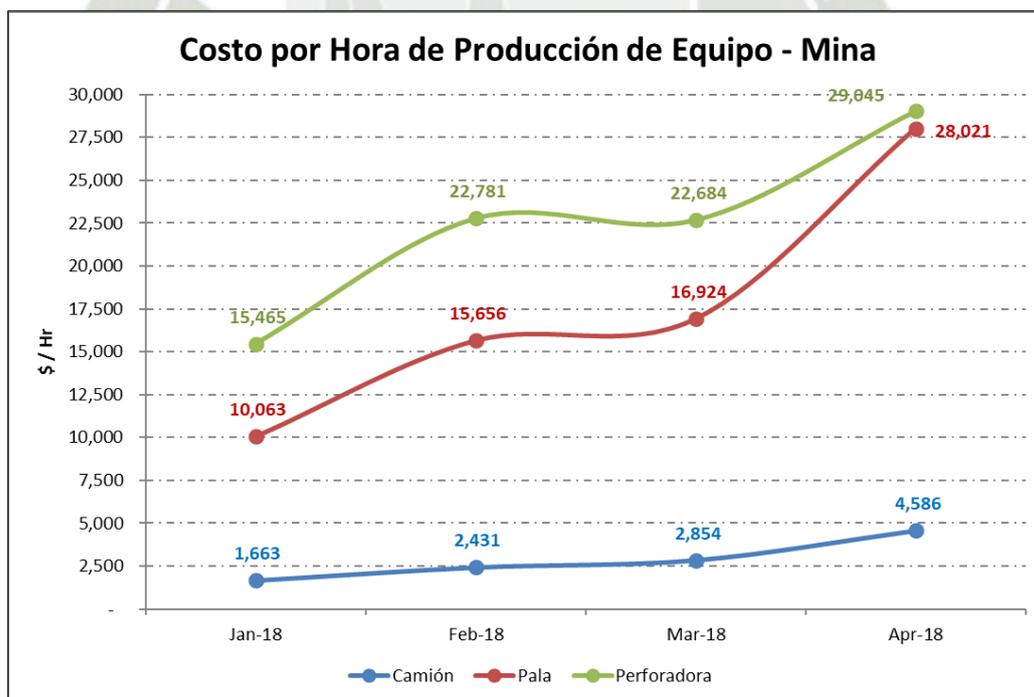
Benchmark	Equipo	\$/Hr	Price Cu \$/Lb
Antamina	Camión	5,300	4.10
Las Bambas	Camión	2,883	2.43
Antamina	Pala	21,200	4.10
Las Bambas	Pala	17,666	2.43

NOTA: Se realizó la comparación con la Operación Antamina cuando el precio del Cu se encontraba en 4.1 \$/Lb.

*Nota.* De Base de datos Minera del Sur, Costos de Producción año 2018

**Figura 85**

*Costo por hora de Producción de Equipo - Mina*



*Nota.* De Base de datos Minera del Sur, Costos de Producción año 2018

Anexos- Fichas técnicas (SH003 – SH004 – SH005)

Figura 86

Ficha de Especificaciones de la P&H 4100 XPC SH003 – Parte 1

FICHA TECNICA PALA ELECTRICA 4100XPC - SH003: ES41241			
<b>Codigo Interno</b>	SH003	<b>Voltaje alimentacion</b>	3 fases - 50/60Hz - 7,200 V
<b>Numero de serie</b>	ES41241	<b>Potencia Maxima</b>	3750 KVA
<b>Equipo</b>	Pala electrica de Cable	<b>Peso total del equipo</b>	1,486,900 kg - 3,278,000 lbs
<b>Fabricante</b>	P&H	<b>Cable Levante (02 EA)</b>	73 mm - 2.75 in. dia.
<b>Modelo</b>	4100XPC	<b>Cables suspensión (04 EA)</b>	102 mm - 4.00 in. dia.
<b>Carga Util Balde</b>	109 Toneladas	<b>Cable Apertura Compuerta (01 EA)</b>	19 mm - 0.75 in. dia.

Rangos Operacionales		Capacidad	
Altura de corte	16,8 m / 55 ft 2 in	Carga útil nominal*	De 99,8 a 108,9 tm / 120 tc
Radio de corte	23,9 m / 78 ft 8 in	Capacidad nominal del balde rasante SAE -SAE 2:1	De 52,8 a 61,2 m3 / De 69 a 82 yd3 de 58,3 a 67,6 m3 / de 74,4 a 88,4 yd3
Altura de descarga* (puerta abierta)	9,5 m / 31 ft	Carga suspendida nominal	195 tm / 215 tc
Radio a nivel del suelo	16,0 m / 52 ft 6 in	Tamaño óptimo del camión (se muestra camión de 360 tm [400 tc])	De 218 a 363 tm / De 240 a 400 tc
Radio de giro de cola	9,8 m / 32 ft 3 in		
Nivel visual del operador	10,1 m / 33 ft 1 in		

\*Se muestra la altura con un balde tipo aro. Las alturas son mayores para los baldes sin aro o compactos. La altura de descarga real puede ser mayor que la altura de la puerta.

\*La capacidad del balde y la carga útil dependen de diversos factores. Comuníquese con Komatsu Mining para analizar su aplicación específica.

Nota. De Komatsu Mining Corp.(2018).

**Figura 87**

*Ficha de Especificaciones de la P&H 4100 XPC SH003 – Parte 2*

		<b>Potencia de trabajo principales motores P&amp;H</b>													
<b>Dimensiones generales</b>		<table border="1"> <tr> <td>Motor de Levante (dos motores)</td> <td>Rango continuo a 600V Potencia max desarrollada</td> <td>2148kW / 2880hp 2770kW / 3713hp</td> </tr> <tr> <td>Motor de Giro (tres motores)</td> <td>Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada</td> <td>1119kW / 1500hp 1340kW / 1796hp</td> </tr> <tr> <td>Motor de empuje (un motor)</td> <td>Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada</td> <td>537kW / 720hp 825 kW / 1106hp</td> </tr> <tr> <td>Motor de propulsión (dos motores)</td> <td>Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada</td> <td>1074kW / 1440hp 1434kW / 1922hp</td> </tr> </table>		Motor de Levante (dos motores)	Rango continuo a 600V Potencia max desarrollada	2148kW / 2880hp 2770kW / 3713hp	Motor de Giro (tres motores)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	1119kW / 1500hp 1340kW / 1796hp	Motor de empuje (un motor)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	537kW / 720hp 825 kW / 1106hp	Motor de propulsión (dos motores)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	1074kW / 1440hp 1434kW / 1922hp
Motor de Levante (dos motores)	Rango continuo a 600V Potencia max desarrollada	2148kW / 2880hp 2770kW / 3713hp													
Motor de Giro (tres motores)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	1119kW / 1500hp 1340kW / 1796hp													
Motor de empuje (un motor)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	537kW / 720hp 825 kW / 1106hp													
Motor de propulsión (dos motores)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	1074kW / 1440hp 1434kW / 1922hp													
A Ancho	14,4 m	47 ft 1 in	<b>Propulsión</b> La propulsión a demanda permite una rápida transferencia al modo de propulsión. La transferencia rápida a su vez permite un reposicionamiento frecuente de la pala en el banco, que redundará en tiempos de ciclos rápidos y mayor eficiencia de excavación. Dos cajas de engranajes planetarios P&H robustas de diseño probado transmiten de forma independiente el torque a las ruedas dentadas motrices, generando la fuerza de tracción requerida para que la propulsión y las operaciones de posicionamiento se efectúen rápida y eficientemente. Sistema de propulsión de rueda dentada motriz de baja tensión Delta marca P&H con zapatas de orugas de fundición para trabajo pesado. Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor.												
B Longitud	15,0 m	49 ft 4 in													
C Altura sobre pórtico	14,7 m	48 ft 3 in													
D Ancho de zapatas	1.930 mm/2.210 mm	76 in/87 in													
E Ancho de orugas (76")	10,2 m	33 ft 6 in													
F Longitud de orugas	11,7 m	38 ft 6 in													
G Distancia al suelo	0,7 m	2 ft 2 in													
H Altura: del suelo a la parte inferior de las placas de contrapeso	3,6 m	11 ft 10 in													
<b>Requisitos de potencia</b>		<b>Empuje</b> Accionamiento por correa en V Powerband entre el motor y el engranaje absorbe las cargas de choque. Engranajes de primera y segunda reducción en carcasa cerrada para garantizar la lubricación por salpicadura, facilitar el mantenimiento y extender la vida útil de los componentes. El mango del balde de brazos dobles con cajón de torsión y accionamiento de piñón tiene una estabilidad inherente en el banco y ofrece capacidad óptima de excavación. Freno de disco de aplicación por resorte y liberación neumática.													
Voltaje de alimentación*	7.200 o 13.800 V trifásico, 60 Hz	6.000, 6.600, 7.200 u 11.000 trifásico, 50 Hz	<b>Levante</b> Todos los engranajes están alojados en cajas de engranajes enclaustradas individuales con aceite filtrado y refrigerado que lubrica todos los cojinetes, además de lubricación por salpicadura para obtener un funcionamiento confiable y facilitar el mantenimiento. Tambor de levante grande con diámetro de 68" para una vida útil más prolongada de flexión del cable. El sistema de estrobo de férula y el remolcador eléctrico doble se entregan de fábrica de forma estándar para un cambio eficiente del cable. Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor.												
Transformador de alimentación	(Mínimo) 3.750 kVA														
Cortocircuito VA mínimo disponible en la pala		30 MVA													
*Voltaje según los requisitos del cliente															
<b>Giro</b> Tres cajas de engranajes planetarios modulares P&H de diseño probado y un engranaje de giro forjado de una sola pieza transmiten el torque para obtener tiempos de ciclos rápidos. Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor. Sistema de filtración de la lubricación por salpicadura.															

*Nota. De Komatsu Mining Corp.(2018).*

**Figura 88**

*Ficha de Especificaciones de la P&H 4100 XPC SH004 – Parte 1*

FICHA TECNICA PALA ELECTRICA 4100XPC - SH004: ES41249			
<b>Codigo Interno</b>	SH004	<b>Voltaje alimentacion</b>	3 fases - 50/60Hz - 7,200 V
<b>Numero de serie</b>	ES41249	<b>Potencia Maxima</b>	3750 KVA
<b>Equipo</b>	Pala electrica de Cable	<b>Peso total del equipo</b>	1,486,900 kg - 3,278,000 lbs
<b>Fabricante</b>	P&H	<b>Cable Levante (02 EA)</b>	73 mm - 2.75 in. dia.
<b>Modelo</b>	4100XPC	<b>Cables suspensión (04 EA)</b>	102 mm - 4.00 in. dia.
<b>Carga Util Balde</b>	109 Toneladas	<b>Cable Apertura Compuerta (01 EA)</b>	19 mm - 0.75 in. dia.

