

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Investigación

**Diseño de un plan de monitoreo basado en la condición  
(CBM) de una pala eléctrica P&H 4100XPC en una  
empresa minera del sur del Perú, 2018**

Ernesto Aguilar Condori

Para optar el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Mecánica

Arequipa, 2019

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de investigación



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

**ASESOR:**

Mg. Jonathan Alain Sánchez Paredes

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi profundo agradecimiento al Mg. Jonathan Alain Sánchez Paredes quien de forma invaluable y atenta dirigió sus consejos para la redacción y mejora el presente trabajo.

A La Universidad Continental, donde recibí mi formación académica y que me permitió desarrollar mis capacidades dentro del área de la ingeniería.

A mi familia, amigos y compañeros por su comprensión, apoyo y por las constantes muestras de aliento en el quehacer diario.

Para todos ellos: muchas gracias y que Dios los guíe y proteja

## **DEDICATORIA**

A Julio y a Mery por el amor, sacrificio y entrega en su rol de padres.

A mis queridos hermanos Leticia, Edgard y Gean Marco por su apoyo constante, cariño y  
aprecio.

A Milagros por su grata compañía, afecto y comprensión durante todo éste tiempo de  
formación.

A Valentino y Mathius, mis hijos, quienes iluminan mis días y conducen mis pasos.

# ÍNDICE

LISTA DE TABLAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE GRÁFICOS .....	ix
LISTA DE ANEXOS .....	ix
<b>RESUMEN .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xii</b>

## CAPÍTULO I

<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Formulación del problema general.....	1
1.1.2. Formulación de problemas específicos.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación e importancia .....	2
1.3.1. Justificación técnica.....	2
1.3.2. Justificación legal.....	3
1.3.3. Justificación económica.....	3
1.4. Hipótesis y descripción de variable .....	3
1.4.1. Hipótesis.....	3
1.4.2. Variables e indicadores.....	3

## CAPÍTULO II

<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	5
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	5
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	6
2.2. Bases teóricas .....	6
2.2.1. Pala eléctrica 4100 XPC.....	6
2.2.2. Monitoreo basado en la condición .....	9
2.2.2.1. Análisis vibracional.....	11

2.2.2.2. Termografía infrarroja .....	13
2.2.2.3. Análisis de aceite .....	14
2.2.2.4. Análisis por ultrasonido .....	15
2.3. Definición de términos básicos.....	16

### **CAPÍTULO III**

<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>18</b>
3.1. Método y alcance de la investigación.....	18
3.2. Diseño de la investigación .....	18
3.3. Población y muestra.....	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	18
3.4.1. Técnicas .....	18
3.4.2. Instrumentos.....	19

### **CAPÍTULO IV**

<b>ANALISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCION .....</b>	<b>21</b>
4.1. Identificación de requerimientos.....	21
4.1.1. Lista de exigencias .....	21
4.2. Análisis de la solución.....	23
4.2.1. Secuencia de operaciones.....	23
4.2.2. Caja negra .....	25
4.2.3. Matriz morfológica .....	26
4.3. Diseño .....	27

### **CAPÍTULO V**

<b>CONSTRUCCION .....</b>	<b>29</b>
5.1. Construcción.....	29
5.1.1. Plan de mantenimiento .....	29
5.1.2. Costos asociados a la falla de un componente de la pala eléctrica.....	33
5.1.3. Procedimientos de monitoreo basado en la condición .....	37
5.1.3.1. Análisis vibracional.....	37
5.1.3.2. Termografía infrarroja.....	42
5.1.3.3. Ultrasonido .....	45
5.1.3.4. Análisis de aceite .....	47
5.2. Prueba y resultado.....	50

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla N°. 1. Operacionalización de variables.....	4
Tabla N°. 2. Lista de exigencias.....	21
Tabla N°. 3. Matriz morfológica.....	26
Tabla N°. 4. Diseño mecánico – evaluación de proyectos. Valor económico.....	27
Tabla N°. 5. Cálculo de pérdida de producción de pala sin producir.....	29
Tabla N°. 6. Vida estimada de componentes de pala P&H 4100 XPC.....	30
Tabla N°. 7. Plan de Mantenimiento de Monitoreo Basado en la Condición de Pala P&H 4100xpc.....	32
Tabla N°. 8. Costos asociados a la falla del componente.....	33
Tabla N°. 9. Reporte de análisis de vibraciones en pala PYH 4100XPC.....	41
Tabla N°. 10. Reporte de UT de ejes de Pala P&H4100XPC.....	47
Tabla N°. 11. Reporte de análisis de aceite de pala P&H 4100XPC.....	49
Tabla N°. 12. Análisis anual de indicadores de Pala P&H 4100XPC- 2017.....	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura N°1. Ubicación de sistema de levante.....	7
Figura N°2. Ubicación de sistema de empuje.....	7
Figura N°3. Ubicación de sistema de giro.....	8
Figura N°4. Ubicación de sistema de propulsión.....	8
Figura N°5. Secciones principales de pala eléctrica 4100XPC.....	9
Figura N°6. ISO 17359 – Monitoreo de condición.....	11
Figura N°7. Puntos y frecuencia de medición.....	13
Figura N°8. Ubicación de puntos de medición en sistema de giro (Delantero - posterior).....	38
Figura N°9. Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado libre).....	39
Figura N°10. Ubicación de puntos de medición en sistema de empuje.....	39
Figura N°11. Analizadores de vibraciones Microlog SKF.....	40
Figura N°12. Entorno de trabajo de software SKF @ptitude Analyst.....	40
Figura N°13. Cámara termográfica Flir E60.....	42
Figura N°14. Ubicación de puntos de medición en sistema de giro (Delantero - posterior).....	43
Figura N°15. Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado libre).....	44

Figura N°16. Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado tambor).....	44
Figura N°17. Reporte de termografía infrarroja .....	45
Figura N°18. Equipo de ultrasonido Epoch 1000i.....	46
Figura N°19. Puntos de inspección UT de ejes de pala .....	46
Figura N°20. Laboratorio de análisis de aceite.....	48

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico N°. 1. Secuencia de operaciones.....	24
Gráfico N°. 2. Caja negra .....	25
Gráfico N°. 3. Evaluación económica .....	28
Gráfico N°. 4. Pérdida de producción de una pala sin producir por hora .....	30
Gráfico N°. 5. Costo por falla de componentes “Sistema Izar” .....	35
Gráfico N°. 6. Costo por falla de componentes “Sistema de Giro” .....	35
Gráfico N°. 7. Costo por falla de componentes “Sistema de Empuje” .....	36
Gráfico N°. 8. Costo por falla de componentes “Sistema de Avance” .....	36
Gráfico N°. 9. Costo por falla de componentes “Ejes” .....	37
Gráfico N°. 10. Disponibilidad anual – 2017 de Pala P&H 4100XPC.....	51

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1: Matriz de consistencia .....	56
ANEXO 2: Instrumento de reporte análisis de vibraciones .....	57
ANEXO 3: Instrumento de termografía infrarroja.....	58
ANEXO 4: Instrumento de inspección de ultrasonido.....	59
ANEXO 5: Instrumento de reporte de análisis de aceite .....	60
ANEXO 6: Monitoreo de Vibraciones de pala P&H 4100 XPC .....	61
ANEXO 7: Monitoreo por termografía infrarroja de pala P&H 4100 XPC.....	67

## RESUMEN

Previo análisis y descripción de problemas encontrados, en éste informe se brinda el diseño de un plan de monitoreo basado en la condición para sistemas mecánicos que involucran componentes principales con mayor frecuencia de falla (sistemas de transmisión de potencia) de una pala eléctrica, por ser un equipo de alta criticidad en el proceso de extracción de mineral. **Objetivo.** Diseñar un plan de monitoreo basado en la condición (CMB) de una pala eléctrica P&H 4100xpc en la unidad operativa del sur del Perú, para evitar pérdidas por paradas imprevistas. **Materiales y métodos.** El presente estudio responde a los propósitos de diseño no experimental, de nivel descriptivo. Las unidades de observación estuvieron constituidas por siete palas eléctricas modelos P&H 4100XPC, P&H 2800 XPB, P&H 4100 A, P&H 4100 A+, BUCYRUS 495BII, BUCYRUS 495HR, de la unidad operativa del sur del Perú, que estuvieron operativas hasta agosto del año 2018. Se utilizó la técnica de observación monumental de campo directa, utilizando fichas de observación e instrumentos de medición. La fuente de información se obtuvo de datos primarios provenientes de la evaluación de los equipos en mención. **Análisis y diseño de la solución.** De la evaluación técnico económica realizada entre tres alternativas de solución, se obtuvo una ponderación mayor para la propuesta de monitoreo basado en la condición, tanto en la evaluación técnica y en la evaluación económica, obteniéndose una puntuación de 144 puntos y un valor técnico de 0.86, según la matriz del VDI2225, con criterios de valuación modificados acorde a las propuestas planteadas. **Construcción.** La pala P&H 4100 XPC es la pala más crítica dentro de nuestro universo de equipos de extracción de mineral, llegando a generar una pérdida de producción de 8,869 US\$/hora. Por ello y en función de los diferentes tiempos de vida de los componentes, se propone un plan de mantenimiento para realizar las tareas de monitoreo basado en la condición de los sistemas más críticos de la pala P&H 4100XPC, como análisis vibracional, termografía infrarroja, ultrasonido y análisis de aceite. En el plan se detalla los componentes a inspeccionar, la frecuencia de monitoreo planteada; así como el tiempo de duración y la cantidad de personas para realizar la tarea de monitoreo, incluido dentro de este tiempo la emisión de reportes de cada inspección; como también el tiempo estimado en el traslado y las coordinaciones por cada actividad.

**Palabras clave:** Diseño, plan, monitoreo basado en la condición, pala eléctrica

## ABSTRACT

Prior analysis and description of problems encountered, this report provide the design of a condition-based monitoring plan for mechanical systems that involve the main components with the highest frequency of failure (power transmission systems) of an electric shovel, a team of high criticality in the process of mineral extraction. **Objective.** Design a monitoring plan based on the condition (CMB) of a P & H 4100xpc electric shovel in the operating unit of southern Peru, to avoid losses due to unexpected stops. **Materials and methods.** The present study responds to the purposes of non-experimental design, descriptive level. The observation units consisted of seven electric shovels models P & H 4100XPC, P & H 2800 XPB, P & H 4100 A, P & H 4100 A +, BUCYRUS 495BII, BUCYRUS 495HR, operating unit in southern Peru, which were operational until August 2018. The technique of direct field observation was used, using observation cards and measuring instruments. The source of information was obtained from primary data from the evaluation of the equipment in question. **Analysis and design of the solution.** From the technical economic evaluation carried out among three solution alternatives, a greater weight was obtained for the monitoring proposal based on the condition, both in the technical evaluation and in the economic evaluation, obtaining a score of 144 points and a technical value of 0.86. , according to the matrix of VDI2225, with modified valuation criteria according to the proposed proposals. **Building.** The P & H 4100 XPC shovel is the most critical shovel in our universe of ore extraction equipment, reaching a production loss of 8,869 US \$ / hour. For this reason and depending on the different life times of the components, a maintenance plan is proposed to perform the monitoring tasks based on the condition of the most critical P & H 4100XPC shovel systems, such as vibrational analysis, infrared thermography, ultrasound and oil analysis. The plan details the components to be inspected, the frequency of monitoring proposed; as well as the length of time and the number of people to perform the monitoring task, including within this time the issuance of reports of each inspection; as well as the estimated time in the transfer and the coordination for each activity.

**Keywords:** Design, plan, condition based monitoring, electric shovel

# INTRODUCCIÓN

Hoy en día el mundo de la minería a nivel nacional e internacional cuenta con diferentes equipos y maquinarias, que ayudan a realizar de una manera más efectiva y con mayor rapidez el proceso de perforación, voladura, excavación, carga y transporte de minerales. Este proceso involucra una serie de equipos principales como: palas eléctricas, perforadoras, camiones mineros, y equipos auxiliares. La unidad operativa minera del sur del Perú cuenta con equipos de funcionamiento poco favorables, que afecta directamente a la producción, generando un alto impacto por el costo de paradas imprevistas, demora en procesos por cambio de componentes, ausencia de componentes principales y falta de mano de obra disponible en determinadas situaciones, como el turno noche.