4100XPC Especificaciones generales de la pala eléctrica de minería	

Rangos Operacionales		Capacidad	
Altura de corte	16,8 m / 55 ft 2 in	Carga útil nominal*	De 99,8 a 108,9 tm / 120 tc
Radio de corte	23,9 m / 78 ft 8 in	Capacidad nominal del balde rasante SAE -SAE 2:1	De 52,8 a 61,2 m3 / De 69 a 82 yd3 de 58,3 a 67,6 m3 / de 74,4 a 88,4 yd3
Altura de descarga* (puerta abierta)	9,5 m / 31 ft	Carga suspendida nominal	195 tm / 215 tc
Radio a nivel del suelo	16,0 m / 52 ft 6 in	Tamaño óptimo del camión (se muestra camión de 360 tm [400 tc])	De 218 a 363 tm / De 240 a 400 tc
Radio de giro de cola	9,8 m / 32 ft 3 in		
Nivel visual del operador	10,1 m / 33 ft 1 in		

\*Se muestra la altura con un balde tipo aro. Las alturas son mayores para los baldes sin aro o compactos. La altura de descarga real puede ser mayor que la altura de la puerta.

\*La capacidad del balde y la carga útil dependen de diversos factores. Comuníquese con Komatsu Mining para analizar su aplicación específica.

*Nota.* De Komatsu Mining Corp.(2018).

**Figura 89**

*Ficha de Especificaciones de la P&H 4100 XPC SH004 – Parte 2*

		<b>Potencia de trabajo principales motores P&amp;H</b>		
		Motor de Levante (dos motores)	Rango continuo a 600V Potencia max desarrollada	2148kW / 2880hp 2770kW / 3713hp
		Motor de Giro (tres motores)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	1119kW / 1500hp 1340kW / 1796hp
		Motor de empuje (un motor)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	537kW / 720hp 825 kW / 1106hp
		Motor de propulsión (dos motores)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	1074kW / 1440hp 1434kW / 1922hp
<b>Dimensiones generales</b>		<b>Propulsión</b>		
A Ancho	14,4 m / 47 ft 1 in	La propulsión a demanda permite una rápida transferencia al modo de propulsión. La transferencia rápida a su vez permite un reposicionamiento frecuente de la pala en el banco, que redundará en tiempos de ciclos rápidos y mayor eficiencia de excavación. Dos cajas de engranajes planetarios P&H robustas de diseño probado transmiten de forma independiente el torque a las ruedas dentadas motrices, generando la fuerza de tracción requerida para que la propulsión y las operaciones de posicionamiento se efectúen rápida y eficientemente. Sistema de propulsión de rueda dentada motriz de baja tensión Delta marca P&H con zapatas de orugas de fundición para trabajo pesado.		
B Longitud	15,0 m / 49 ft 4 in	Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor.		
C Altura sobre pórtico	14,7 m / 48 ft 3 in	<b>Empuje</b>		
D Ancho de zapatas	1.930 mm / 2.210 mm / 76 in / 87 in	Accionamiento por correa en V Powerband entre el motor y el engranaje absorbe las cargas de choque. Engranajes de primera y segunda reducción en carcasa cerrada para garantizar la lubricación por salpicadura, facilitar el mantenimiento y extender la vida útil de los componentes.		
E Ancho de orugas (76")	10,2 m / 33 ft 6 in	El mango del balde de brazos dobles con cajón de torsión y accionamiento de piñón tiene una estabilidad inherente en el banco y ofrece capacidad óptima de excavación. Freno de disco de aplicación por resorte y liberación neumática.		
F Longitud de orugas	11,7 m / 38 ft 6 in	<b>Levante</b>		
G Distancia al suelo	0,7 m / 2 ft 2 in	Todos los engranajes están alojados en cajas de engranajes enclaustradas individuales con aceite filtrado y refrigerado que lubrica todos los cojinetes, además de lubricación por salpicadura para obtener un funcionamiento confiable y facilitar el mantenimiento. Tambor de levante grande con diámetro de 68" para una vida útil más prolongada de flexión del cable. El sistema de estrobo de férula y el remolcador eléctrico doble se entregan de fábrica de forma estándar para un cambio eficiente del cable. Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor.		
H Altura: del suelo a la parte inferior de las placas de contrapeso	3,6 m / 11 ft 10 in			
<b>Requisitos de potencia</b>				
Voltaje de alimentación*	7.200 o 13.800 V trifásico, 60 Hz / 6.000, 6.600, 7.200 u 11.000 trifásico, 50 Hz			
Transformador de alimentación	(Mínimo) 3.750 kVA			
Cortocircuito VA mínimo disponible en la pala	30 MVA			
*Voltaje según los requisitos del cliente				
<b>Giro</b>				
Tres cajas de engranajes planetarios modulares P&H de diseño probado y un engranaje de giro forjado de una sola pieza transmiten el torque para obtener tiempos de ciclos rápidos. Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor. Sistema de filtración de la lubricación por salpicadura.				

Nota. De Komatsu Mining Corp.(2018).

**Figura 90**

*Ficha de Especificaciones de la P&H 4100 XPC SH005 – Parte 1*

FICHA TECNICA PALA ELECTRICA 4100XPC - SH005: ES41311			
<b>Codigo Interno</b>	SH005	<b>Voltaje alimentacion</b>	3 fases - 50/60Hz - 7,200 V
<b>Numero de serie</b>	ES41311	<b>Potencia Maxima</b>	3750 KVA
<b>Equipo</b>	Pala electrica de Cable	<b>Peso total del equipo</b>	1,486,900 kg - 3,278,000 lbs
<b>Fabricante</b>	P&H	<b>Cable Levante (02 EA)</b>	73 mm - 2.75 in. dia.
<b>Modelo</b>	4100XPC	<b>Cables suspension (04 EA)</b>	102 mm - 4.00 in. dia.
<b>Carga Util Balde</b>	109 Toneladas	<b>Cable Apertura Compuerta (01 EA)</b>	19 mm - 0.75 in. dia.
<p><b>4100XPC</b> Especificaciones generales de la pala eléctrica de minería</p>			
<b>Rangos Operacionales</b>		<b>Capacidad</b>	
Altura de corte	16,8 m / 55 ft 2 in	Carga útil nominal*	De 99,8 a 108,9 tm / 120 tc
Radio de corte	23,9 m / 78 ft 8 in	Capacidad nominal del balde rasante SAE -SAE 2:1	De 52,8 a 61,2 m3 / De 69 a 82 yd3 de 58,3 a 67,6 m3 / de 74,4 a 88,4 yd3
Altura de descarga* (puerta abierta)	9,5 m / 31 ft	Carga suspendida nominal	195 tm / 215 tc
Radio a nivel del suelo	16,0 m / 52 ft 6 in	Tamaño óptimo del camión (se muestra camión de 360 tm [400 tc])	De 218 a 363 tm / De 240 a 400 tc
Radio de giro de cola	9,8 m / 32 ft 3 in		
Nivel visual del operador	10,1 m / 33 ft 1 in		
*Se muestra la altura con un balde tipo aro. Las alturas son mayores para los baldes sin aro o compactos. La altura de descarga real puede ser mayor que la altura de la puerta.		*La capacidad del balde y la carga útil dependen de diversos factores. Comuníquese con Komatsu Mining para analizar su aplicación específica.	

*Nota.* De Komatsu Mining Corp.(2018)

**Figura 91**

*Ficha de Especificaciones de la P&H 4100 XPC SH005 – Parte 2*

		<b>Potencia de trabajo principales motores P&amp;H</b>		
		Motor de Levante (dos motores)	Rango continuo a 600V Potencia max desarrollada	2148kW / 2880hp 2770kW / 3713hp
		Motor de Giro (tres motores)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	1119kW / 1500hp 1340kW / 1796hp
		Motor de empuje (un motor)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	537kW / 720hp 825 kW / 1106hp
		Motor de propulsión (dos motores)	Rango continuo a 550V Potencia max desarrollada	1074kW / 1440hp 1434kW / 1922hp
<b>Dimensiones generales</b>		<b>Propulsión</b>		
A Ancho	14,4 m / 47 ft 1 in	La propulsión a demanda permite una rápida transferencia al modo de propulsión. La transferencia rápida a su vez permite un reposicionamiento frecuente de la pala en el banco, que redundará en tiempos de ciclos rápidos y mayor eficiencia de excavación. Dos cajas de engranajes planetarios P&H robustas de diseño probado transmiten de forma independiente el torque a las ruedas dentadas motrices, generando la fuerza de tracción requerida para que la propulsión y las operaciones de posicionamiento se efectúen rápida y eficientemente. Sistema de propulsión de rueda dentada motriz de baja tensión Delta marca P&H con zapatas de orugas de fundición para trabajo pesado.		
B Longitud	15,0 m / 49 ft 4 in	Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor.		
C Altura sobre pórtico	14,7 m / 48 ft 3 in	<b>Empuje</b>		
D Ancho de zapatas	1.930 mm / 2.210 mm / 76 in / 87 in	Accionamiento por correa en V Powerband entre el motor y el engranaje absorbe las cargas de choque. Engranajes de primera y segunda reducción en carcasa cerrada para garantizar la lubricación por salpicadura, facilitar el mantenimiento y extender la vida útil de los componentes.		
E Ancho de orugas (76")	10,2 m / 33 ft 6 in	El mango del balde de brazos dobles con cajón de torsión y accionamiento de piñón tiene una estabilidad inherente en el banco y ofrece capacidad óptima de excavación. Freno de disco de aplicación por resorte y liberación neumática.		
F Longitud de orugas	11,7 m / 38 ft 6 in	<b>Levante</b>		
G Distancia al suelo	0,7 m / 2 ft 2 in	Todos los engranajes están alojados en cajas de engranajes enclaustradas individuales con aceite filtrado y refrigerado que lubrica todos los cojinetes, además de lubricación por salpicadura para obtener un funcionamiento confiable y facilitar el mantenimiento. Tambor de levante grande con diámetro de 68" para una vida útil más prolongada de flexión del cable. El sistema de estrobo de férula y el remolcador eléctrico doble se entregan de fábrica de forma estándar para un cambio eficiente del cable. Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor.		
H Altura: del suelo a la parte inferior de las placas de contrapeso	3,6 m / 11 ft 10 in			
<b>Requisitos de potencia</b>				
Voltaje de alimentación*	7.200 o 13.800 V trifásico, 60 Hz	6.000, 6.600, 7.200 u 11.000 trifásico, 50 Hz		
Transformador de alimentación	(Mínimo) 3.750 kVA			
Cortocircuito VA mínimo disponible en la pala	30 MVA			
*Voltaje según los requisitos del cliente				
<b>Giro</b>				
Tres cajas de engranajes planetarios modulares P&H de diseño probado y un engranaje de giro forjado de una sola pieza transmiten el torque para obtener tiempos de ciclos rápidos. Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor. Sistema de filtración de la lubricación por salpicadura.				

Nota. De Komatsu Mining Corp.(2018).

### Anexos - Ordenes de trabajo

Figura 92

OT de regulación de presión de frenos

<b>ORDEN DE TRABAJO:</b> <input type="text"/> NOTIFICACION DE ESTRATEGICA: <input type="text"/> (Supervisor de MMG)		<b>TITULO:</b> RHM: Regular presión neumática de frenos																																																																
TIPO DE BACKLOG: NUEVO <input checked="" type="checkbox"/> SUBSECUENTE <input type="checkbox"/> OT ORIGEN: <input type="text"/>		<b>PRIORIDAD</b> DUE DATE PROPUESTO: 07/05/2020 DUE DATE SUPERVISOR MMG: <input type="text"/>																																																																
EQUIPO: SH004 HOROMETRO: <input type="text"/>		<b>CODIGO DE SISTEMA:</b> AUSY.PNSM																																																																
FECHA GENERACION: 09/04/2020		<b>RECURSOS</b>																																																																
<b>DATOS DEL SOLICITANTE</b>		CANTIDAD HORAS MECANICOS: <input type="text"/> <input type="text"/> ELECTRICOS: 2 1.0 SOLDADORES: <input type="text"/> PREDICTIVOS: <input type="text"/>																																																																
NOMBRE: CHRISTIAN PACSI GUARDIA: A PUESTO: ESP. KMC TURNO: DIA EMPRESA: KMC CELULAR: 959101611		GRUA: <input type="text"/> HIDROLAVADOR: <input type="text"/> ELEVADOR: <input type="text"/> MONTACARGA: <input type="text"/> CAMABAJA: <input type="text"/> COMPRESOR: <input type="text"/> OTROS: <input type="text"/>																																																																
<b>DESCRIPCION DEL PROBLEMA:</b> • La presión neumática de frenos de propulsión presentaba constantes picos de presión los cuales superan los 120 PSI. Actualmente esta condición ha sido corregida. • Actualmente la presión regulada ya presenta un comportamiento normal de funcionamiento, pero se encuentra regulada a una presión baja (77psi) según manual esta presión debe ser regulada a 105 psi para frenos inferiores y 100 psi para freno superiores.																																																																		
<b>DESCRIPCION DEL TRABAJO:</b> • Verificar calibración de válvula reguladora a 105 PSI para los frenos inferiores y 100 psi para los frenos superiores según recomendación de fábrica.																																																																		
<b>MATERIALES/ REPUESTOS REQUERIDOS:</b>																																																																		
ITEM	NO DE PARTE	CODIGO SAP	DESCRIPCION	CANT	Precio Unit. \$	Precio Total. \$																																																												
<b>FOTOS/ESQUEMAS/CROQUIS</b>																																																																		
<p>Presión Línea de Freno (PSI)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Métrica</th> <th>Máximo</th> <th>Mínimo</th> <th>Presión</th> <th>Rango</th> <th>Unidad</th> <th>Signo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Crowd</td><td>91.05</td><td>-0.23</td><td>91.05</td><td>0.00 - 91.05</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Hoist Front</td><td>94.05</td><td>-1.39</td><td>94.05</td><td>0.00 - 94.05</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Hoist Rear</td><td>91.41</td><td>0.02</td><td>91.41</td><td>0.00 - 91.41</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Propel Left</td><td>100.79</td><td>-1.07</td><td>100.79</td><td>0.00 - 100.79</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Propel Right</td><td>79.91</td><td>-0.98</td><td>79.91</td><td>0.00 - 79.91</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Swing Front Left</td><td>91.73</td><td>0.03</td><td>91.73</td><td>0.00 - 91.73</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Swing Front Right</td><td>91.98</td><td>0.22</td><td>91.98</td><td>0.00 - 91.98</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Swing Rear</td><td>91.58</td><td>0.02</td><td>91.58</td><td>0.00 - 91.58</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> </tbody> </table>				Métrica	Máximo	Mínimo	Presión	Rango	Unidad	Signo	Crowd	91.05	-0.23	91.05	0.00 - 91.05	PSI	+	Hoist Front	94.05	-1.39	94.05	0.00 - 94.05	PSI	+	Hoist Rear	91.41	0.02	91.41	0.00 - 91.41	PSI	+	Propel Left	100.79	-1.07	100.79	0.00 - 100.79	PSI	+	Propel Right	79.91	-0.98	79.91	0.00 - 79.91	PSI	+	Swing Front Left	91.73	0.03	91.73	0.00 - 91.73	PSI	+	Swing Front Right	91.98	0.22	91.98	0.00 - 91.98	PSI	+	Swing Rear	91.58	0.02	91.58	0.00 - 91.58	PSI	+
Métrica	Máximo	Mínimo	Presión	Rango	Unidad	Signo																																																												
Crowd	91.05	-0.23	91.05	0.00 - 91.05	PSI	+																																																												
Hoist Front	94.05	-1.39	94.05	0.00 - 94.05	PSI	+																																																												
Hoist Rear	91.41	0.02	91.41	0.00 - 91.41	PSI	+																																																												
Propel Left	100.79	-1.07	100.79	0.00 - 100.79	PSI	+																																																												
Propel Right	79.91	-0.98	79.91	0.00 - 79.91	PSI	+																																																												
Swing Front Left	91.73	0.03	91.73	0.00 - 91.73	PSI	+																																																												
Swing Front Right	91.98	0.22	91.98	0.00 - 91.98	PSI	+																																																												
Swing Rear	91.58	0.02	91.58	0.00 - 91.58	PSI	+																																																												
<p>Presión Línea de Freno (PSI)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Métrica</th> <th>Máximo</th> <th>Mínimo</th> <th>Presión</th> <th>Rango</th> <th>Unidad</th> <th>Signo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Crowd</td><td>99.73</td><td>-0.24</td><td>99.73</td><td>0.00 - 99.73</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Hoist Front</td><td>93.66</td><td>2.05</td><td>93.66</td><td>0.00 - 93.66</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Hoist Rear</td><td>90.46</td><td>0.22</td><td>90.46</td><td>0.00 - 90.46</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Propel Left</td><td>77.55</td><td>-0.85</td><td>77.55</td><td>0.00 - 77.55</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Propel Right</td><td>77.30</td><td>-0.64</td><td>77.30</td><td>0.00 - 77.30</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Swing Front Left</td><td>90.66</td><td>0.10</td><td>90.66</td><td>0.00 - 90.66</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Swing Front Right</td><td>90.91</td><td>0.25</td><td>90.91</td><td>0.00 - 90.91</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> <tr><td>Swing Rear</td><td>90.38</td><td>0.01</td><td>90.38</td><td>0.00 - 90.38</td><td>PSI</td><td>+</td></tr> </tbody> </table>				Métrica	Máximo	Mínimo	Presión	Rango	Unidad	Signo	Crowd	99.73	-0.24	99.73	0.00 - 99.73	PSI	+	Hoist Front	93.66	2.05	93.66	0.00 - 93.66	PSI	+	Hoist Rear	90.46	0.22	90.46	0.00 - 90.46	PSI	+	Propel Left	77.55	-0.85	77.55	0.00 - 77.55	PSI	+	Propel Right	77.30	-0.64	77.30	0.00 - 77.30	PSI	+	Swing Front Left	90.66	0.10	90.66	0.00 - 90.66	PSI	+	Swing Front Right	90.91	0.25	90.91	0.00 - 90.91	PSI	+	Swing Rear	90.38	0.01	90.38	0.00 - 90.38	PSI	+
Métrica	Máximo	Mínimo	Presión	Rango	Unidad	Signo																																																												
Crowd	99.73	-0.24	99.73	0.00 - 99.73	PSI	+																																																												
Hoist Front	93.66	2.05	93.66	0.00 - 93.66	PSI	+																																																												
Hoist Rear	90.46	0.22	90.46	0.00 - 90.46	PSI	+																																																												
Propel Left	77.55	-0.85	77.55	0.00 - 77.55	PSI	+																																																												
Propel Right	77.30	-0.64	77.30	0.00 - 77.30	PSI	+																																																												
Swing Front Left	90.66	0.10	90.66	0.00 - 90.66	PSI	+																																																												
Swing Front Right	90.91	0.25	90.91	0.00 - 90.91	PSI	+																																																												
Swing Rear	90.38	0.01	90.38	0.00 - 90.38	PSI	+																																																												
<b>APROBACIONES:</b>																																																																		
ANALISTA DE MONITOREO P&P																																																																		