En el presente se detallan datos de un informe dirigido a diseñar un plan de monitoreo basado en la condición (CMB) de una pala eléctrica P&H 4100xpc en la unidad operativa del sur del Perú para evitar pérdidas por paradas imprevistas, teniendo como premisa el análisis e identificación de la técnica que mejor se ajuste al monitoreo basado en la condición a fin de que se pueden utilizar en los sistemas de potencia.

El informe se divide en cinco capítulos. El primero señala el planteamiento y la formulación del problema encontrado en la unidad operativa minera del sur, además de describir los objetivos, justificación e hipótesis. El segundo capítulo indica el marco teórico, con los antecedentes y bases de teoría propiamente dicha. El tercer capítulo muestra la metodología utilizada, haciendo énfasis en las técnicas e instrumentos utilizados para valorar el estado de los equipos y máquinas relacionados con el estudio. El cuarto capítulo ofrece un análisis y diseño de la solución; se identifican requerimientos, se enuncia las características de la lista de exigencias, secuencia de operaciones y el diseño de una caja negra que guardan relación con la problemática y su solución. En el quinto capítulo, se señala la construcción, prueba y resultados.

En este proyecto se brindará el diseño de un plan de monitoreo basado en la condición para sistemas mecánicos que involucran componentes principales con mayor frecuencia de falla (sistemas de transmisión de potencia) de una pala eléctrica, por ser un equipo de alta criticidad en el proceso de extracción de mineral.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

En la actualidad, el mundo de la gran minería a nivel nacional e internacional cuenta con diferentes equipos y maquinarias, que ayudan a realizar de una manera más efectiva y con mayor rapidez el proceso de perforación, voladura, excavación, carga y transporte de minerales. Este proceso involucra una serie de equipos principales como: palas eléctricas, perforadoras, camiones mineros, y equipos auxiliares.

La unidad operativa minera del sur del Perú, no se ve exceptuada de dicho proceso y cuenta con un gran número de maquinarias para desarrollar la labor de extracción de mineral; sin embargo, existen equipos dentro de su universo productivo que afectan directamente en la producción, generando un alto impacto por el costo de paradas imprevistas, demora en procesos por cambio de componentes, ausencia de componentes principales y falta de mano de obra disponible en determinadas situaciones, como el turno noche.

En este informe se brindará el diseño de un plan de monitoreo basado en la condición para sistemas mecánicos que involucran componentes principales con mayor frecuencia de falla (sistemas de transmisión de potencia) de una pala eléctrica, por ser un equipo de alta criticidad en el proceso de extracción de mineral.

#### 1.1.1. Formulación del problema general

- ¿El diseño de un plan de monitoreo basado en la condición de una pala eléctrica P&H 4100XPC permitirá evitar el impacto económico por paradas imprevistas en los sistemas de potencia?

#### 1.1.2. Formulación de problemas específicos

- ¿Con el diseño de un plan de monitoreo se podrá analizar e identificar que técnica basado en la condición será apropiada para monitorear los sistemas de potencia de una pala eléctrica P&H 4100XPC?

- ¿El diseño de un plan de monitoreo permitirá evaluar la frecuencia de monitoreo basado en la condición hacia los sistemas de la pala eléctrica P&H 4100XPC?
- ¿El diseño de un plan de monitoreo permitirá mejorar las competencias de los colaboradores que estén a cargo del monitoreo basado en la condición de una pala eléctrica P&H 4100XPC?
- ¿El diseño de un plan de monitoreo permitirá realizar una estimación del inversión para la puesta en marcha de un plan de monitoreo basado en la condición en una pala eléctrica P&H 4100XPC?

## **1.2. Objetivos.**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Diseñar un plan de monitoreo basado en la condición (CMB) de una pala eléctrica P&H 4100xpc en la unidad operativa del sur del Perú, para evitar pérdidas por paradas imprevistas.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Analizar e identificar que técnica basado en la condición es la más apropiada para el monitoreo basado en la condición que se pueden utilizar en los sistemas de potencia de una pala eléctrica P&H 4100XPC.
- Evaluar y determinar la frecuencia de monitoreo basado en la condición de hacia los sistemas de la pala eléctrica P&H 4100XPC.
- Realizar una estimación de la inversión para la puesta en marcha de un monitoreo basado en la condición en una pala eléctrica P&H 4100XPC.

## **1.3. Justificación e importancia**

### **1.3.1. Justificación técnica**

El plan de monitoreo basado en la condición busca mejorar la disponibilidad del equipo y la optimización del mantenimiento, identificando una falla potencial de modo incipiente y así anticipándose a la ocurrencia de la falla

funcional; con ello se incrementará la vida útil de los componentes a monitorear. Es importante señalar que la aplicación del monitoreo basado en la condición en palas eléctricas, es un tema que no ha sido desarrollado a profundidad.

### **1.3.2. Justificación legal**

El plan de monitoreo basado en la condición tiene como referencia la Norma NORZOK ESTÁNDAR Z-008. Criticality analysis for maintenance purposes, 2001 y a la Norma ISO 17359. Condition monitoring and diagnostics of machines – General guidelines, 2003.

### **1.3.3. Justificación económica**

El plan de monitoreo basado en la condición busca evitar los costos por paradas imprevistas, tanto por pérdida de producción, como pérdida de componentes con poco tiempo de utilización, mano de obra en sobre tiempos; además que, evitará falla en cadena que puedan comprometer la vida útil de otros componentes relacionados entre sí.

Debemos tener presente que el costo por parada de producción de una pala es de 6,000 USD en promedio y el costo de componentes puede oscilar desde 5,400 USD (freno de sistema de izar) hasta 500,000 USD (caja de transmisión de engranajes); además que existen componentes que no se pueden tener en stock por el costo de almacenamiento, condición de garantías y tiempo de adquisición de 8 meses en promedio.

## **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1. Hipótesis**

El diseño de un plan de monitoreo basado en la condición de una pala eléctrica P&H 4100XPC permitirá evitar el impacto económico por paradas imprevistas en los sistemas de potencia

### **1.4.2. Variables e indicadores**

#### **1.4.2.1 Variable Independiente**

Plan de monitoreo basado en la condición.

#### 1.4.2.2 Variable dependiente:

Incremento de disponibilidad y confiabilidad de la pala eléctrica P&H 4100 XPC.

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	SUB VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Plan de monitoreo basado en la condición	Análisis de criticidad de sistemas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frecuencia de falla de componentes</li> <li>• Costos por reparación</li> <li>• Tiempo promedio para reparar</li> <li>• Tiempo medio entre falla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ERP SAP del módulo de mantenimiento</li> </ul>
	AMEF (Análisis de modos y efectos de falla)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla funcional</li> <li>• Modos de falla</li> <li>• Efecto de falla</li> <li>• Consecuencia de falla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz AMEF de palas eléctricas</li> </ul>

VARIABLE DEPENDIENTE	SUB VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Incremento de disponibilidad y confiabilidad de la pala eléctrica P&H 4100 XPC	Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• % Disponibilidad</li> <li>• % Utilización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicador mensual de planeamiento, de palas eléctricas</li> </ul>
	Confiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• % Productividad</li> <li>• % Eficiencia global</li> <li>• Costo de mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicador mensual de planeamiento, de palas eléctricas</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad y medio ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reporte mensual de accidentes de la unidad operativa</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

Dentro de los estudios e investigaciones anteriores, sobre el tema de monitoreo basado en la condición de una pala eléctrica tenemos lo siguiente:

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

- Según Riquelme, M. (2013), en su tesis titulada “Proyecto en monitoreo de condición para mantenimiento predictivo de palas electromecánicas”, presentado en la Universidad de Chile, cuyo objetivo principal era idear y desarrollar un proyecto que permita mejorar el monitoreo de condición de las palas electromecánicas de extracción de mineral de la compañía minera Doña Inés de Collahuasi y aplicar una estrategia de mantenimiento predictivo en el año 2013. El tipo de investigación fue experimental, logrando construir un proyecto sólido y exitoso en su primera etapa de implementación, mejorando la confiabilidad de las palas electromecánicas, disminuir el número de fallas imprevistas así como contribuir con la producción de la compañía.
- Según Paz, V. (2017), en su tesis “Diseño y la aplicación de una metodología basada en escala de madurez para la evaluación y el mejoramiento del mantenimiento en la flota de carguío de la empresa minera”, presentada en la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile, tuvo como objetivo principal diseñar y aplicar una metodología para la evaluación y el mejoramiento del mantenimiento de flotas de equipos mineros, en aras de contribuir a mejorar la competitividad y los costos en pro de incrementar la productividad: El tipo de investigación fue cuantitativa, mostrando la viabilidad técnica y económica en la empresa, considerando el escenario del mercado del cobre en el año 2017.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

- Aróstegui, B. (2014), en su tesis titulada “Diseño de un plan de monitoreo de condiciones para reducir los costos de mantenimiento en la flota de cargador frontal 962H caterpillar”, presentado en la Universidad Nacional de Ingeniería, tuvo como objetivo principal proponer un modelo de plan de monitoreo de condición para reducir los costos de mantenimiento en la flota de cargador frontal en el área de mantenimiento de Obrainsa en el año 2014. El tipo de investigación fue experimental, logrando generar un ahorro significativo tras evidenciar que las condiciones operativas de los equipos se encontraban en óptimas condiciones, gracias al apoyo del monitoreo de partículas de desgaste y condiciones dinámicas del equipo; probando la validez de la hipótesis planteada.
- Tello, G. y Espinoza, E. (2016), en su tesis “Implementación del programa de tribología centrada en la confiabilidad para mejorar la productividad de las palas PC4000 en la minera Miski Mayo”, presentado en la Universidad Privada del Norte, en su objetivo principal manifiesta de decisión de implementar un programa de tribología centrada en confiabilidad, para mejorar la productividad de las palcas PC4000. Dicha investigación fue del tipo experimental, obteniendo una mejora en la productividad de las palas PC4000, detectando las fallas de modo incipiente y evitando que estas se desarrollen en fallas mayores, comprobando así, la validez de su hipótesis.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Pala eléctrica 4100 XPC**

La pala electromecánica o pala eléctrica de cables, es un tipo de excavadora frontal de accionamiento electromecánico, autopropulsada por motores de accionamiento sobre orugas, para generar su desplazamiento y adicionalmente cuenta con sistemas y cables metálicos, para dar movimiento al cucharón.

Para poder realizar los movimientos requeridos de cargar material desde los bancos de mineral y depositarlos en los equipos de carguío de extracción (camiones mineros de gran capacidad), se utilizan distintas transmisiones.

Entre las principales transmisiones de la pala P&H 4100 XPC, tenemos:

- **Transmisión de levante:** Jala el cucharón hacia arriba a través del banco, durante la fase de excavación y proporciona el levante y la bajada controlada del cucharón durante otras fases de operación.

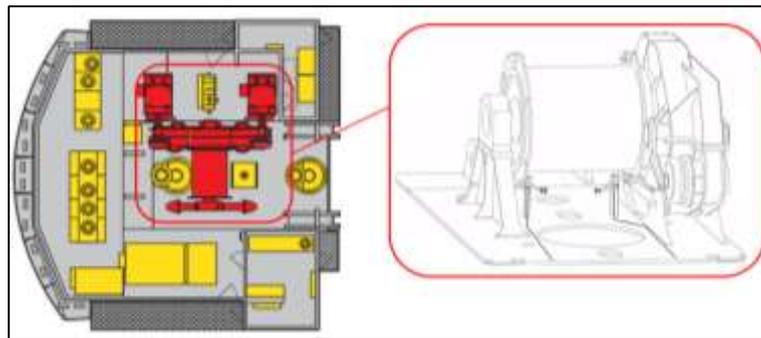


Figura N°1. Ubicación de sistema de levante

Fuente: Manual de mantención mecánica P&H 4100XPC.