Nota. Del Software de Gestión de Mina ERP SAP de Minera del Sur

**Tabla 11**

*Listado de OT generado del RHM por un año de periodo de prueba.*

Equipo	Fecha	OT	Servicio	Condición	Estado
SH003	17/12/2019	200532124	RHM	Presión principal de sistema neumático es baja	CERRADA
SH003	17/12/2019		RHM	Banco 3 RPC sin señal de corriente	CERRADA
SH003	17/12/2019		RHM	Crowd Brakes Did Not Set Fault	CERRADA
SH003	27/01/2020	200532127	RHM	Sobre velocidad de motor de Empuje	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	26/02/2020	200532121	RHM	Alarma Térmica en Drive de Levante	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	26/02/2020	200554421	RHM	Transductor de nivel de grasa no envía señal	CERRADA
SH003	24/03/2020	200532122	RHM	Alarmas continuas por falla a tierra DC	CERRADA
SH003	06/04/2020	200531803	RHM	Sistema payload inactivo	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	15/04/2020	200533057	RHM	Batería de Backup PLC AC800 descargada	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	06/06/2020	200542315	RHM	RTD de Transmisión de empuje, Rodamiento reducción Lado derecho forzada	CERRADA
SH003	21/06/2020	200543809	RHM	Falla a tierra en transformador principal	CERRADA
SH003	02/07/2020	200532126	RHM	RTD de Campo de motor posterior de levante desconectada	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	02/07/2020	200532124	RHM	Presión neumática baja de frenos superiores	CERRADA
SH003	02/07/2020	200542317	RHM	RTD de Cojinete caja de engranajes transmisión izquierda de propulsión desconectada	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	10/08/2020	200557006	RHM	Se requiere desmontar el gabinete de control Adaptativo instalado en la SH003 para la prueba de desempeño de la pala con el kit de Control Adaptativo activo.	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	14/08/2020	200554420	RHM	Presión de aire principal baja	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	14/08/2020	200554421	RHM	Falla de comunicación de Milltronics	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	14/08/2020	200554377	RHM	Excesiva presión en frenos de Propel	LISTO PARA PROGRAMAR
SH003	25/08/2020	200556765	RHM	No se tiene comunicación con datalogger	CERRADA
SH003	18/09/2020	200562192	RHM	Problemas en Sistema TripRite	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	17/01/2020		VIBRACIONES	Desgaste o mal ajuste de los componentes de conmutación B B	CERRADA
SH004	17/01/2020		VIBRACIONES	Desgaste o mal ajuste de los componentes de conmutación B B	CERRADA
SH004	17/01/2020		VIBRACIONES	Soltura de Caja de Transmisión	CERRADA
SH004	17/01/2020		VIBRACIONES	Impactos aleatorios	CERRADA
SH004	27/01/2020		RHM	Transductor de nivel de grasa Milltronics sin señal	CERRADA
SH004	18/02/2020		RHM	Crowd Brakes Did Not Set Fault	CERRADA
SH004	10/04/2020	200537940	RHM	Resolver de giro sin lectura	CERRADA
SH004	15/04/2020	200533058	RHM	Batería de Backup PLC AC800 descargada	CERRADA
SH004	06/06/2020		RHM	Falla con switch de Mantenimiento de frenos de propulsión	PENDIENTE OT
SH004	06/06/2020	200537941	RHM	Fallas del I/O Lower	CERRADA
SH004	18/06/2020	200543846	RHM	Falla Sobre Voltaje TripRite	CERRADA
SH004	18/06/2020	20054361	RHM	Banco RPC 1 deshabilitado y RPC 3 desbalanceado	CERRADA
SH004	25/06/2020		RHM	Sobrecorriente de campo de motor de Crowd	CERRADA
SH004	02/07/2020	200532047	RHM	Presión neumática de frenos mal regulada	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	02/07/2020	200537939	RHM	Falla Transductor de nivel de grasa Milltronics	CERRADA
SH004	02/07/2020	200537956	RHM	RTDs de transformador principal no se muestran en el GUI ni se aprecian por PreVail	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	27/07/2020	200551606	RHM	Falla de arranque de módulo de TripRite	CERRADA
SH004	29/07/2020	200551882	RHM	Cableado incorrecto de señales de RTDs de motor de Propel LH	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	30/07/2020		RHM	Alarma Térmica en Drive de Levante	CERRADA
SH004	30/07/2020	200537941	RHM	Falla Interruptor Bloqueo Puerta Gab Control Inf [03-L54A01]	CERRADA
SH004	30/07/2020	200532054	RHM	Tiempos elevados de lubricación Cerrada	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	11/08/2020	200537204	RHM	Potencial Traba Mecánica en Sistema de Apertura de Compuerta	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	11/08/2020	200556569	RHM	Golpes entre la polea inferior y superior de la compuerta del cucharón de la SH004 (ES41249)	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	11/08/2020	200554076	RHM	Resolver de giro sin lectura	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	15/09/2020	200537000	RHM	Falla Sobrecorriente de campo de Hoist	CERRADA
SH004	15/09/2020	200562199	RHM	Falla en conducción en tiristor de RPC	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	15/09/2020	200562220	RHM	Problemas en Sistema TripRite	LISTO PARA PROGRAMAR
SH004	15/09/2020	200562198	RHM	Falla de Profibus de sensor de nivel Milltronics	LISTO PARA PROGRAMAR
SH005	27/04/2020	200537902	RHM	Fallas continuas de Run Disabled	CERRADA
SH005	08/05/2020	200536470	RHM	Presión de frenos de propulsión elevada	CERRADA
SH005	16/05/2020	200537909	RHM	Compresor de aire #1 no alcanza la presión requerida del sistema	LISTO PARA PROGRAMAR
SH005	16/05/2020	200537911	RHM	Gran incidencia de eventos de ABSS Crowd limit fault	CERRADA
SH005	16/05/2020	200537910	RHM	Se presentaron múltiples eventos de Crowd Overspeed	CERRADA
SH005	16/05/2020	200535318	RHM	Sistema AirScrubPro deshabilitado	LISTO PARA PROGRAMAR
SH005	10/06/2020	200542321	RHM	Advertencia Escalera Izquierda Abajo	CERRADA
SH005	29/06/2020		FS	Compuerta de balde no cierra	CERRADA
SH005	13/07/2020	200551887	RHM	Eventos de sobretemperatura de Input inside pinion	LISTO PARA PROGRAMAR
SH005	16/08/2020		RHM	Se tiene precedentes de que el compresor de aire #1 no alcanza la presión requerida del sistema,	PENDIENTE OT
SH005	17/08/2020	200545764	RHM	Instalación de Gabinete KinCal por no estar instalado	LISTO PARA PROGRAMAR
SH005	17/08/2020	200545764	RHM	Swing resolver en pala SH005 no instalado y sin conectar.	LISTO PARA PROGRAMAR
SH005	25/08/2020	200556766	RHM	No se tiene comunicación con datalogger	CERRADA
SH005	09/09/2020	200562221	RHM	Falla de contactor C4 de módulo de A/C de cab. Operador	LISTO PARA PROGRAMAR
SH005	18/09/2020	200562191	RHM	Filtros de aire saturados	LISTO PARA PROGRAMAR
SH005	25/09/2020	200562159	RHM	Falla de relé PSR (Phase sensing relay)	LISTO PARA PROGRAMAR

*Nota. Del Software de Gestión de Mina ERP SAP de Minera del Sur*

Figura 93

OT de mantenimiento de cambio de contactor blower SH003

200401829 CNF

**KOMATSU** ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO

*Cambio de Contactor de Blower de Sala de Maquinas RH*

EQUIPO: SH003    MODELO: 4100XPC    HORÓMETRO: 23519 hrs

TIPO DE DETENCIÓN (FALLA)		TIEMPO DE PARADA (EQUIPO)		CONTROL SAP / PLANEAMIENTO	
Mantto. Programado	<input checked="" type="checkbox"/>	Fecha Inic:	<u>08-09-18</u> H. inicio <u>01:57</u>	N° Noifloc. LB:	
Mantto. No Programado	<input type="checkbox"/>	Fecha Fin:	<u>08-09-18</u> H. fin <u>03:30</u>	O. Trabajo LB:	<u>200401829</u>
Aprovechamiento	<input type="checkbox"/>	Duración Total:		PE / Reserva	
				N° Noifloc. LB:	
				O. Trabajo LB:	

Ublc. Técnica    Sistema:    Subistema:    Componente:

**DESCRIPCIÓN DE LA DETENCIÓN** ¿Porqué Falló?

**SOLUCIÓN DE LA DETENCIÓN.** Describe al detalle las actividades que hizo para minimizar o eliminar la falla:

- Se realizó bloqueo de Energías.
- Se retiró Cubículo de Motor de Blower de Sala de Maquinas RH en MCC.
- Se retiró Cableado de cubículo y se Retiró Contactor de Motor de Blower de Sala de Maquinas RH en MCC.
- Se Realizó Megado de Motor de Blower de Sala de Maquinas RH con respecto a trérra: 017231 = 3.04 Gr 017241 = 3.05 Gr 017251 = 3.05 Gr.
- Se realizó montaje de Contactor, cableado, limpieza de Barras en cubículo y en MCC, se colocó Pasta Conductora.
- Se realizó pruebas de Corriente Arcoque: 375A, Nominal 33.9/32.8/30.6 en fases

**TRABAJOS PENDIENTES.** Describe las actividades pendientes por realizar:

*Se Reutilizó Bimetálicos de las 3 fases por No Venir en el Kit.*

**PERSONAL.** detalle los técnicos involucrados en la tarea

ITEM	Apellidos y Nombres	Categoría	Fecha Inicio	Hora Inicio	Fecha Fin	Hora Fin
01	Mendoza Rojas, Jaime	Electr.	08-09-18	01:57	08-09-18	03:30
02	Velasquez Montoya, Jordan	Electr.	08-09-18	01:57	08-09-18	03:30
03	Merkado Pinedo, Carlos	Electr.	08-09-18	01:57	08-09-18	03:30
04	Chura Aragon, Plácido	Mecanico	08-09-18	01:57	08-09-18	03:30

**REPUESTOS** (Aquellos que fueron utilizados para reparar la falla)

N/P	Cantidad	Descripción	Sistema	Comentarios
R47370D3	01	Contactor	Auxiliares	Blower RH

**DEMORAS NO CONTRACTUALES** (Intervalos de tiempo ajenos al mantenimiento: Tormenta eléctrica, Voladura, Espera de facilidades, otros)

Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin	Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin

**OBSERVACIONES GENERALES**

TÉCNICO RESPONSABLE

SUPERVISOR KOMATSU MINING CORP

PLANNER KOMATSU MINING CORP

SUPERVISOR MANTTO LAS BAMBAS

Nota. De Minera del Sur, Archivo de Ordenes de Trabajo Setiembre 2018



Figura 95

OT de mantenimiento de falla en Blower derecho SH003

200398448 CNF

**ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO**  
*Falla en Blower lado Derecho*

EQUIPO: *SH003*

MODELO: *400xpc*

HORÓMETRO: *23204*

TIPO DE DETECCIÓN (FALLA)	
Mantto. Programado	<input type="checkbox"/>
Mantto. No Programado	<input checked="" type="checkbox"/>
Aprovechamiento	<input type="checkbox"/>

TIEMPO DE PARADA (EQUIPO)			
Fecha Inic:	<i>18:52</i>	HI	<i>23/08/18</i>
Fecha Fin:	<i>19:03</i>	HF	<i>23/08/18</i>
Duración Total:			

CONTROL SAP / PLANEAMIENTO	
N° Notificac. LB:	
O. Trabajo LB:	<i>200398448</i>
PR / Reserva	
N° Notificac. LB:	
O. Trabajo LB:	

Ublc. Técnica: \_\_\_\_\_ Sistema: \_\_\_\_\_ Subsistema: \_\_\_\_\_ Componente: \_\_\_\_\_

**DESCRIPCIÓN DE LA DETECCIÓN** ¿Por qué falló?

*Apertura de Reb Térmico*

**SOLUCIÓN DE LA DETECCIÓN** Describe al detalle las actividades que hizo para minimizar o eliminar la falla:

*Se Apertura: Reb Térmico en Blower de sala de maquina lado Derecho, se*  
*- Se Inyectamos cables de Control*  
*- Se Sincronizamos cables de Potencia*