- **Transmisión de empuje:** Mueve el mango del cucharón hacia afuera o hacia dentro para controlar la profundidad de corte y posiciona el cucharón sobre el camión para vaciar la carga.

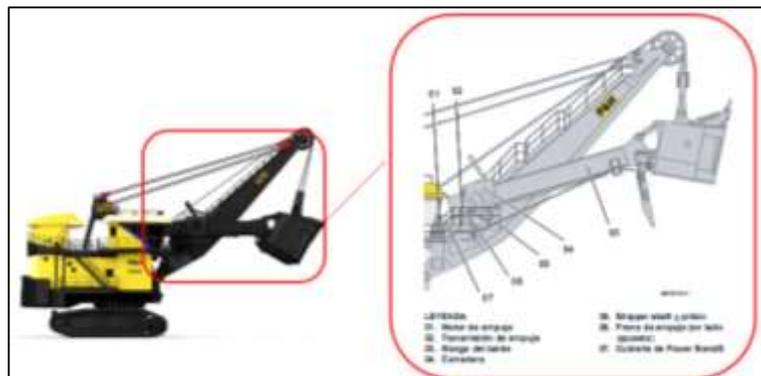


Figura N°2. Ubicación de sistema de empuje

Fuente: Manual de mantención mecánica P&H 4100XPC.

- **Transmisión de Giro:** Gira la pala entre las posiciones de excavación y vaciado.

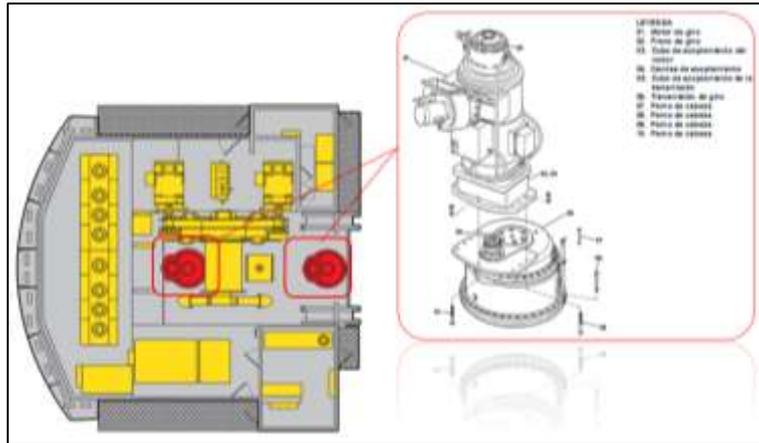


Figura N°3. Ubicación de sistema de giro.

Fuente: Manual de mantenimiento mecánica P&H 4100XPC.

- **Propulsión:** Mueve la pala de una posición de excavación a otra.



Figura N°4. Ubicación de sistema de propulsión.

Fuente: Manual de mantenimiento mecánica P&H 4100XPC.

La pala 4100 XPC, se divide en dos secciones principales y una de accesorios; a continuación, listaremos cada una.

- **Sección superior**
  - ✓ Tornamesa
  - ✓ Sala de máquinas
  - ✓ Cabina del operador
  - ✓ Mecanismos dentro de la sala de máquinas
- **Sección inferior**
  - ✓ Tren de polines de giro

- ✓ Corona principal
  - ✓ Pin central
  - ✓ Carbody
  - ✓ Bastidores laterales de oruga
  - ✓ Mecanismo de propulsión
- **Accesorio**
    - ✓ Gantry
    - ✓ Pluma
    - ✓ Mango del cucharón

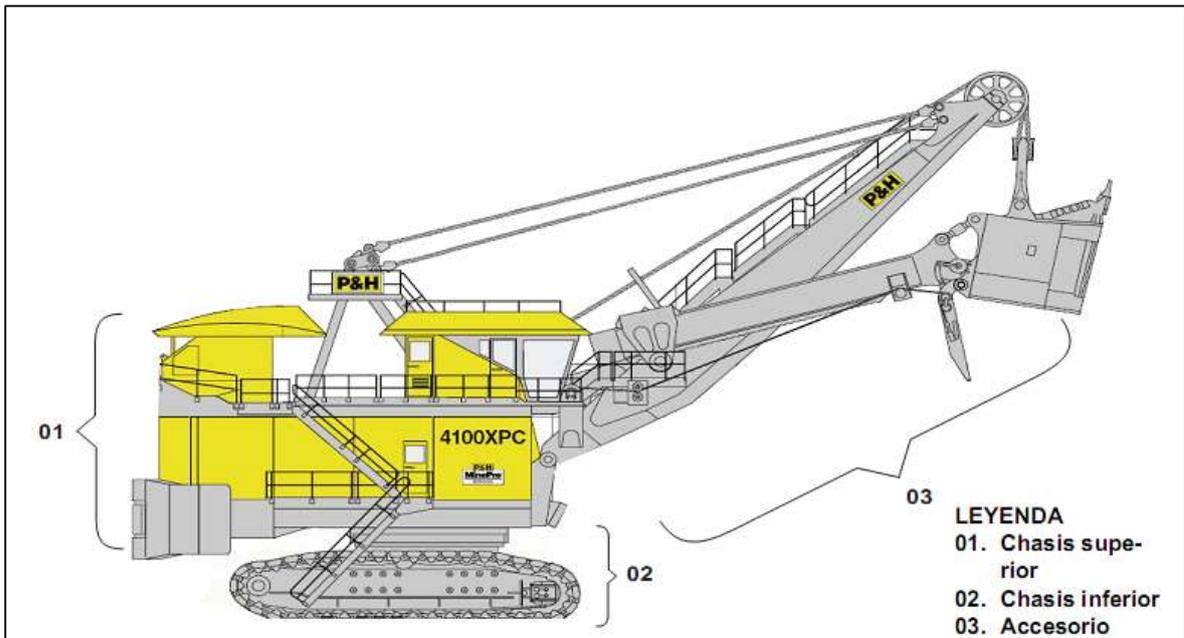


Figura N°5. Secciones principales de pala eléctrica 4100XPC.

Fuente: Manual de mantenimiento mecánica P&H 4100XPC.

### 2.2.2. Monitoreo basado en la condición

Es el proceso de coleccionar dato sistemáticamente y evaluarlos para identificar cambios en desempeño o la condición de un sistema o sus componentes, para que puedan planearse una acción costo eficiente para mantener su confiabilidad.

Las técnicas empleadas en el monitoreo de condición logran medir variables físicas, que pueden evidenciar la condición del equipo, para un análisis y comparación con el límite de valores permisibles de operación y de tal forma, poder determinar la condición (alerta, observación y normal) del componente.

En tal sentido, podemos decir que el monitoreo basado en la condición, estudia cómo evolucionan los parámetros monitoreados en el tiempo, con la finalidad de identificar un patrón o tendencia, que evidencien la presencia de una falla de modo incipiente.

Para nombrar los beneficios que proporciona un plan de monitoreo basado en la condición, podemos nombrar lo siguiente:

- Determinar las condiciones que motivan la falla del componente.
- Detectar el problema del equipo monitoreado.
- Identificar y evitar fallas con posibles consecuencias catastróficas.
- Alargar y proyectar la vida útil de los componentes inspeccionados.

Para poder definir a estrategia de monitoreo basado en la condición se debe evaluar algunos criterios asociados al equipo, como: Criticidad de los equipos, indicadores de confiabilidad, disponibilidad, costos asociados a la carencia de disponibilidad, costos asociados a la pérdida de confiabilidad y la seguridad operacional; de tal manera, que los costos asociados con la aplicación de las estrategias planteadas deben ser menores a los que se tratan de evitar.

Las técnicas de monitoreo basado en la condición, se clasifican en:

- Inspección sensorial del equipo
- Medición del desempeño óptimo del equipo
- Medición y monitoreo de las condiciones dinámicas del equipo
- Medición y análisis de las partículas de desgaste.

Es importante mencionar que, siempre que el equipo monitoreado se encuentre dentro de los límites normales de operación, según el requerimiento de la gerencia de operaciones, se considerará que el equipo está cumpliendo su función para la cual fue diseñada.

Cada una de las técnicas e instrumentos de medición que utiliza el monitoreo basado en la condición, tendrá que ser minuciosamente seleccionada según la capacidad que muestra para identificar las causas y síntomas de una falla en general.

Fuente: MOUMBRAV, J. (2004). Mantenimiento Centrado en la confiabilidad. Madrid, España: Ellmann, Sueiro y asociados. P 140-171

Según la norma ISO 17359, podemos identificar la siguiente guía general para el monitoreo de condición y diagnóstico de maquinarias.



Figura N°6. ISO 17359 – Monitoreo de condición.

Fuente: COPIMAN – AMGA (Monitoreo de condición).

### 2.2.2.1. Análisis vibracional

La vibración es considerada el mejor parámetro de operación para juzgar las condiciones dinámicas tales como balance, estabilidad de los rodamientos y esfuerzos aplicados a los componentes. Muchos problemas de maquinaria se manifiestan como vibraciones.

Solturas mecánicas, resonancia estructural, soldadura en el anclaje o fundamento; desalineamiento, flexión del rotor o pérdida de alabes del rotor. Todos ellos pueden detectarse y evaluarse con las mediciones de vibración.

La medición de la posición relativa de un rotor en relación a sus componentes estacionarios protege contra los cambios que puedan resultar debido a contactos catastróficos.

La medición de la vibración total de la máquina, de un rotor en relación con una máquina o la estructura de la máquina y la comparación de la medición con su valor normal indica el estado de salud en que está se encuentra.

Los instrumentos que se emplean son:

Transductores, acelerómetro, detectores de impulsos, sondas ultrasónicas, medidores de vibraciones, detector de vibraciones, balanceadores, recopilador portátil de datos. La técnica empleada es medir las vibraciones en distintas direcciones (horizontal, vertical y axial) con el objeto de detectar un exceso que pueda provocar averías y se analiza las tendencias.

Lo que se mide en realidad es la amplitud de la onda, lo cual nos va a indicar la severidad del problema, y esta amplitud puede estar dada en unidades de:

- Desplazamiento de la onda, en unidades de longitud (mm, in,  $\mu$  m.).
- Velocidad de la vibración (mm/s: in/s)
- La aceleración de la onda ( $m/s^2$ ; G)  $1G = 9.8 m/s^2$

Y esta medida, está en función de la velocidad de giro de la máquina.

La velocidad de vibración, en un equipo rotatorio, por ejemplo, se mide en tres direcciones a puntos: horizontal, vertical y axial, y la frecuencia de audición debe ser como mínimo una vez al mes.

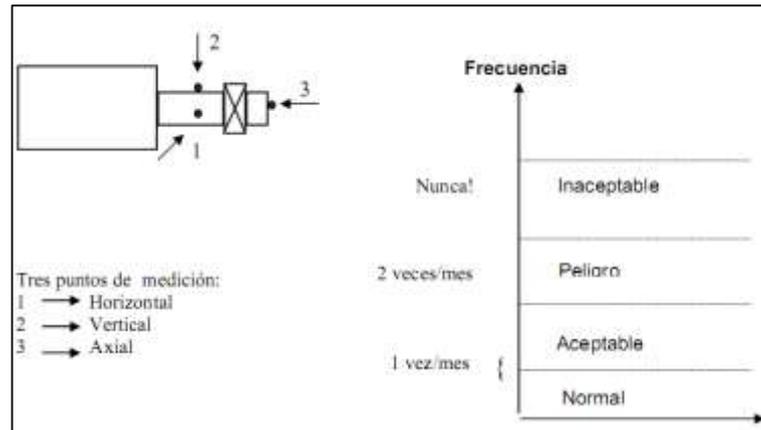


Figura N°7. Puntos y frecuencia de medición.