**TRABAJOS PENDIENTES** Describe las actividades pendientes por realizar:

**PERSONAL** detalle los técnicos involucrados en la tarea

ITEM	Apellidos y Nombres	Categoría	Fecha Inicio	Hora Inicio	Fecha Fin	Hora Fin
1	<i>Augusto Víctor Juan Carlin</i>	<i>Técnico</i>	<i>23-08-18</i>	<i>18:52</i>	<i>27-08-18</i>	<i>19:03</i>

**REPUESTOS** (Aquellos que fueron utilizados para reparar la falla)

N/P	Cantidad	Descripción	Sistema	Comentarios

**DEMORAS NO CONTRACTUALES** (Intervalos de tiempo ajenos al mantenimiento: Tormenta eléctrica, Voladura, Espera de facilidades, otros)

Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin	Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin

**OBSERVACIONES GENERALES**

TÉCNICO RESPONSABLE

SUPERVISOR KOMATSU MINING CORP

PLANNER KOMATSU MINING CORP

SUPERVISOR MANTTO LAS BAMBAS

Nota. De Minera del Sur, Archivo de Ordenes de Trabajo agosto 2018

Figura 96

OT de mantenimiento de falla en ventilador de SH003

200396 160 CNF

**KOMATSU** ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO

LAS BAMBAS

EQUIPO: SH 003    MODELO: 4100 XPC    HORÓMETRO: 22 999

TIPO DE DETENCIÓN (FALLA)		TIEMPO DE PARADA (EQUIPO)		CONTROL SAP / PLANEAMIENTO	
Manten. Programado	<input type="checkbox"/>	Fecha Inicio:	<u>13-08-18</u> <u>HI</u> <u>14:43</u>	N° Notificac. LB:	<u>200396160</u>
Manten. No Programado	<input checked="" type="checkbox"/>	Fecha Fin:	<u>13-08-18</u> <u>HF</u> <u>15:27</u>	PR / Reserva	
Aprovechamiento	<input type="checkbox"/>	Duración Total:		N° Notificac. LB:	
				O. Trabajo LB:	

Ubic. Técnica: \_\_\_\_\_ Sistema: \_\_\_\_\_ Subistema: \_\_\_\_\_ Componente: \_\_\_\_\_

DESCRIPCIÓN DE LA DETENCIÓN ¿Por qué Falló? OPERADOR REPORTA FALLA EN VENTILADOR

SOLUCIÓN DE LA DETENCIÓN. Describa al detalle las actividades que hizo para minimizar o eliminar la falla:

- \* INSPECCIÓN DE EVENTOS EN GUT
- \* INSPECCIÓN DE CUBICULOS DE VENTILADOR RH DE SALA DE MAQUINAS
- \* SE ENCONTRÓ LOS FUSIBLES TIRADOS
- \* MEDICIÓN DE AISLAMIENTO
- \* REAJUSTE DE CONECTORES EN CUBICULO
- \* MEDICIÓN DE VOLTASE, CORRIENTE ARRANQUE Y NOMINAL
- \* PRUEBAS OPERACIONALES

TRABAJOS PENDIENTES. Describa las actividades pendientes por realizar: MEJORA DE MOTOR E INSPECCION DE CUBICULO DE VENTILADOR RH

PERSONAL. detalle los técnicos involucrados en la tarea

ITEM	Apellidos y Nombres	Categoría	Fecha Inicio	Hora Inicio	Fecha Fin	Hora Fin
1	<u>VELASQUEZ MONTONA JORDAN</u>	<u>t. electricista</u>	<u>13-08-18</u>	<u>15:03</u>	<u>13-08-18</u>	<u>15:27</u>
1	<u>CAURA ARAGON PLACIDO</u>	<u>t. MECANICO</u>	<u>13-08-18</u>	<u>15:08</u>	<u>13-08-18</u>	<u>15:27</u>

REPUESTOS (Aquellos que fueron utilizados para reparar la falla)

N/P	Cantidad	Descripción	Sistema	Comentarios

DEMORAS NO CONTRACTUALES (Intervalos de tiempo ajenos al mantenimiento: Tormenta eléctrica, Voladura, Espera de facilidades, otros)

Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin	Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin
<u>TORRENTE RESTRINGIDO</u>	<u>13-08-18</u>	<u>14:43</u>		<u>13-08-18</u>	<u>15:03</u>

OBSERVACIONES GENERALES

TECNICO RESPONSABLE

SUPERVISOR KOMATSU MINING CORP.

PLANNER KOMATSU MINING CORP.

SUPERVISOR MANTTO LAS BAMBAS

Nota. De Minera del Sur, Archivo de Ordenes de Trabajo agosto 2018

Figura 97

OT de mantenimiento de Alineamiento de Motor Empuje SH003

200394240      CNF

**KOMATSU**

F&H    OCV    WIPAC

**ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO**

Alineamiento de Motor CROWN

LAS BAMBAS

---

EQUIPO: SH-03    MODELO: 4100 XPC    HORÓMETRO: 23398

TIPO DE DETECCIÓN (FALLA)		TIEMPO DE PARADA (EQUIPO)		CONTROL SAP / PLANEAMIENTO	
Monto Programado	<input checked="" type="checkbox"/>	Fecha Inic:	01-09-18 10:00	N° NoMcc. LB:	
Monto No Programado	<input type="checkbox"/>	Fecha Fin:	01-09-18 10:30	O. Trabajo LB:	200394240
Aprovechamiento	<input type="checkbox"/>	Duración Total:		PE / Reserva	
				N° NoMcc. LB:	
				O. Trabajo LB:	

---

Ubic. Técnica    Sistema:    Subistema:    Componente:

---

**DESCRIPCIÓN DE LA DETECCIÓN** ¿Porqué Falló?

---

**SOLUCIÓN DE LA DETECCIÓN** Describe al detalle las actividades que hizo para minimizar o eliminar la falla:

Se realiza la verificación del alineamiento de motor de crown y polea  
 Se realiza el alineamiento del motor y polea quedando dentro de los parámetros de tolerancia el alineamiento  
 se realiza el ajuste de pernos de base de motor eléctrico de crown  
 se ajusta los reguladores del motor eléctrico de crown

---

**TRABAJOS PENDIENTES** Describe las actividades pendientes por realizar:

---

**PERSONAL** detalle los técnicos involucrados en la tarea

ITEM	Apellidos y Nombres	Categoría	Fecha Inicio	Hora Inicio	Fecha Fin	Hora Fin
	Céspedes Pacheco Frith	Tec. Mec.	01-09-18	07:00	01-09-18	10:30
	Vance Bravo Carlos	Tec. Mec.	01-09-18	07:00	01-09-18	10:30
	Medina Benavente Eliud	Tec. Mec.	01-09-18	07:00	01-09-18	10:30

---

**REPUESTOS** (Aquellos que fueron utilizados para reparar la falla)

N/P	Cantidad	Descripción	Sistema	Comentarios

---

**DEMORAS NO CONTRACTUALES** (Intervalos de tiempo ajenos al mantenimiento: Tormenta eléctrica, Voladura, Espera de facilidades, otros)

Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin	Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin

---

**OBSERVACIONES GENERALES**

TÉCNICO RESPONSABLE

SUPERVISOR KOMATSU MINING CORP.

PLANNER KOMATSU MINING CORP.

Supervisor Mantto  
Supervisor Mantenimiento Minera  
LAS BAMBAS

Nota. De Minera del Sur, Archivo de Ordenes de Trabajo septiembre 2018

Figura 98

OT de mantenimiento de Videoscopia transmisión de Empuje SH003

200392620 CUE

**ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO**  
*Videoscopia de transmisión de Crown*

EQUIPO: **SH-03**    MODELO: **4100XP**    HORÓMETRO:

**CONTROL SAP / PLANEAMIENTO**  
 N° NoMccac. LB:   
 O. Trabajo LB: **200392620**  
 PR / Reserva:   
 N° NoMccac. LB:   
 O. Trabajo LB:

TIPO DE DETENCIÓN (FALLA)	
Manto. Programado	<input checked="" type="checkbox"/>
Manto. No Programado	<input type="checkbox"/>
Aproechamiento	<input type="checkbox"/>

TIEMPO DE PARADA (EQUIPO)	
Fecha Inicio:	<b>01-09-18H. inicial 08:00</b>
Fecha Fin:	<b>01-09-18H. Pina 09:00</b>
Duración Total:	<input type="text"/>

Ubic. Técnica:     Sistema:     Subistema:     Componente:

**DESCRIPCIÓN DE LA DETENCIÓN ¿Porqué Falló?**  


---

---

---

**SOLUCIÓN DE LA DETENCIÓN** Describe al detalle las actividades que hizo para minimizar o eliminar la falla:  
*\* se retiró tapas de transmisión de caja de crown*  
*\* se apoyo a personal de AdeminSac para su videoscopia*  
*\* se instaló tapas de transmisión de caja de crown*

**TRABAJOS PENDIENTES** Describe las actividades pendientes por realizar:  


---

---

---

**PERSONAL** detalle los técnicos involucrados en la tarea
 

ITEM	Apellidos y Nombres	Categoría	Fecha Inicio	Hora Inicio	Fecha Fin	Hora Fin
	<i>Llance Bravo Carlos</i>	<i>Tec. Mec.</i>		<i>08:00</i>		<i>09:00</i>

**REPUESTOS** (Aquellos que fueron utilizados para reparar la falla)
 

N/P	Cantidad	Descripción	Sistema	Comentarios

**DEMORAS NO CONTRACTUALES** (Intervalos de tiempo ajenos al mantenimiento: Tormenta eléctrica, Voladura, Espera de facilidades, otros)
 

Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin	Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin

**OBSERVACIONES GENERALES**  


---

---

---

TÉCNICO RESPONSABLE

SUPERVISOR KOMATSU MINING CORP.

PLANNER KOMATSU MINING CORP.