Fuente: Guía de análisis vibracional TECSUP (2007).

Lo que se mide es en realidad son dos dimensiones, la amplitud de la onda (indica la severidad del problema) y la frecuencia a la que se evidencia el cambio de condición (indica el componente que esta asociado a la falla).

La amplitud está dada por las siguientes unidades:

- El desplazamiento, medida en unidades de longitud [mm, in,  $\mu\text{m}$ ,]
- La velocidad, medida en unidades de [mm/s, in/s].
- La aceleración de la onda, medida en unidades de [ $\text{m/s}^2$ , G (1G=9.8 m/s)]

Todas las medidas mencionadas están en función de la velocidad de giro del equipo. El análisis vibración es una técnica ideal para equipos rotatorio y la frecuencia de monitoreo mínima al inicia el proceso de monitoreo es de una vez por mes, como mínimo, para obtener un buen historial de condición.

Fuente: (9) WHITE, G. (2010). Introducción al análisis de vibraciones. USA: Azima DLI.P 70

### 2.2.2.2. Termografía infrarroja

La termografía infrarroja es una técnica no-destructiva y no-intrusiva mediante la cual se obtiene un mapeo del patrón térmico,

flujo de calor ó temperatura de las superficies de los equipos ó componentes observados, sin entrar en contacto directo con las mismas.

Es utilizada para evaluar el comportamiento térmico de los componentes y equipos con la finalidad de diagnosticar el desempeño y la condición de los mismos y la integridad de los materiales, productos y procesos.

El uso de la termografía infrarroja como técnica de ensayos no destructivos de materiales está basado en el supuesto que la continuidad estructural uniforme estará relacionada a una continuidad térmica uniforme; es decir que, si en determinada aplicación detectamos una discontinuidad térmica, podríamos establecer la probable existencia de un problema en la continuidad estructural del componente ó equipo observado. Por ejemplo, en instalaciones eléctricas, los problemas de discontinuidad térmica están asociados a terminales con zonas corroídas ó uniones empennadas defectuosamente; en el caso de equipos térmicos una discontinuidad térmica en la superficie está asociada a problemas con el aislamiento térmico, ó desprendimiento del mismo.

Dentro de los tipos de medición en termografía, tenemos:

- **Termografía Cualitativa:** Esta técnica se enfoca en identificar problemas a través de la obtención de imágenes de puntos calientes ó diferencias aparentes de temperatura, en vez de determinar valores reales absolutos de la temperatura.
- **Termografía Cuantitativa:** Esta técnica, en adición a la obtención de imágenes de puntos calientes, implica la determinación de la temperatura (ó diferencias de temperatura,  $\Delta T$ ) reales, en vez de determinar temperaturas aparentes.

### **2.2.2.3. Análisis de aceite**

El aceite transporta y contiene toda la información acerca de los contaminantes y partículas de desgaste.

Las funciones de los lubricantes son:

- Controlar la fricción
- Controlar el desgaste
- Controlar la corrosión
- Controlar la temperatura
- Controlar la contaminación
- Transmitir potencia, en el caso de circuitos hidráulicos

El análisis de aceite es una técnica simple, que realizando medidas de algunas propiedades físicas y químicas proporciona información con respecto a:

- La salud del lubricante
- Contaminación del lubricante
- Desgaste de la maquinaria

El análisis de aceite no sólo va a permitir monitorear el estado de desgaste de los equipos, detectar fallas incipientes, sino también establecer un Programa de lubricación basado en Condición.

#### **2.2.2.4. Análisis por ultrasonido**

Los ultrasonidos son ondas acústicas de idéntica naturaleza que las ondas sonoras, diferenciándose de éstas en que su campo de frecuencia se encuentra por encima de la zona audible. En el espectro acústico se pueden distinguir las tres bandas siguientes:

- **Infra sónica:** Frecuencia inferior a 16 ciclos / segundo o Hertz (Hz).
- **Sónica (audible):** Frecuencias comprendidas entre 16 Hz y 20 kHz.

- **Ultrasónica:** Frecuencias superiores a los 20 kHz. El límite superior de frecuencia no está definido físicamente, dependiendo en la práctica de la posibilidad de su generación y recepción.

Las ondas ultrasónicas se propagan aprovechando las propiedades elásticas de los materiales y por ello requieren de la existencia de átomos y moléculas, es decir, a diferencia de las ondas electromagnéticas, no pueden propagarse en el vacío.

Las ondas ultrasónicas se propagan en el interior de los materiales de diferentes formas dando origen a distintos tipos de ondas: longitudinales: transversales, de superficie de Lamb. Ya se había dicho como los ultrasonidos se propagan debido a la existencia de propiedades elásticas en los materiales.

La cadena de detección para el ensayo impulso – Eco ultrasónico puede ser simplemente descrita como sigue:

“Un sonido ultrasónico va a recorrer una línea recta a velocidad constante que encuentre la interface de un medio extraño. El sonido al chocar con un medio extraño va a reflejar de vuelta a su fuente de origen para su detección y análisis”.

TECSUP. (2007). Mantenimiento predictivo. Arequipa, Perú: TECSUP

### 2.2.3. Definición de términos básicos

- **Equipo colector:** Instrumento electrónico, que recoge datos de medición, para luego ser analizados.
- **Defecto:** Una desviación inesperada con respecto a los requerimientos y que justifica una acción correctiva.
- **Disponibilidad:** La capacidad del equipo para llevar a cabo con éxito la función requerida en un momento específico.

- **Falla:** La terminación de la capacidad del equipo para realizar la función requerida
- **Mantenimiento basado en la condición:** El mantenimiento preventivo que se inicia como resultado del conocimiento de la condición del equipo observada mediante el monitoreo de rutina o continuo.
- **Monitoreo de las condiciones:** La medición continua o periódica y la interpretación de los datos para inferir la condición del equipo a fin de determinar si necesita mantenimiento.
- **Pala eléctrica:** Equipo electromecánico diseñado para el desplazamiento de mineral.

# **CAPÍTULO III**

## **METODOLOGÍA**

### **3.1 Métodos, y alcance de la investigación**

La presente investigación es de tipo básica, de nivel descriptivo, debido a que se estudiará el proceso de mantenimiento y el comportamiento de componentes mediante el diseño de un plan de monitoreo basado en la condición; para ello es importante encontrar desviaciones a la condición normal de operación, de sistemas y componentes que contribuyan la inoperatividad de la pala eléctrica.

Según (Espinoza, 2010) “La investigación de tipo básica tiene como propósito ampliar el conocimiento científico a partir de la observación del funcionamiento de los fenómenos de la realidad. Sus niveles son la exploración, descripción y explicación”; además “La investigación de nivel descriptiva tiene como propósito describir los objetos tal cómo están funcionando u ocurriendo. El investigador no debe influir en el funcionamiento del objeto de investigación”.

### **3.2 Diseño de la investigación**

El presente estudio responde a los propósitos de diseño no experimental, de nivel descriptivo.

### **3.3 Población y muestra**

Las unidades de observación estuvieron constituidas por siete palas eléctricas modelos P&H 4100XPC, P&H 2800 XPB, P&H 4100 A, P&H 4100 A+, BUCYRUS 495BII, BUCYRUS 495HR, de la unidad operativa del sur del Perú, que estuvieron operativas hasta agosto del año 2018, como criterios de inclusión. Los criterios de exclusión no fueron tomados en cuenta por el número reducido de unidades.

El muestreo utilizado fue de tipo no probabilístico e intencionado.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas**

Se utilizó la técnica de observación monumental de campo directa, utilizando fichas de observación e instrumentos de medición. La fuente de información se obtuvo de datos primarios provenientes de la evaluación de los equipos en mención.

### **3.4.2. Instrumentos**

Los instrumentos utilizados son fichas de observación, elaboradas, estructuradas y aplicadas por el área de mantenimiento predictivo de la unidad operativa donde las palas realizan su función. Dichos instrumentos fueron validados por juicio de expertos hace más de veinte años y se ajustan a los requerimientos de las unidades involucradas. (Ver anexos 2,3,4,5)

#### **A. Ficha de observación de palas y perforadoras:**

- **Para el análisis vibracional:** Ficha que se dispone a manera de cuadro que consta de 6 columnas y 4 filas. Dentro de las columnas encontramos: sistema, componente, niveles totales de vibración, temperatura, comentarios y condición. En las filas hallamos: sistemas de giro, sistemas de izar, sistema de empuje y compresor.
- **Para la aplicación de termografía infrarroja:** Ficha que comprende: datos generales, sistema de izar, sistemas de giro, transformador principal e inspección visual.
- **Para la aplicación de ultrasonido:** Ficha en versión de cuadro que consta de 5 columnas y 11 filas. Las columnas indican: componente, frecuencia, inspección, observaciones y condición. Las filas señalan: eje de rueda loca derecho, eje de rueda loca izquierdo, eje de avance derecho, eje de avance izquierdo, eje de giro delantero derecho, eje de giro delantero izquierdo, eje de giro posterior, pines equalizadores rh, pines equalizadores lh, eje de polea pluma, eje de empuje, pin de caja de izar delantero y pin de caja de izar posterior.
- **Para el análisis de aceite (laboratorio):** Ficha que se dispone a manera de cuadro que consta de 9 columnas y 8 filas. Dentro

de las columnas encontramos: componentes, fecha, horas componente, horas aceite, elementos de desgaste, viscosidad, PQ, análisis, aditivos. Y en las filas tenemos: compresor, caja de avance derecho, caja de avance izquierdo, caja de giro derecho, caja de giro izquierdo, caja de giro posterior, caja de izar y caja de empuje.

**B. Instrumentos de medición:**

- Para el análisis vibracional: Microlog CMXA 80, CMXA 75 y CMXA 70
- Aplicando termografía infrarroja: cámara termográfica Flir E60
- Aplicando ultrasonido: Equipo de ultrasonido Epoch 1000i
- Análisis de aceite en laboratorio.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCION

#### 4.1. Identificación de requerimientos.

##### 4.1.1. Lista de exigencias

La lista de exigencias ofrece un resumen de los requerimientos de la necesidad, y es un documento gracias al cual se realiza el diseño y que también hace las veces de contrato entre el cliente y el diseñador, ya que registra las especificaciones solicitadas con aprobación de ambas partes. Además, se detallan los alcances que tendrá el proyecto y señala por escrito la conformidad del diseñador en razón a las necesidades que deberá satisfacer.

**Tabla 2.** *Lista de exigencias*

LISTA DE EXIGENCIAS					
<b>PROYECTO</b>		DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO BASADO EN LA CONDICIÓN (CBM) DE UNA PALA ELÉCTRICA P&H 4100XPC EN UNA EMPRESA MINERA DEL SUR DEL PERU, 2018		<b>Página:</b>	01/01
				<b>Edición:</b>	Rev1
				<b>Fecha</b>	09.07.2019
				<b>Revisado</b>	J.A.S.P
<b>CLIENTE</b>		Departamento de Mantenimiento Predictivo		<b>Elaborado</b>	E.A.C
ITEM	FECHA (Cambios)	DESEO (D) O EXIGENCIA (E)	DESCRIPCION	RESPON SABLE	
1	09.07.2019	E	<b>FUNCION PRINCIPAL:</b> Debe ser un plan que abarque diferentes técnicas de monitoreo basado en la condición, que permitan evaluar la mayor cantidad de sistemas y/o componentes de la pala eléctrica, con el fin de preservar las funciones de operatividad del equipo, evitando las funcionales y detectando fallas potencias, para una oportuna intervención del activo.	E.A.C	
2	09.07.2019	E	<b>MANTENIMIENTO:</b> El diseño del plan debe ser replicable a las demás palas existentes en la unidad operativa.	E.A.C	

3	09.07.2019	E	<b>COSTOS:</b> Debe utilizar la instrumentación y equipos existentes en el departamento de mantenimiento predictivo; así como, el personal actual que posee el área.	E.A.C
4	09.07.2019	E	<b>CONTROL:</b> Debe ser aplicado a componentes que puedan dar síntomas de falla, para poder evidenciar su condición.	E.A.C
5	09.07.2019	E	<b>MANTENIMIENTO:</b> Debe poseer una frecuencia de monitoreo, capaz de detectar con facilidad la condición del equipo, a fin de dar tiempo de intervención, sin incurrir en costos excesivos de mantenimiento.	E.A.C
6	09.07.2019	E	<b>MANTENIMIENTO:</b> Debe ser capaz de poder acoplarse al programa de mantenimiento existente.	E.A.C
7	09.07.2019	E	<b>COSTOS:</b> No debe ser de una duración mayor a 90 minutos, por los costos elevados de pérdida de producción por parada de equipo.	E.A.C
8	09.07.2019	E	<b>CONTROL:</b> Debe contemplar una secuencia lógica de actividades; así como, los componentes a inspeccionar en cada intervención.	E.A.C
9	09.07.2019	E	<b>SEGURIDAD:</b> Debe ser seguro, sin un grado elevado de exposición del personal que realice el monitoreo, en los diferentes sistemas de la pala eléctrica	E.A.C

Fuente: elaboración propia.