SUPERVISOR MANTTO LAS BAMBAS

Nota. De Minera del Sur, Archivo de Ordenes de Trabajo septiembre 2018

Figura 99

OT de mantenimiento de Cambio de motores de Blower SH003

Junto al PMA W.O.: 200566403 // 100566404 CNP

**ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO**

Cambio de Motores de Blower Sala máquina

EQUIPO: SH03

MODELO: 4100RPC

HOROMETRO: 27586

TIPO DE DETENCIÓN (FALLA)	
Manto. Programado	<input checked="" type="checkbox"/>
Manto. No Programado	<input type="checkbox"/>
Aprovechamiento	<input type="checkbox"/>

TIEMPO DE PARADA (EQUIPO)	
Fecha Inic: 24/04/19	Hora Inicio: 6:30
Fecha Fin: 24/04/19	Hora Fin: 18:43
Duración Total:	

CONTROL SAP / PLANEAMIENTO	
N° Notificac. LB	
O. Trabajo LB	
PR / Reserva	
N° Notificac. JG	
O. Trabajo JG	

Ubic. Técnica Sistema: \_\_\_\_\_ Subsistema: \_\_\_\_\_ Componente: \_\_\_\_\_

**DESCRIPCIÓN DE LA DETENCIÓN ¿Por qué Falló?:**

Cambio de motores de blower Sala Máquina

**SOLUCIÓN DE LA DETENCIÓN.** Describa al detalle las actividades que hizo para minimizar o eliminar la falla:

- Se corrigen agujeros con Butil para que los pernos entren derecho.
- Se montan los pernos en Air Scrub.
- Se torqueman todos los pernos.
- Se monta estructuras metálicas.
- Se coloca silicona en los tapos que se abrieron por desmontaje de motores.
- Se conecta mangueras de grosa a blower.
- Se conecta cables conectores eléctricos en el sistema de control.

**TRABAJOS PENDIENTES.** Describa las actividades pendientes por realizar:

**PERSONAL.** Detalle los técnicos involucrados en la tarea

ITEM	Apellidos y Nombres	Categoría	Fecha Inicio	Hora inicio	Fecha Fin	Hora Fin
01	Abdon Ccaña	Mecánico	24/04/19	6:30	24/04/19	18:43
02	Miguel Coaguira	"	"	"	"	"
03	Miguel Ocaña	"	"	"	"	"
04	Rosal Flores	"	"	"	"	"
05	Denis Zevallos	"	"	"	"	"
06	Percy Suni	Electricista	"	"	"	"
07	Luis Velozquez	"	"	"	"	"
08	cesar Bacharriay	"	"	"	"	"

**REPUESTOS** (Aquellos que fueron utilizados para reparar la falla)

N/P	Cantidad	Descripción	Sistema	Comentarios

**DEMORAS NO CONTRACTUALES** (Intervalos de tiempo ajenos al mantenimiento: Tormenta eléctrica, Voladura, Voladura, espera de facilidades, Otros)

Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin	Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin
Falta energía eléctrica	6:30 am	8:32 am			

**OBSERVACIONES GENERALES**

Abdon Ccaña  
TECNICO RESPONSABLE

Milton Peña  
SUPERVISOR JOY GLOBAL

PLANNER JOY GLOBAL

*[Signature]*  
SUPERVISOR MANTO LAS BAMBAS

Nota. De Minera del Sur, Archivo de Ordenes de Trabajo abril 2018

Figura 100

OT de mantenimiento de monitoreo de temperatura de Motor Crowd

200 403327 CNF

**ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO**  
 Monitoreo de temperatura Motor Crowd

EQUIPO: SH003    MODELO: 4100XPC    HORÓMETRO: 23489

CONTROL SAP / PLANEAMIENTO	
N° Notificac. LB:	
O. Trabajo LB:	200403327
PR / Reserva	
N° Notificac. LB:	
O. Trabajo LB:	

TIPO DE DETECCIÓN (FALLA)	
Mantto. Programado	<input type="checkbox"/>
Mantto. No Programado	<input type="checkbox"/>
Aprovechamiento	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPO DE PARADA (EQUIPO)			
Fecha Inic:	06-09-18	HF	9:00
Fecha Fin:	06-09-18	HF	15:00
Duración Total:			

Ubic. Técnica:    Sistema:    Subistema:    Componente:

**DESCRIPCIÓN DE LA DETECCIÓN ¿Porqué Falló?**  
 Monitoreo de temperatura por intervalos de tiempo  
**SOLUCIÓN DE LA DETECCIÓN.** Describa al detalle las actividades que hizo para minimizar o eliminar la falla:  
 Se procede a monitorear temperatura de motor de crowd (DRIVE END) por intervalos de tiempo de 30 minutos  
 9:00 AM : 76°C , 9:30 AM : 77°C , 10:00 AM : 77°C , 10:30 AM : 78°C  
 11:00 AM : 78°C , 11:30 AM : 78°C , 12:00 : 79°C , 12:30 : 79°C  
 1:00 PM : 79°C , 1:30 PM : 79°C , 2:00 PM : 80°C , 2:30 PM : 80°C

**TRABAJOS PENDIENTES.** Describa las actividades pendientes por realizar:

**PERSONAL.** detalle los técnicos involucrados en la tarea
 

ITEM	Apellidos y Nombres	Categoría	Fecha Inicio	Hora Inicio	Fecha Fin	Hora Fin
01	Alex Enzo M.	Elect	06-09-18	9:00	06-09-18	15:00
02	Juan C. Quispe	Elect	06-09-18	9:00	06-09-18	15:00

**REPUESTOS** (Aquellos que fueron utilizados para reparar la falla)
 

N/P	Cantidad	Descripción	Sistema	Comentarios

**DEMORAS NO CONTRACTUALES** (Intervalos de tiempo ajenos al mantenimiento: Tormenta eléctrica, Voladura, Espera de facilidades, otros)
 

Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin	Descripción	Fecha/Hora Inicio	Fecha/Hora Fin

**OBSERVACIONES GENERALES**  

TÉCNICO RESPONSABLE

SUPERVISOR KOMATSU MINING CORP.

PLANNER KOMATSU MINING CORP.

SUPERVISOR MANTTO LAS BAMBAS

Nota. De Minera del Sur, Archivo de Ordenes de Trabajo abril 2018

### Anexo - Notificaciones

**Tabla 12**

*Gestión de Notificaciones abiertas y cerradas del RHM en equipos.*

TAG	SERIAL	CONDICIONES	CONDICIONES CERRADAS	CONDICIONES ABIERTAS	% CONDICIONES CERRADAS	HORAS DE PARADA EVITADAS	HORAS DE PARADA EVITADAS
SH003	ES41241	20	9	11	45%	22	\$309,800
SH004	ES41249	28	17	11	61%	83	\$635,700
SH005	ES41311	16	7	9	44%	12	\$82,800
LD001	G2L-2350-2211	24	16	8	67%	41	\$282,900
TD003	BD320179	8	0	8	0%	0	\$0
TD004	BD320188	7	1	6	14%	0	\$0
TD008	BD320199	10	4	6	40%	13	\$52,000
<b>TOTAL</b>		<b>113</b>	<b>54</b>	<b>59</b>	<b>48%</b>	<b>171</b>	<b>\$1,363,200</b>

*Nota. Del Software de Gestión de Mina ERP SAP de Minera del Sur*

**Figura 101**

*Notificación 2931 - SH003 - Alinear motor-faja de empuje*

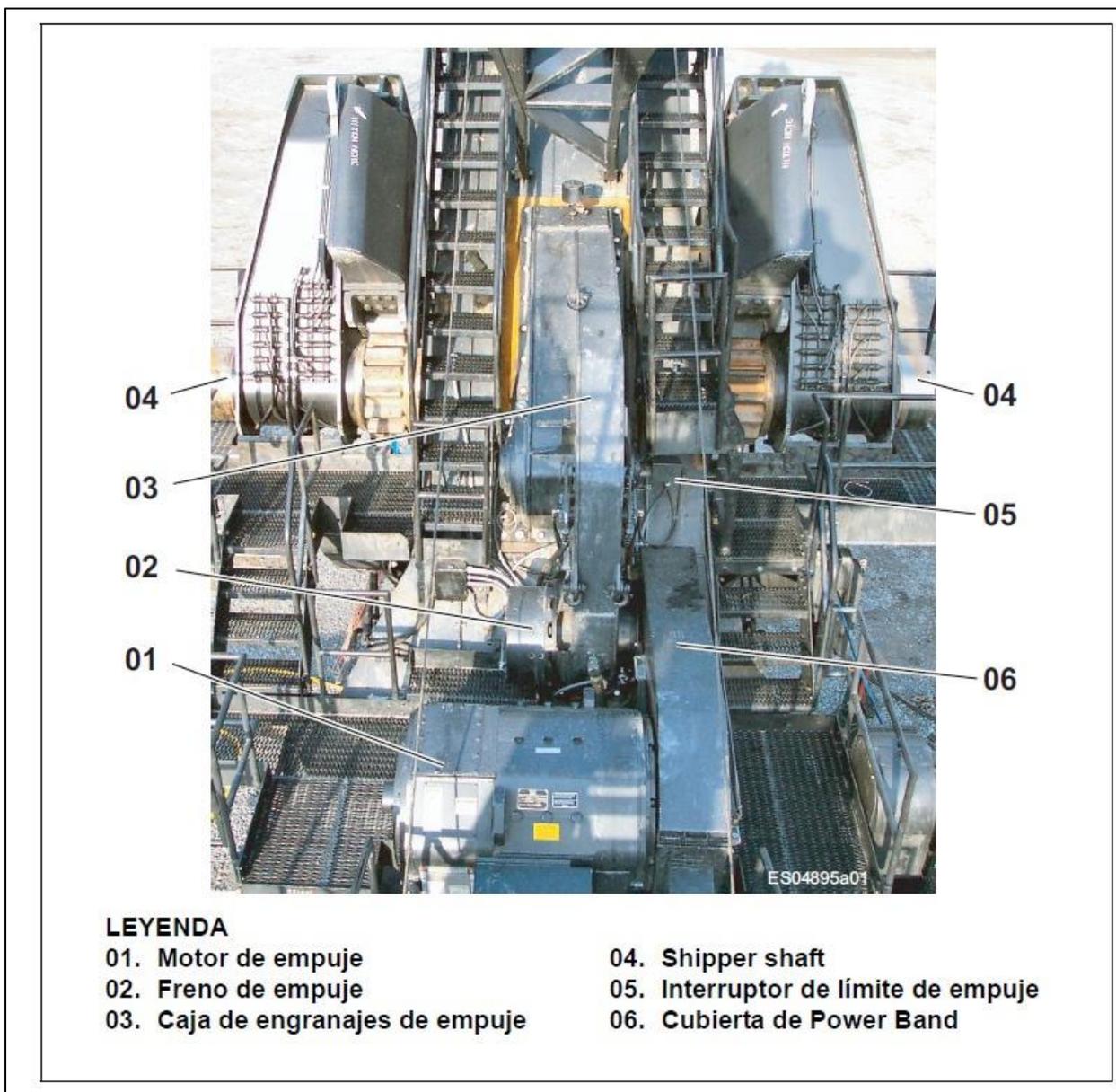
NOTIFICACION N°											
2931											
TIPO DE NOTIFICACION	NUEVA	<input type="checkbox"/>	SUBSECUENTE	<input checked="" type="checkbox"/>	OT ORIGIN	<input type="checkbox"/>	EQUIPO	SH-003	FECHA	3/08/2018	
ACCION REQUERIDA: CAMBIAR, INSTALAR, INSPECCIONAR, SOLDAR, REPARAR			ESPECIFICAR COMPONENTE AL QUE SE REALIZA LA ACCION:			ESPECIFICAR LA UBICACION EN EL EQUIPO DONDE SE REALIZARA LA ACCION:					
REPARAR			MOTOR-PIÑON			FAJA DE MOTOR DE CROWD					
CODIGO TIPO DE TRABAJO	1		DATOS DEL SOLICITANTE / EJECUTOR	NOMBRE:	JORGE HUANCA	GUARDIA:	A				
CODIGO DE CAUSA	C670			PUESTO:	MECANICO	TURNO:	NOCHE				
CODIGO DE DAÑO	D300			EMPRESA:	KMC	CELULAR:					
CODIGO DE SISTEMA	CDSY.CDCM			RECURSOS	CANTIDAD	HORAS					
PRIORIDAD					MECANICOS:	2	5	GRUA	HIDROLAVADOR		
INTERVAL 24 HORAS					ELECTRICOS:			ELEVADOR	MONTACARGA		
PROXIMO PROGRAMA					SOLDADORES:			CAMABAJA	COMPRESOR		
PROXIMO 30 DIAS				PREDICTIVO:	1		OTROS:	ADEMINSAC			
DESCRIPCION DEL PROBLEMA:											
EL MOTOR DE CROWD SE ENCUENTRA DESALINEADO, PUDIENDO DAÑAR LA FAJA.											
DESCRIPCION DEL TRABAJO:											
Se requiere realizar la alineación del motor de crowd.											
MATERIALES/ REPUESTOS REQUERIDOS:											
ITEM	Nº DE PARTE	CODIGO SAP		DESCRIPCION				CANT.			
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
FOTOS/ESQUEMAS/CROQUIS											
APROBACIONES:											
DAVID VILLANUEVA SUPERVISOR SSEE					JOE ENCALADA SUPERVISOR MMG						