En el encabezado de la lista de exigencias, se coloca el nombre del proyecto y del cliente para diferenciar ésta lista de otras que se pudieran estar realizando en paralelo. Además se pueden considerar: el número de página, la edición, la fecha, el encargado de su elaboración y revisión. Los conceptos que se analizan se presentan en cuatro campos, según:

- Fecha de cambios: registro a través del tiempo de las variaciones realizadas en los ítems producto de las reuniones periódicas entre diseñador y cliente.
  
- Deseo o exigencia: se resuelve la condición del ítem tratado; si es una exigencia a cumplirse a cabalidad o sólo es algo deseado (no imprescindible en la futura máquina). Se representa a la exigencia con la letra E y D para el deseo.
  
- Descripción: Se detallan las características por cada ítem que deberá considerarse durante el diseño (de las máquinas) durante el montaje o en operación. La elección de los títulos de éste campo depende del diseñador, ya que es el responsable de la evaluación de las diferentes áreas del conocimiento durante el desarrollo del proyecto.
  
- Responsable: Se señala al encargado de que la característica (exigencia o deseo) sea transmitida al diseño.

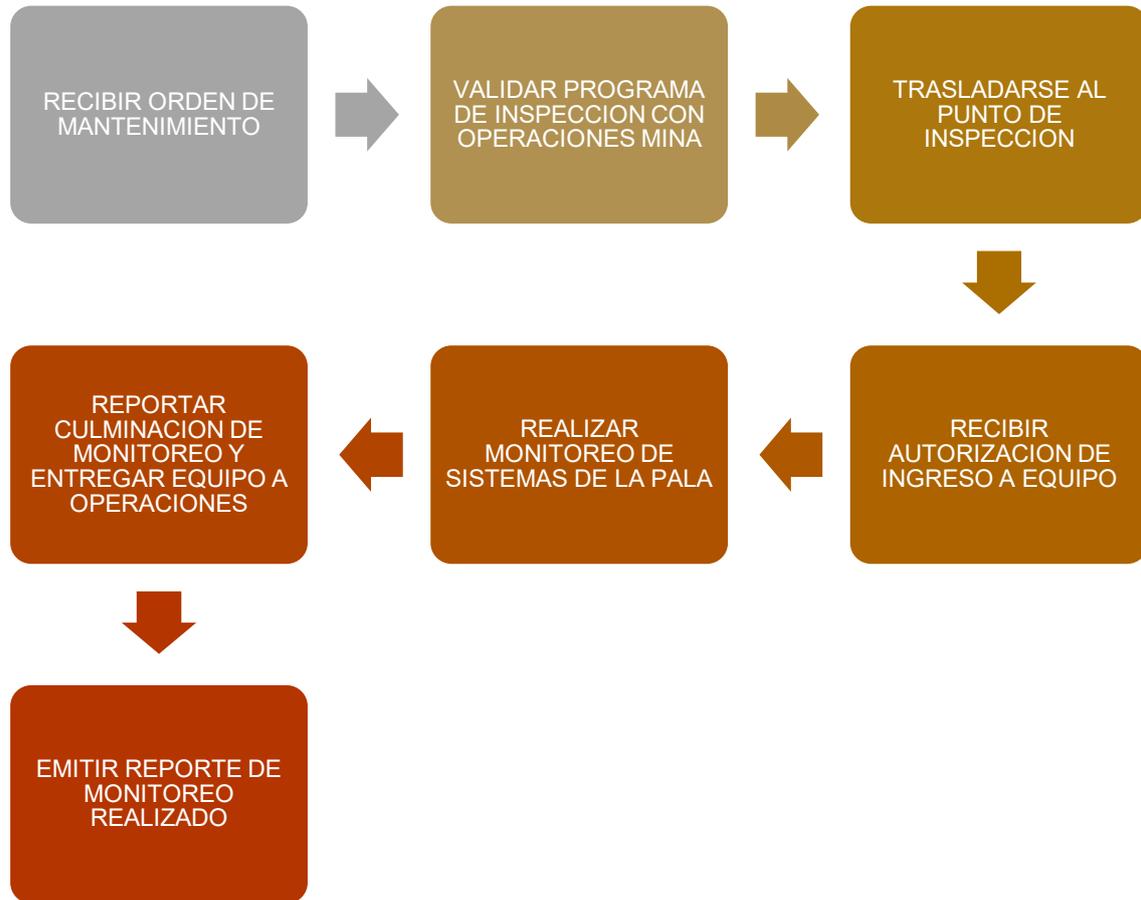
## **4.2. Análisis de la solución**

### **4.2.1. Secuencia de operaciones**

Se presenta una lista de secuencia de operaciones necesarias para completar el proceso, que incluye:

- Recepción de orden de mantenimiento
- Validación del programa de inspección
- Traslado al punto de inspección
- Recepción de autorización
- Monitoreo del sistema de la máquina
- Reporte de culminación de monitoreo y entrega de equipo
- Emisión de reporte

**Gráfico 1. Secuencia de operaciones**

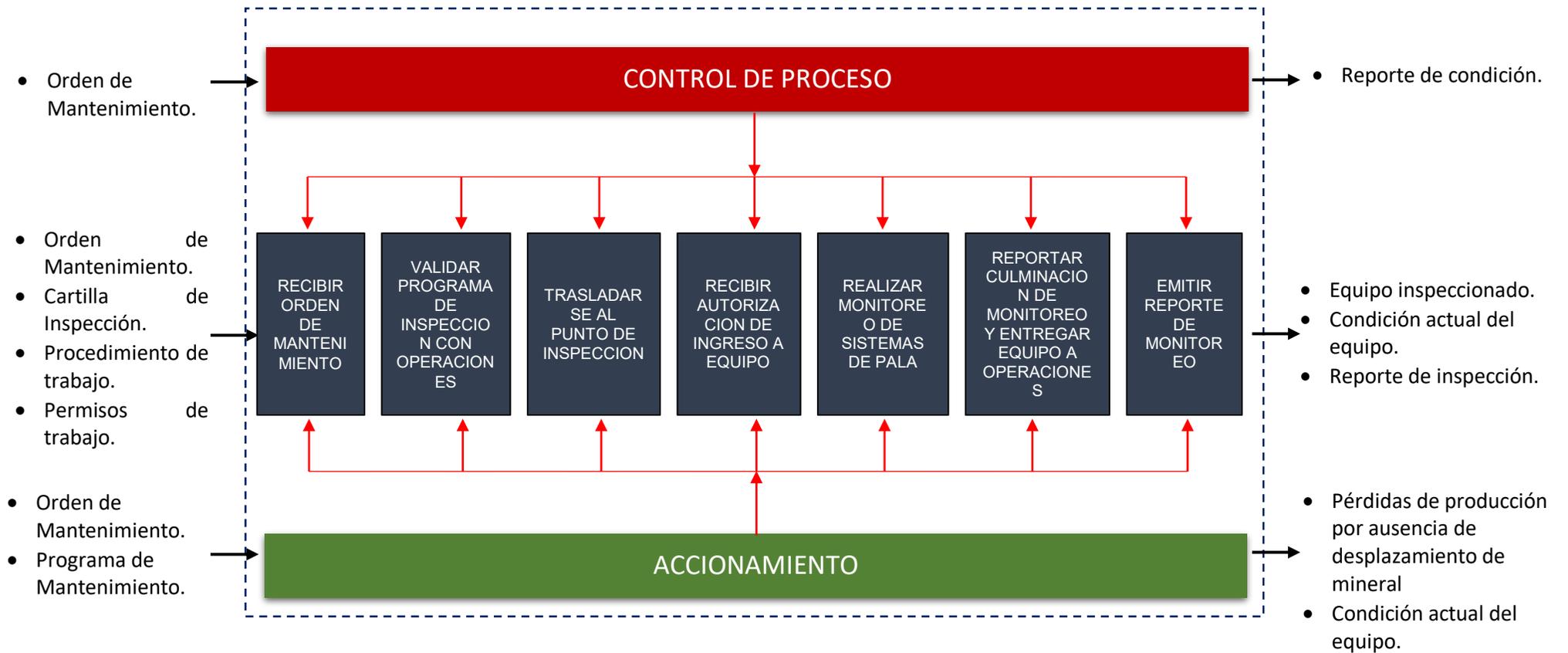


Fuente: elaboración propia.

El proceso se inicia cuando se recibe la orden de mantenimiento, que varía según las necesidades individuales de cada equipo. Luego es importante validar el programa con las entidades directamente involucradas (operaciones mina). Después hay que dirigirse al punto de inspección, donde se realizará el monitoreo de la máquina previa autorización de ingreso. Una vez que se realiza el monitoreo, se reporta su culminación y se entrega el equipo a los encargados. Finalmente, se emite un reporte del monitoreo efectuado.

#### 4.2.2. Caja negra

Gráfico 2. Caja Negra



Fuente: elaboración propia.

Su elaboración se apoya en los pasos de la secuencia de operaciones a partir de las órdenes de mantenimiento. Una vez culminado el proceso, resulta importante la emisión del reporte respectivo a fin de que todos los hallazgos encontrados estén debidamente registrados.

### 4.2.3. Matriz morfológica

Tabla 3. Matriz morfológica

FUNCIONES	PORTADORES DE FUNCIONES (Alternativas de efectos y/o principios de solución)		
	Solución 1	Solución 2	Solución 3
1. Recibir orden de mantenimiento	Recibir orden generada en SAP		
2. Validar programa de inspección con operaciones	Plantear ejecución del trabajo en la reunión de inicio de guardia		
3. Trasladarse al punto de inspección	Desplazarse en la camioneta de campo	Ser trasladados por el supervisor del área	
4. Recibir autorización de ingreso	Pedir Autorización de ingreso por radio (en campo)	Pedir autorización escrita, mediante correo	
5. Realizar monitoreo de los sistemas de las palas	Realizar inspección con equipos colectores de datos (Análisis vibracional, termografía, ultrasonido, etc)	Realizar la inspección sensorial de los sistemas de la pala, solo en los mantenimientos y seguir plan de cambios programados	Evaluar el equipo cuando tenga indicio de falla desarrollada, perceptible a los sentidos humanos
6. Reportar culminación de monitoreo y entregar equipo a operaciones	Comunicar por radio la culminación de la inspección		
7. Emitir reporte de monitoreo	Realizar el reporte en una plantilla de fácil entendimiento, no muy extenso y enviarlo por medio del correo a las partes involucradas	Realizar el reporte en una plantilla de fácil entendimiento y entregarlo impreso en la reunión de inicio de guardia a las partes involucradas	Realizar el reporte en una plantilla de fácil entendimiento y explicarlo a cada taller involucrado
<b>CONCEPTOS DE SOLUCIÓN</b>	<b>Solución 1:</b> Busca realizar un monitoreo basado en la condición con colectores de datos, para un análisis posterior, a fin de encontrar desviaciones en la operación normal del equipo y poder detectar fallas de modo incipiente; esta inspección se realiza	<b>Solución 2:</b> Busca aprovechar las paradas programadas del equipo y colgarse del tiempo estimado para esas actividades, cabe resaltar que el equipo siempre será evaluado fuera de operación.	<b>Solución 3:</b> Busca realizar una evaluación de la condición del equipo, solo cuando la falla ya sucedió, con el fin de determinar si continuará operando o el equipo será intervenido.

	en un tiempo exclusivo para el monitoreo.		
--	---	--	--

Fuente: elaboración propia.

La matriz morfológica señala gráficamente tres alternativas de solución al problema encontrado teniendo como guía a la secuencia de procedimientos expuesta en el esquema número 1. Las alternativas ofrecidas se dirigen a:

- Realizar un monitoreo basado en la condición con colectores de datos, para un análisis posterior, a fin de encontrar desviaciones en la operación normal del equipo y poder detectar fallas incipientes.
- Aprovechar las paradas programadas del equipo y colgarse del tiempo estimado para esas actividades.
- Realizar una evaluación de la condición del equipo, solo cuando la falla ya sucedió, con el fin de determinar si continuará operando o el equipo será intervenido.

### 4.3. Diseño

**Tabla 4. Diseño mecánico - Evaluación de proyectos. Valor económico**

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos Valor Económico (Yi)								
Proyecto: DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO BASADO EN LA CONDICIÓN (CBM) DE UNA PALA ELÉCTRICA P&H 4100XPC EN UNA EMPRESA MINERA DEL SUR DEL PERU, 2018								
P: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valor según VDI 2225) 0= No satisfacer. 1=Aceptable a la justas, 2= Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien (ideal) g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.								
Criterios de evaluación para diseño en fase de conceptos o proyectos								
Variantes de Concepto/Proyecto			Solución 1 MBC		Solución 2 MP		Solución 3 MC	
Nro	Criterio de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp
1	Número de componentes a monitorear	4	4	16	3	12	2	8
2	Facilidad de aplicación en campo	4	3	12	4	16	2	8
3	Facilidad para detectar fallas	4	4	16	3	12	2	8
4	Costo de tecnología para la aplicabilidad	4	3	12	4	16	2	8
5	Costos de operación por intervención	4	2	8	3	12	1	4
6	Costos asociados por intervención de fallas oportunamente	4	4	16	3	12	0	0
7	Facilidad de mantenimiento oportuno	4	4	16	2	8	0	0

8	Número de inspectores requeridos	4	3	12	3	12	2	8
9	Frecuencia optima de inspección	4	3	12	3	12	1	4
10	Facilidad para emisión de reportes	3	3	12	2	8	1	4
11	Transporte	3	3	12	3	12	3	12
<b>Puntaje máximo <math>\sum p</math> ó <math>\sum gp</math></b>		42	36	<b>144</b>	33	132	16	64
<b>Valor Técnicos <math>Y_i</math></b>				<b>0.86</b>		0.79		0.38

Fuente: elaboración propia.

De la evaluación técnico económica realizada, entre las tres alternativas propuestas, se obtuvo una ponderación mayor para la propuesta de monitoreo basado en la condición, tanto en la evaluación técnica y en la evaluación económica, obteniéndose una puntuación de 144 puntos y un valor técnico de 0.86, según la matriz del VDI2225, con criterios de valuación modificados acorde a las propuestas planteadas. Para tal efecto, se puede apreciar la ubicación de la puntuación máxima en la parte superior del siguiente gráfico, con la alternativa de solución más eficaz, según nuestro análisis.

**Gráfico 3. Evaluación económica**



Fuente: elaboración propia.

## CAPÍTULO V

### CONSTRUCCIÓN

#### 5.1. Construcción

##### 5.1.1. Plan de mantenimiento

Con el cálculo de pérdidas que genera una pala sin producir, podríamos estimar el impacto que genera la falla de un componente para ser cambiado.

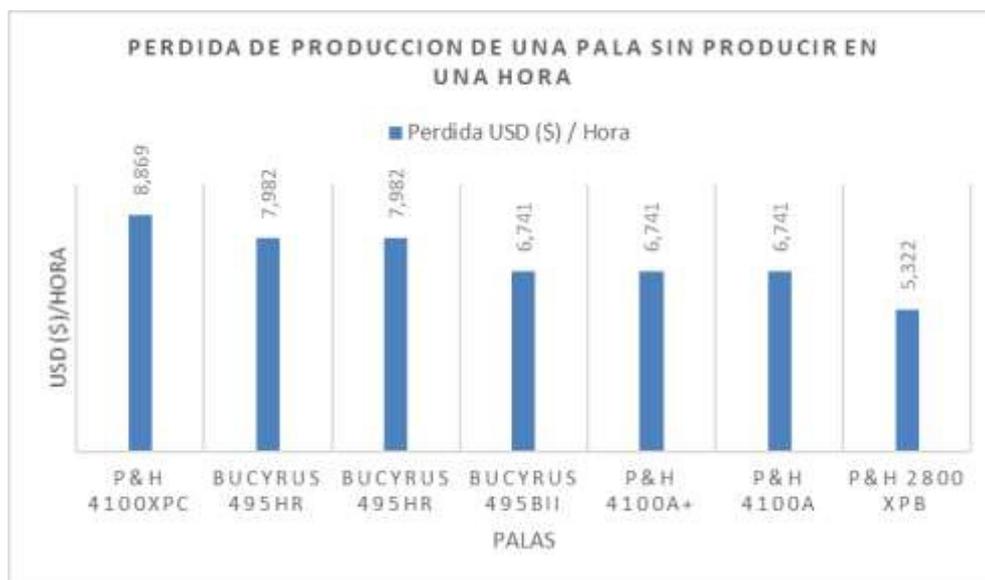
**Tabla 5. Cálculo de pérdida de producción de pala sin producir**

CÁLCULO DE PERDIDA DE PRODUCCIÓN POR TENER LA PALA SIN PRODUCIR							
CRITERIOR PARA ESTIMACION	PALA7	PALA6	PALA5	PALA4	PALA3	PALA2	PALA1
	P&H 4100XPC	Bucyrus 495HR	Bucyrus 495HR	Bucyrus 495BII	P&H 4100A+	P&H 4100A	P&H 2800 XPB
	TONELAJE	TONELAJE	TONELAJE	TONELAJE	TONELAJE	TONELAJE	TONELAJE
Producción perdida ( t )	5,000	4,500	4,500	3,800	3,800	3,800	3,000
Relación Desbroce (D/M) - Plan Turno	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75
Acarreo Mineral ( t )	869	782	782	661	661	661	522
Ley Cu (%) - Plan Turno	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Recuperación Conc. (%) - Real agosto	84.3%	84.3%	84.3%	84.3%	84.3%	84.3%	84.3%
Recuperación Fund. (%) - Real agosto	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%
Recuperación Refin. (%) - Real agosto	99.8%	99.8%	99.8%	99.8%	99.8%	99.8%	99.8%
Toneladas de Cobre Fino ( t )	4.87	4.38	4.38	3.70	3.70	3.70	2.92
Libras de Cobre Fino (Lb)	10,727	9,655	9,655	8,153	8,153	8,153	6,436
Margen de Ganancia Final - US\$ / Lb de Cu	<b>0.827</b>	<b>0.827</b>	<b>0.827</b>	<b>0.827</b>	<b>0.827</b>	<b>0.827</b>	<b>0.827</b>
<b>Pérdida (US\$) / Hora</b>	<b>8,869</b>	<b>7,982</b>	<b>7,982</b>	<b>6,741</b>	<b>6,741</b>	<b>6,741</b>	<b>5,322</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en el siguiente gráfico, la pala P&H 4100 XPC (Pala 7), es la pala más crítica dentro de nuestro universo de equipos de extracción de mineral, llegando a generar una pérdida de producción de 8,869 US\$/hora.

**Gráfico 4. Pérdida de producción de una pala sin producir en una hora**



Fuente: elaboración propia.

Es importante resaltar que los componentes de la pala en mención, tiene diferentes tiempos de vida estimados por el fabricante, como lo muestra la siguiente tabla:

**Tabla 6. Vida estimada de componentes de pala P&H 4100 XPC**

VIDA ESTIMADA DE COMPONENTES DE PALA P&H 4100 XPC			
SISTEMA	COMPONENTE MONTADO	DESCRIPCION DEL COMPONENTE	VIDA ESTIMADA (Hrs)
NEUMATICO	AIRCOMC12223	COMPRESOR	20000
BOOM	SHEBOOC12310	POLEA DE PLUMA IZQ	35000
BOOM	SHEBOOC12309	POLEA DE PLUMA DER	35000
BOOM	SHEPINC12311	EJE DE POLEA DE PLUMA	35000
IZAR	BRAHOIC12253	FRENO DE IZAR FRON	9000
IZAR	BRAHOIC12254	FRENO DE IZAR POST	9000
IZAR	DRUHOIC12255	TAMBOR DE IZAR	50000
IZAR	FGEOC12256	PRIMER ENGR REDUCT IZAR FRON	35000
IZAR	FGEOC12257	PRIMER ENGR REDUCT IZAR POST	35000
IZAR	FPIOC12258	PRIMER PINON REDUCT IZAR FRON	35000
IZAR	FPIOC12259	PRIMER PINON REDUCT IZAR POST	35000
IZAR	GEDOC12260	ENGRANAJE TAMBOR DE IZAR	35000
IZAR	GEINHOC12261	ENGRANAJE INTERM IZAR FRON	35000
IZAR	GEINHOC12262	ENGRANAJE INTERM IZAR POST	35000
EMPUJE	CROBRAC12303	FRENO DE EMPUJE	12000
EMPUJE	CROBRAC12304	FRENO DE EMPUJE	12001
EMPUJE	CROBRAC12305	FRENO DE EMPUJE	12002
EMPUJE	CROBRAC12306	FRENO DE EMPUJE	12003
EMPUJE	CROBRAC12307	FRENO DE EMPUJE	12004
EMPUJE	CROBRAC12308	FRENO DE EMPUJE	12005
EMPUJE	CROBRAC12309	FRENO DE EMPUJE	12006

EMPUJE	CROBRAC12310	FRENO DE EMPUJE	12007
EMPUJE	CROBRAC12311	FRENO DE EMPUJE	12008
EMPUJE	CROBRAC12312	FRENO DE EMPUJE	12009
EMPUJE	CROBRAC12313	FRENO DE EMPUJE	12010
EMPUJE	CROBRAC12314	FRENO DE EMPUJE	12011
EMPUJE	CROBRAC12315	FRENO DE EMPUJE	12012
EMPUJE	CROBRAC12316	FRENO DE EMPUJE	12013
EMPUJE	CROBRAC12317	FRENO DE EMPUJE	12014
EMPUJE	CROBRAC12318	FRENO DE EMPUJE	12015
EMPUJE	CROBRAC12319	FRENO DE EMPUJE	12016
EMPUJE	CROBRAC12320	FRENO DE EMPUJE	12017
EMPUJE	CROBRAC12321	FRENO DE EMPUJE	12018
EMPUJE	CROBRAC12322	FRENO DE EMPUJE	12019
EMPUJE	CROBRAC12323	FRENO DE EMPUJE	12020
EMPUJE	CROBRAC12324	FRENO DE EMPUJE	12021
EMPUJE	CROBRAC12325	FRENO DE EMPUJE	12022
EMPUJE	CROBRAC12326	FRENO DE EMPUJE	12023

Fuente: elaboración propia.

Por tal y en función de los diferentes tiempos de vida de los componentes, se propone el siguiente plan de mantenimiento para realizar las tareas de monitoreo basado en la condición de los sistemas más críticos de la pala P&H 4100XPC, como:

- Análisis vibracional.
- Termografía infrarroja.
- Ultrasonido.
- Análisis de aceite.