*Nota.* De Base de datos Minera del Sur, Notificaciones Generadas año 2018

Anexos – Sistemas y subsistemas de Pala eléctrica P&H 4100XPC

**Figura 102**

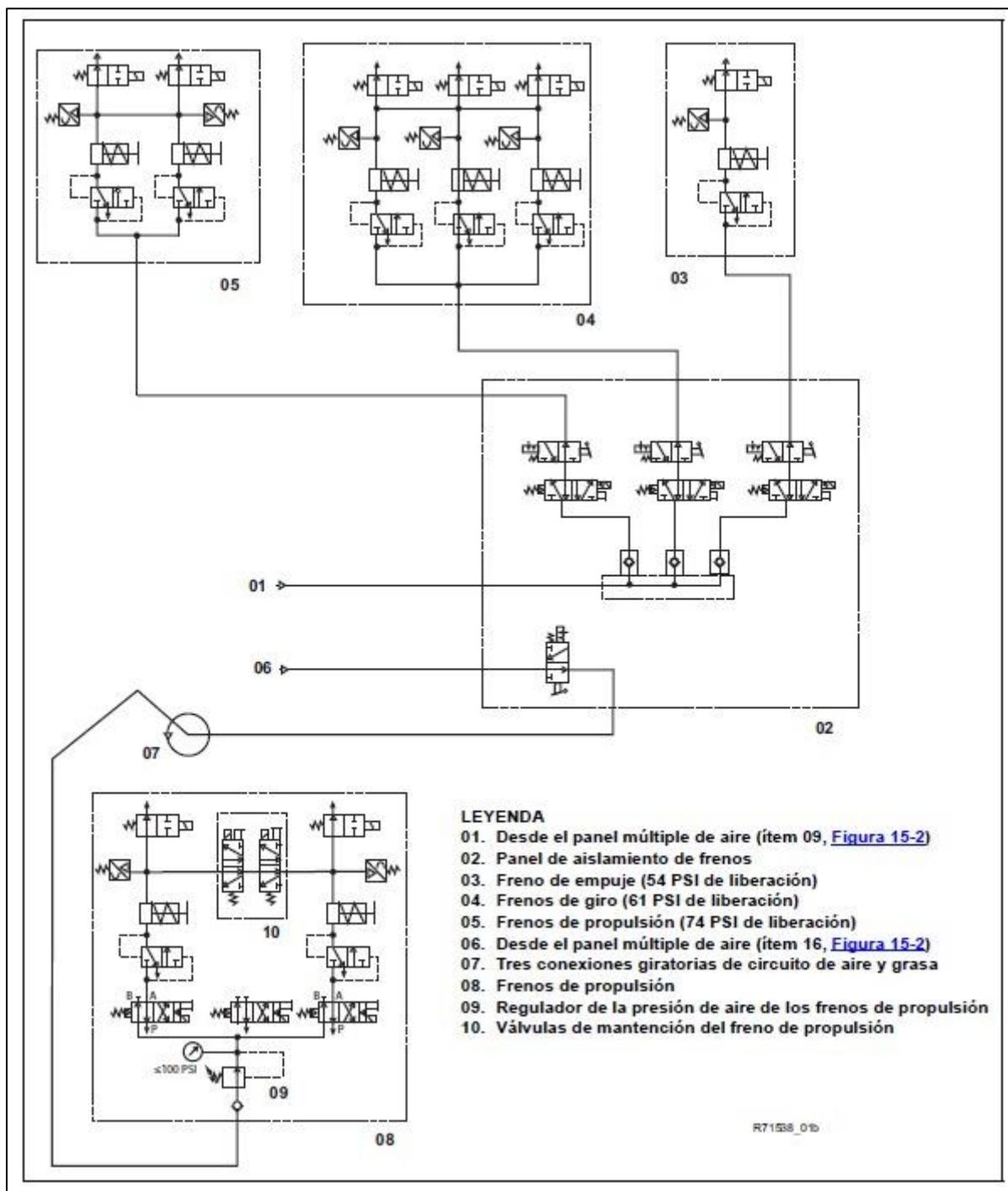
*Sistema de empuje. Pala 4100XPC DC*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment INC., (2011).

**Figura 103**

*Esquemático del sistema de frenos*



*Nota.* De “Manual de entrenamiento de sistemas mecánicos”, por P&H Mining Equipment INC., (2011).

**Tabla 13**

*Árbol de Sistemas, subsistemas y componentes de P&H 4100 XPC*

4100 XPC			4100 XPC		
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE
<b>Air System</b>	Air Components	Air Dryer System Air Lubricator Tank Assembly Air System Hoses; Fittings & Filters Air Compressor(s) Air Receiver	<b>Structures</b>	Structures Secondary	House-Doors & Wall Panel Assemblies
	Air Controls	Cntrl-Valve; Solenoid; Press-Sw; Regulator			House-Doors & Wall Panels
<b>Ancillary System</b>	Components	Jib Levante			Platform Assemblies LH & RH
		Fire Detection & Suppression Heater, House Assembly			Boarding Ladders LH & RH
<b>Crowd System</b>	Crowd Electrical	Cwd Motor Assembly			House-Roof; Walkways & Handrails
		Cwd Blower Assembly			False Floor
		Cwd/Propel DC Digital Armature Drive			Operators Cab
		Cwd/Propel DC Digital Field Drive			Operators Cab Structure
		Cwd Aux. Starter+Circuit Breaker			Operators Cab Air Conditioner
		Cwd Blower Starter+Circuit Breaker			Operators Seat Assembly
<b>Empuje Hydraulic</b>	Empuje Hydraulic	Empuje Belt Tensioner Hydraulic Cylinder	Operators Cab Windows		
		Empuje Belt Tensioner Hydraulic Piping	RH Electronic Room		
<b>Cwd Mechanical</b>	Cwd Mechanical	Cwd Lube Pump Starter+Ckt Brkr	RH Room Structure		
		Cwd Limit Switch	RH Room Air Conditioner		
		Cwd/Ppl Converter Cabinet	LH Room Structure		
		Cwd/Ppl Converter Cabinet Components	Plenum Chamber Assembly		
		Cwd/Ppl Diverter System Components	Plenum Chamber & Air Intake Structures		
		Empuje Brake Air Panel Solenoid	House Blower Motor-Left		
		Empuje Brake Air Panel Solenoid	House Blower Motor-Right		
		Empuje Brake Air Panel Solenoid	House Blwr Starter+Ckt Brkr-LH		
		Empuje Brake Air Panel Solenoid	House Blwr Starter+Ckt Brkr-RH		
		Empuje Brake Air Panel Solenoid	Dust Filtration System		
<b>Swing System</b>	Swing Electrical	Cwd Transmission Module	Swing Motor Assemblies		
		Cwd 1st Reduction Pinion	Swing Motor Assy DC-Front Left		
		Cwd 2nd Reduction Assembly	Swing Motor Assy DC-Front Right		
		Cwd Lubrication Pump Assembly	Swing Motor Assy DC-Rear		
		Cwd Gearcase Structure	Swing Blower Assemblies		
		Cwd 2nd. Reduction Pinion	Swing Blower Assy-Front Left		
		Cwd 1st. Reduction Gear	Swing Blower Assy-Front Right		
		Cwd Disc Brake Assembly	Swing Blower Assy-Rear		
		Cwd Disc Brake	Swing DC Digital Drive		
		Shipper Shaft Assembly	Swing DC Digital Armature Drive		
		Swing DC Digital Field Drive			
		Swg Aux Starter+Ckt Brkr			

4100 XPC		
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE
		Shipper Shaft Shipper Shaft Gear Pluma Bushing/Capsule and Seals-Left Pluma Bushing/Capsule and Seals-Right Shipper Shaft Pinion-Left Shipper Shaft Pinion-Right Saddle Block Assemblies Saddle Block Assembly-Left Saddle Block Assembly-Right Dipper Handle Racking Cwd Drive Assembly Cwd Drive Belts Cwd Transmission Belt Sheave Cwd Motor Belt Sheave
	Cwd Structural	Cwd Motor Base Cwd Belt Case
<b>Dipper System</b>	Dipper Hydraulic	Hydraulic Snubbers Hydraulic Snubber- Left Side Hydraulic Snubber- Right Side
	Dipper Mechanical	Dipper Handle Pins & Bushings Bail Pins & Bushings Pitch Brace Assemblies Latch Bar Assembly Latch Lever Assembly Insert Latch Keeper Door Latch Mechanism Dipper Door Snubbers, Friction
	Dipper Structural	Dipper Door Bail Structure Dipper Body Weldment Dipper Lip Dutchman
	Dipper Wear Components	Dipper Wear Package - Inside & Outside

4100 XPC		
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE
		Swg Blwr Starter+Ckt Brkr-Front Left Swg Blwr Starter+Ckt Brkr-Front Right Swg Blwr Starter+Ckt Brkr-Rear Swg Lube Pump Starter+Ckt Brkr-Fr Left Swg Lube Pump Starter+Ckt Brkr-Fr Right Swg Lube Pump Starter+Ckt Brkr-Rear Swing Limit Switch Swg Brake Air Panel Solenoid Swg Brake Air Panel Solenoid-Front Left Swg Brake Air Panel Solenoid-Front Right Swg Brake Air Panel Solenoid-Rear Swing Converter Cabinet Swing Converter Cabinet Components Swing Diverter System Components
	<b>Swing Mechanical</b>	Swing Transmission Assy-Front Left Swing 1st Reduction Assy-Front Left Swing Lubrication Pump Assy-Front Left Swing Transmission Assy-Front Right Swing 1st Reduction Assy-Front Right Swing Lubrication Pump Assy-Front Right Swing Transmission Assy-Rear Swing 1st Reduction Assy-Rear Swing Lubrication Pump Assy-Rear Swing Disc Brake Assemblies Swing Disc Brake Assy-Front Left Swing Disc Brake Assy-Front Right Swing Disc Brake Assy-Rear Swing Shaft Assembly-Front Left Swing Shaft-Front Left Swing Pinion-Front Left Swing Shaft Assy-Front Right Swing Shaft-Front Right Swing Pinion-Front Right

4100 XPC			4100 XPC		
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE
		Door Wear Package - Inside & Outside			Swing Shaft Assy-Rear
		Shrouds & Lip Protectors Teeth & Adaptors			Swing Shaft-Rear Swing Pinion-Rear Swing Ring Gear
Dipper Trip System	Dipper Trip Electrical	Dipper Trip Motor Assembly VFC Trip Motor Drive VFC; AC			Upper Roller Path Assy Lower Roller Path Assy
	Dipper Trip Mechanical	Dipper Trip Transmission Dipper Trip Drum Dipper Trip Rope Dipper Trip Sheave-Pluma Assembly Dipper Trip Sheave-Handle Assembly			Roller Circle Assy Center Gudgeon Assy Center Gudgeon Pin Center Gudgeon Bushings
	Dipper Trip Structural	Dipper Trip Drum Guard Dipper Trip Bracket/Mounting			Center Gudgeon Nut, thrust washers Swing Motor Couplings
Levante System	Levante Electrical	Levante Motor Assembly DC-Front Levante Motor Assembly DC-Rear Levante Blower Assembly-Front Levante Blower Assembly-Rear Levante/Propel DC Digital Drive Levante/Propel DC Digital Armature Drive Levante 2 DC Digital Armature Drive Levante DC Digital Field Drive Levante Aux Starter+Ckt Brkr Levante Blower Starter+Ckt Brkr-Front Levante Blower Starter+Ckt Brkr-Rear Levante Lube Pump Starter+Ckt Brkr Levante Limit Switch Levante Brake Air Panel Solenoid Levante Brake Air Panel Solenoid-Front Levante Brake Air Panel Solenoid-Rear Levante/Propel Converter Cabinet Levante/Propel Converter Cabinet Comps Levante 2 Converter Cabinet Components Levante/Propel Diverter System Components	Swing Structural		Swing Motor Base Swing Motor Base-Front Left Swing Motor Base-Front Right Swing Motor Base-Rear Ring Gear Guard Assembly
			Electrical Distribution	Electrical Control Voltage	Control Cabinet Digital Drive Control Cabinet Structure & Misc. Comps PLC Controller & I/O Components AC80/800 Controller & I/O Components Control Cabinet GUI RPC Firing Board Control Cabinet Blowers and Fans Control Cab Blwr/Fan Starters+Ckt Brkrs DC Digital Field Drive Cab Controls Joystick Controller-Levante Joystick Controller-Cwd Operators Cab GUI Operators Consoles RTD's; Temperature Monitoring

4100 XPC			4100 XPC		
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE
		Levante Rope Tuggers Levante Remote Control			Distributed I/O Cabinets Lower Control Cabinet and Misc. Comps Payload System Remote Communications Equipment
	<b>Levante Mechanical</b>	Levante Transmission Assembly Levante 1st. Reduction Pinion -Front Levante 1st. Reduction Pinion-Rear Levante 2nd Reduction Assembly-Front Levante 2nd Reduction Assembly-Rear Levante / Swing Lubrication Pump Assembly Levante Gearcase Structure Levante 2nd. Reduction Pinion Front Levante 1st. Reduction Gear Front Levante 2nd. Reduction Pinion Rear Levante 1st.. Reduction Gear Rear Levante Disc Brake Assemblies Levante Disc Brake Assembly-Front Levante Disc Brake Assembly-Rear Levante Drum Assembly Levante Drum Gear Levante Drum Shaft Levante Drum Shaft Bearings Levante Drum Pluma Point Sheave Assembly Levante Motor Couplings Levante Ropes		<b>Electrical Lighting</b>	Floodlights & Ballasts Fluorescent & House Lighting
				<b>Electrical Primary Voltage</b>	Main Transformer Auxiliary Transformer High Voltage Cabinet Assembly Lower High Voltage Cabinet High Voltage Slip Rings-Rev Frame Cable Reeler Kirk Key System
	<b>Levante Structural</b>	Levante Motor Base-Front Levante Motor Base-Rear Levante G-Case Base Weldment;Pins&Bushings Levante Side Stand Levante Drum Guards Levante Rope Guide - Pluma Levante Hood/Dirt Chute-House		<b>Electrical Secondary Voltage</b>	Auxiliary Cab-MCC Structure & Misc.Comps RPC Cabinet RPC Cabinet Structure & Misc. Comps RPC Reactors;Capacitors;Ckt Brkrs; Fuses RPC SCR's; Diodes & Heatsinks RPC Cabinet Blowers and Fans RPC Blwrs/Fans Starters+Ckt Brkrs Converter Cabinet Converter Cabinet Structure & Misc.Comps Converter Cabinet Blowers and Fans Convtr-Cab Blwrs/Fans Starters+Ckt Brkrs Field Breaker Cabinet & Circuit Breakers Transfer Cabinet Transfer Cabinet Structure & Misc. Comps Armature/Field Changeover Contactors Low Voltage Slip Rings Suppression/Ground Fault Cabinet Buss Bar Assemblies

4100 XPC		
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE
<b>Lube System</b>	<b>Lube Controls</b>	Cntrl-Valve;Solenoid;Press-Sw;Transducer
	<b>Lower Lube</b>	Lower Lube-Injectors;Hoses;Fittings Lower Lube Pump Air and Grease Swivel
	<b>Open Gear Lube</b>	Open Gear Lube-Injectors;Hoses;Fittings Open Gear Lube Pump
	<b>Upper Lube</b>	Upper Lube-Injectors;Hoses;Fittings Upper Lube Pump
<b>Propel System</b>	<b>Propel Electrical</b>	Propel Motor Assemblies Propel Motor Assembly DC-Left Propel Motor Assembly DC-Right Propel Blower Assemblies Propel Blower Assembly-Left Propel Blower Assembly-Right Propel Aux Starter+Ckt Brkr Propel Blower Starter+Ckt Brkr-Left Propel Blower Starter+Ckt Brkr-Right Propel Lube Pump Starter+Ckt Brkr-Left Propel Lube Pump Starter+Ckt Brkr-Right Propel Brake Air Panel Solenoid Propel Brake Air Panel Solenoid-Left Propel Brake Air Panel Solenoid-Right Propel Brake Maintenance Control Panel
	<b>Propel Mechanical</b>	Propel Transmission Assy-Left Propel 1st Reduction Assy-Left Propel Transmission Assy-Right Propel 1st Reduction Assy-Right Propel Disc Brake Assemblies Propel Disc Brake Assy-Left Propel Disc Brake Assy-Right Propel Final Drive Shaft Assy LH Propel Final Drive Shaft-Left Propel Drive Tumbler-Left Propel Drive Shaft Bearing-Left Propel Final Drive Shaft Assy RH Propel Final Drive Shaft-Right

4100 XPC		
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE
		Load Center; 480 Volt Auxiliary Load Center; 120/220 Volt Auxiliary
	<b>Electrical Wiring</b>	Machine Cabling
<b>Structures</b>	<b>Structures Primary</b>	Carbody Structure Crawler Frame Structure-Left Crawler Frame Structure-Right Revolving Frame Assembly Revolving Frame Structure Dipper Bumpers & Brackets Pluma Structure Pluma Platform Assemblies Pluma Wear Boxes Boom Suspension Rope Equalizers Suspension Ropes Boom Foot Pin Assemblies Boom Limit Switch Dipper Bumpers & Brackets Dipper Handle Structure Gantry Structure; Compression Gantry Equalizers & Spreader Bar Gantry Structure; Tension Counterweight Box Counterweight Slabs
	<b>Common Jobs</b>	<b>Inspection</b> Inspection Predictive Inspection Reset the system
	<b>Fill Fluids</b>	Fill Fluids Oil: Engine, Transmissions, Hyd & Oters Grease Coolant
	<b>Preventive Maintenance</b>	Preventive Maintenance Preventive Maintenance Scheduled Maintenance Pre-PM

4100 XPC		
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE
		Propel Drive Tumbler-Right Propel Drive Shaft Bearing-Right Propel Front Idler Assy LH Propel Front Idler Roller-Left Propel Front Idler Roller Bushing-Left Propel Front Idler Assy RH Propel Front Idler Roller-Right Propel Front Idler Roller Shaft-Right Propel Front Idler Roller Bushing-Right Propel Rear Idler Assy LH Propel Rear Idler Roller-Left Propel Rear Idler Roller Shaft-Left Propel Rear Idler Roller Bushing-Left Propel Rear Idler Assy RH Propel Rear Idler Roller-Right Propel Rear Idler Roller Shaft-Right Propel Rear Idler Roller Bushing-Right Propel Lower Roller Assy LH Propel Lower Rollers-Left Propel Lower Roller Pins-Left Propel Lower Roller Assy RH Propel Lower Rollers-Right Propel Lower Roller Pins-Right Crawler Track Assemblies Crawler Track - Left Crawler Track Shoes - Left Crawler Track Pins - Left Crawler Track - Right Crawler Track Shoes - Right Crawler Track Pins - Right Crawler Frame Guide Rails Crawler Frame Guide Rails-Left Crawler Frame Guide Rails-Right Propel Motor Couplings