En el plan se detalla los componentes a inspeccionar, la frecuencia de monitoreo planteada; así como, el tiempo de duración y la cantidad de personas para realizar la tarea de monitoreo, incluido dentro de este tiempo la emisión de reportes de cada inspección; como también el tiempo estimado en el traslado y las coordinaciones por cada actividad.



### 5.1.2. Costos asociados a la falla de un componente de la pala eléctrica

Tabla 8. Costos asociados a la falla del componente

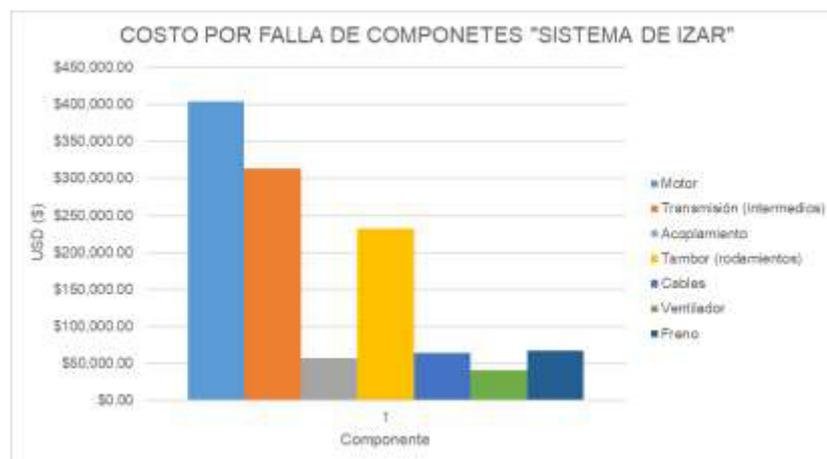
COSTOS ASOCIADOS A LA FALLA DEL COMPONENTE								
Nro	Componente	Horas	Cantidad Personas	HH	Costo HH (\$15/Hora)	Costo Por No Producir (\$8,869/Hora)	Costo Componente	Costo Total de Evento por falla de Componente
<b>SISTEMA DE IZAR</b>								
1	Motor	6.00	6	36.00	\$540.00	\$53,214.00	\$350,000.00	\$403,754.00
2	Transmisión (intermedios)	6.00	6	36.00	\$540.00	\$53,214.00	\$260,000.00	\$313,754.00
3	Acoplamiento	6.00	6	36.00	\$540.00	\$53,214.00	\$3,225.00	\$56,979.00
4	Tambor (rodamientos)	24.00	8	192.00	\$2,880.00	\$212,856.00	\$17,000.00	\$232,736.00
5	Cables	4.00	10	40.00	\$600.00	\$35,476.00	\$28,000.00	\$64,076.00
6	Ventilador	4.00	3	12.00	\$180.00	\$35,476.00	\$5,815.00	\$41,471.00
7	Freno	4.00	3	12.00	\$180.00	\$35,476.00	\$32,000.00	\$67,656.00
<b>SISTEMA DE GIRO</b>								
8	Motor	6.00	6	36.00	\$540.00	\$53,214.00	\$150,000.00	\$203,754.00
9	Transmisión	12.00	6	72.00	\$1,080.00	\$106,428.00	\$650,000.00	\$757,508.00
10	Ventilador	4.00	3	12.00	\$180.00	\$35,476.00	\$25,000.00	\$60,656.00
15	Freno	4.00	3	12.00	\$180.00	\$35,476.00	\$32,000.00	\$67,656.00
<b>SISTEMA DE EMPUJE</b>								
11	Motor	6.00	6	36.00	\$540.00	\$53,214.00	\$12,000.00	\$65,754.00
12	Transmisión	16.00	6	96.00	\$1,440.00	\$141,904.00	\$499,000.00	\$642,344.00
13	Polea	5.00	4	20.00	\$300.00	\$44,345.00	\$20,000.00	\$64,645.00
14	Correa	2.00	3	6.00	\$90.00	\$17,738.00	\$3,000.00	\$20,828.00

15	Freno	4.00	3	12.00	\$180.00	\$35,476.00	\$32,000.00	\$67,656.00
<b>SISTEMA AVANCE</b>								
16	Motor de avance derecho	6.00	6	36.00	\$540.00	\$53,214.00	\$320,000.00	\$373,754.00
17	Transmisión de avance derecho	12.00	8	96.00	\$1,440.00	\$106,428.00	\$800,000.00	\$907,868.00
18	Motor de avance izquierdo	6.00	6	36.00	\$540.00	\$53,214.00	\$320,000.00	\$373,754.00
19	Transmisión de avance izquierdo	12.00	8	96.00	\$1,440.00	\$106,428.00	\$800,000.00	\$907,868.00
<b>EJES DE PALA</b>								
20	Eje de rueda loca derecho.	6.00	4	24.00	\$360.00	\$53,214.00	\$10,848.00	\$64,422.00
21	Eje de rueda loca izquierdo.	6.00	4	24.00	\$360.00	\$53,214.00	\$25,000.00	\$78,574.00
22	Eje de Avance Derecho	8.00	6	48.00	\$720.00	\$70,952.00	\$110,000.00	\$181,672.00
23	Eje de Avance Izquierdo	8.00	6	48.00	\$720.00	\$70,952.00	\$110,000.00	\$181,672.00
24	Eje de Giro Delantero Derecho	8.00	6	48.00	\$720.00	\$70,952.00	\$30,528.00	\$102,200.00
25	Eje de Giro Delantero Izquierdo	8.00	6	48.00	\$720.00	\$70,952.00	\$30,528.00	\$102,200.00
26	Eje de Giro Posterior	8.00	6	48.00	\$720.00	\$70,952.00	\$30,528.00	\$102,200.00
27	Pines Ecuiladores RH	4.00	4	16.00	\$240.00	\$35,476.00	\$250.00	\$35,966.00
28	Pines Ecuiladores LH	4.00	4	16.00	\$240.00	\$35,476.00	\$250.00	\$35,966.00
29	Eje de Polea Pluma	24.00	10	240.00	\$3,600.00	\$212,856.00	\$15,826.00	\$232,282.00
30	Eje de Empuje	8.00	6	48.00	\$720.00	\$70,952.00	\$120,000.00	\$191,672.00
31	Pin de Caja de izar Delantero	4.00	4	16.00	\$240.00	\$35,476.00	\$20,000.00	\$55,716.00
32	Pin de Caja de izar Posterior	4.00	4	16.00	\$240.00	\$35,476.00	\$20,000.00	\$55,716.00

Fuente: Elaboración propia.

Los valores mostrados en el cuadro de costos de perdida por concepto de falla de componente de la pala, muestran que al fallar el componente más costos, este es caso el motor eléctrico y la transmisión del sistema de izar generarían una perdida aproximada de 403 mil dólares (Motor eléctrico) y 313 mil dólares (transmisión), incluido el costo del componente, la mano de obra y la perdida por dejar de producir en el tiempo estimado de cambio del componente.

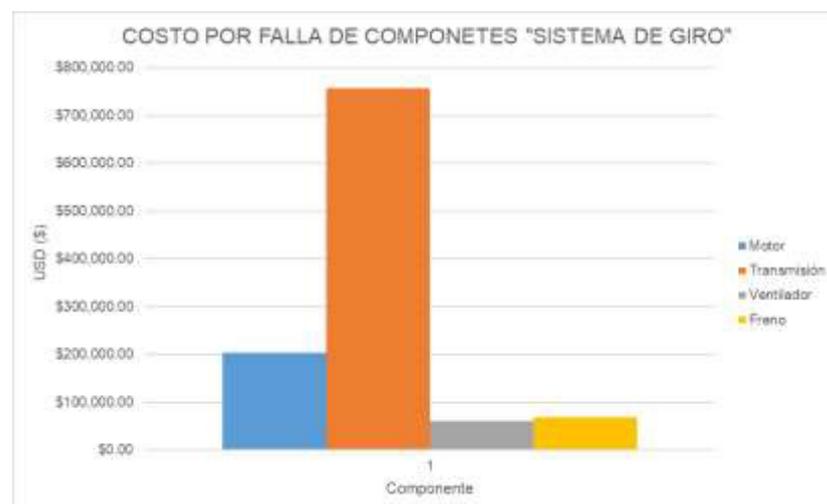
**Gráfico 5.** Costo por falla de componentes "Sistema de Izar"



Fuente: elaboración propia.

En referencia al sistema de giro, podemos ver en el cuadro de costos asociados a la falla del componente, que el componente con mayor costo por falla es la transmisión de giro, llegando a estimar su pérdida en un valor de aproximadamente 757 mil dólares.

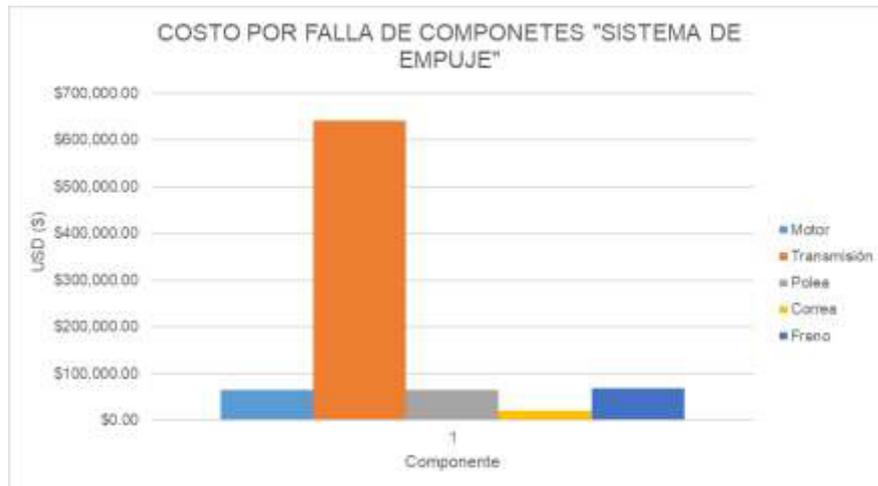
**Gráfico 6.** Costo por falla de componentes "Sistema de Giro"



Fuente: elaboración propia

Si hablamos del sistema de empuje, podemos ver el cuadro de costos asociados a la falla del componente que el componente con mayor costo de falla es la transmisión de empuje, llegando a estimar su valor de perdida por falla en 642 mil dólares.

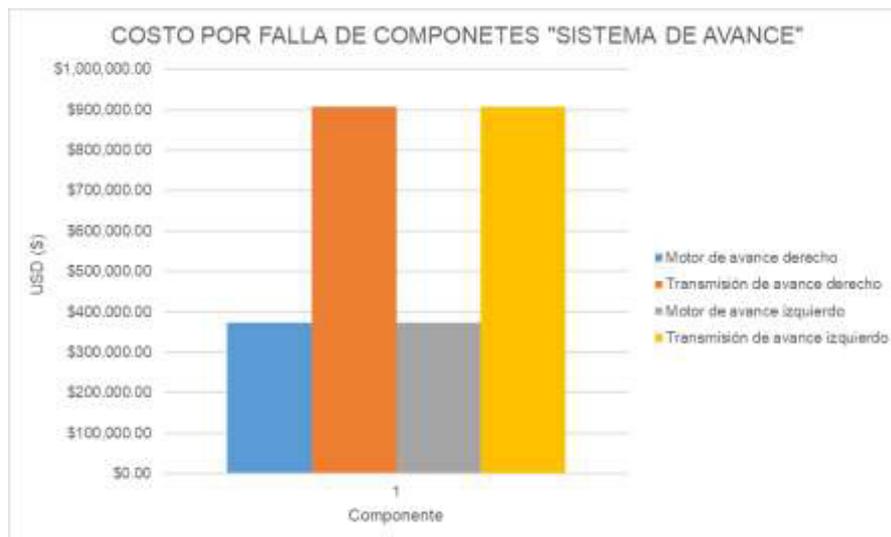
**Gráfico 7. Costo por falla de componentes "Sistema de Empuje"**



Fuente: elaboración propia.

Con respecto al sistema de avance, podemos apreciar en el cuadro de costos asociados a la falla del componente que el componente con mayor costo de falla es la transmisión de avance (derecho e izquierdo), llegando a representar un valor de pérdida de 907 mil dólares.

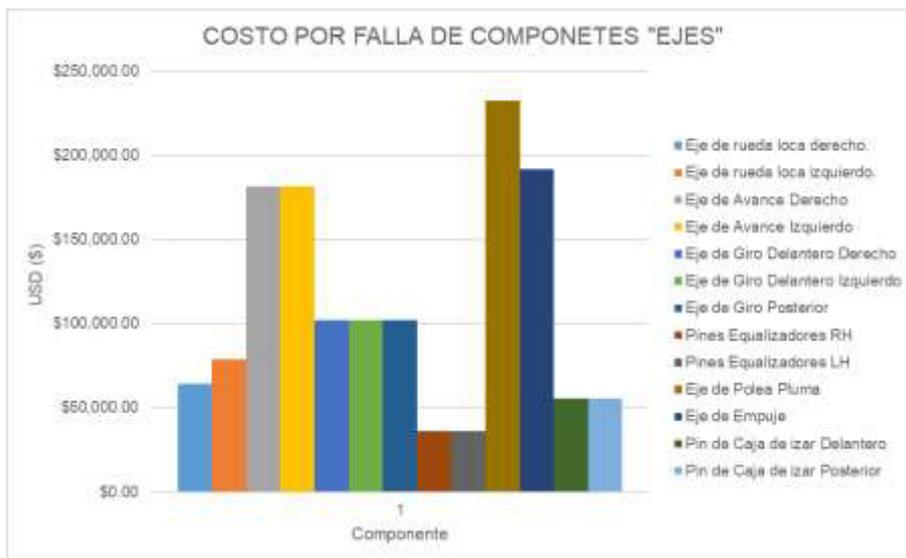
**Gráfico 8. Costo por falla de componentes "Sistema de Avance"**



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en función a los ejes principales que posee la pala eléctrica, podemos determinar que los ejes con mayor costo por pérdida de producción son los ejes de polea de pluma, eje de empuje, eje de avance derecho e izquierdo, llegando a representar un costo por perdida de 232 mil dólares, 191 mil dólares, 181 mil dólares, respectivamente.

**Gráfico 9. Costo por falla de componentes "Ejes"**



Fuente: elaboración propia.

Todos estos componentes que generan cuantiosas pérdidas de producción que afectan a la unidad operativa y a la vida útil de la pala eléctrica P&H 4100XPC, son componentes que pueden ser monitoreados bajo una técnica de monitoreo basada en la condición, como se evidencia en el plan propuesto.

El monitoreo de estos componentes, permitirá mostrar una variación en la condición de operación normal y evidenciar alguna desviación existente, detectando un modo de falla de modo incipiente; para poder tomar acción oportuna, como: programar la intervención del componente, programar los recursos necesarios y hasta se podrá extender la vida útil del componente según su condición.

### 5.1.3. Procedimientos de monitoreo basado en la condición

#### 5.1.3.1. Análisis vibracional

El monitoreo de los sistemas de potencia de la pala eléctrica mediante el análisis vibracional se efectúa solicitando el equipo por un espacio de 1.5 horas, que, en función a la perdida por dejar de producir, es equivalente a 13,303.50 mil dólares en una intervención, y al año (12 intervenciones) representaría una perdida por acción de intervención de 159,642.00 mil dólares, según el plan propuesto.

El monitoreo se efectúa con tres personas para realizar la toma, registro y coordinación de movimientos de secuencia por sistema y según prioridad:

- **Prioridad 1:** Sistema de giro (Sentido Horario a velocidad constante).

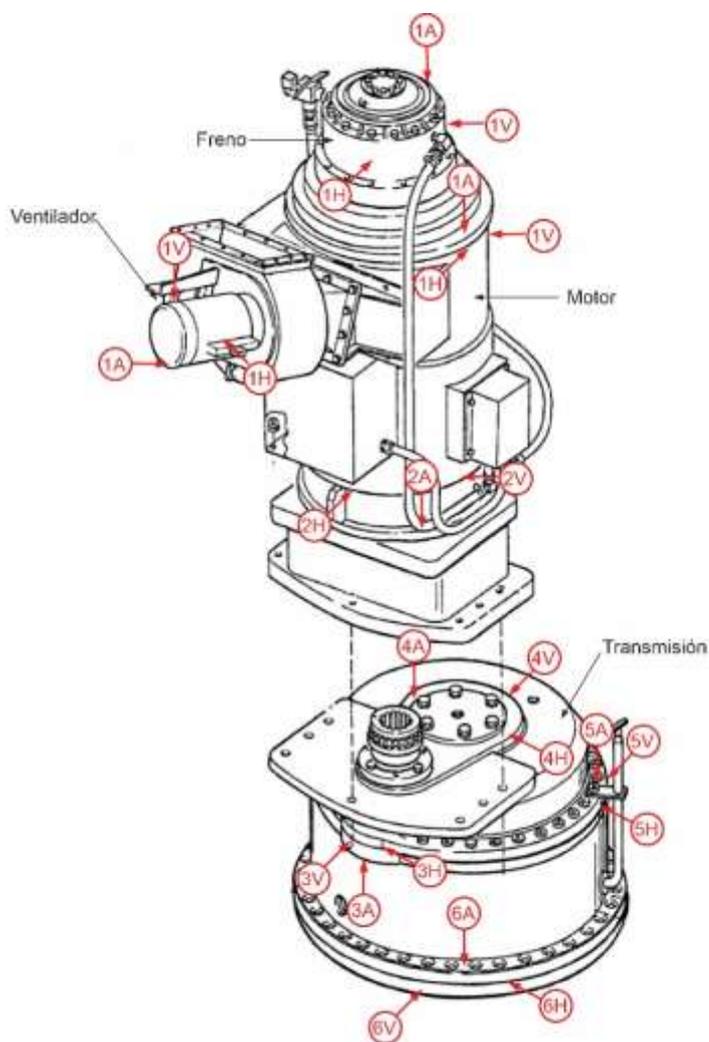


Figura N°8. Ubicación de puntos de medición en sistema de giro (Delantero - posterior)

- **Prioridad 2:** Sistema de izar o levante (movimiento repetitivo a velocidad constante).

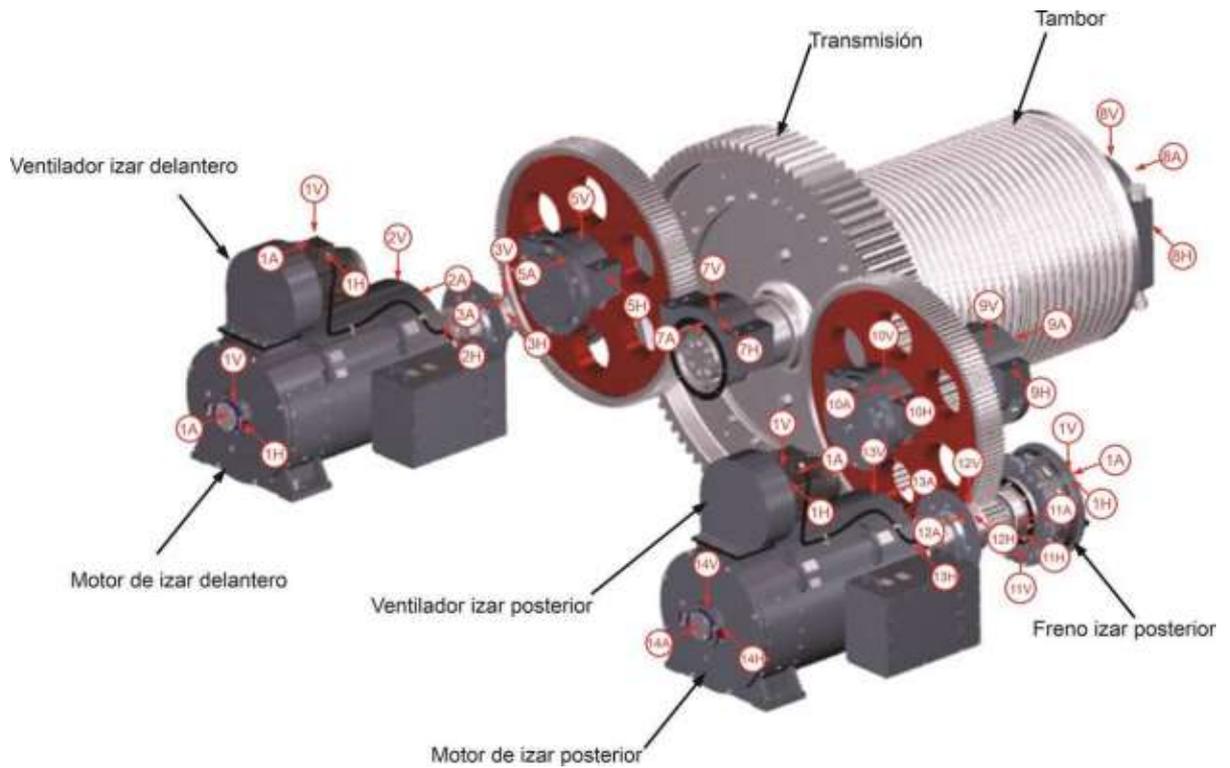


Figura N°9. Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado libre)

- **Prioridad 3:** Sistema de empuje (movimiento repetitivo a velocidad constante).

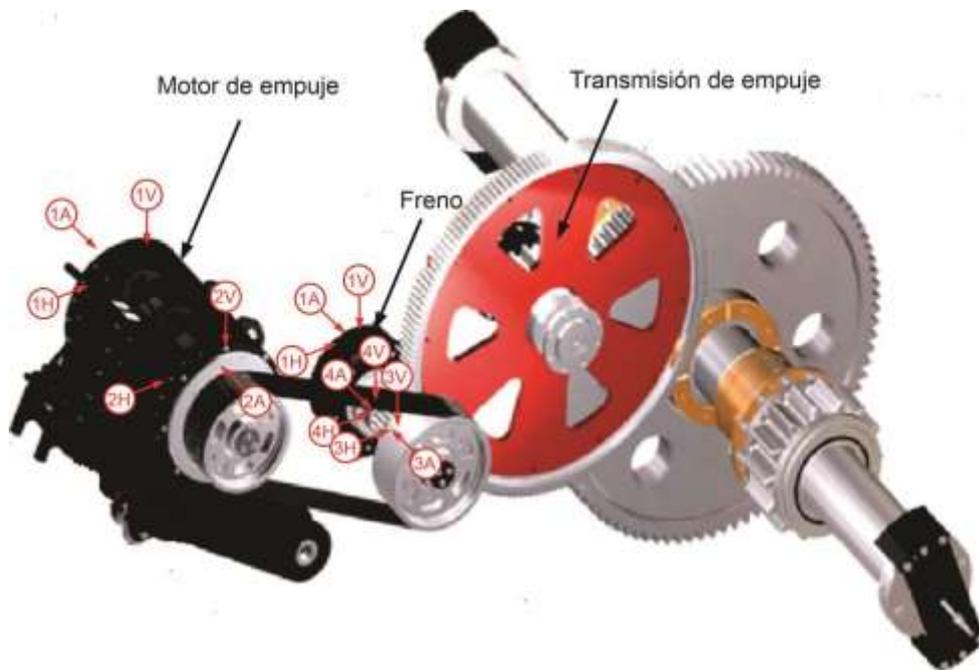


Figura N°10. Ubicación de puntos de medición en sistema de empuje

La colección de datos se efectúa con instrumentos como Colectores SKF Microlog CMXA80, Microlog CMXA75 y Microlog GX70.



Figura N°11. Analizadores de vibraciones Microlog SKF

Una vez terminada la colección de datos, son descargado y analizados en el software SKF @ptitude Analyst.

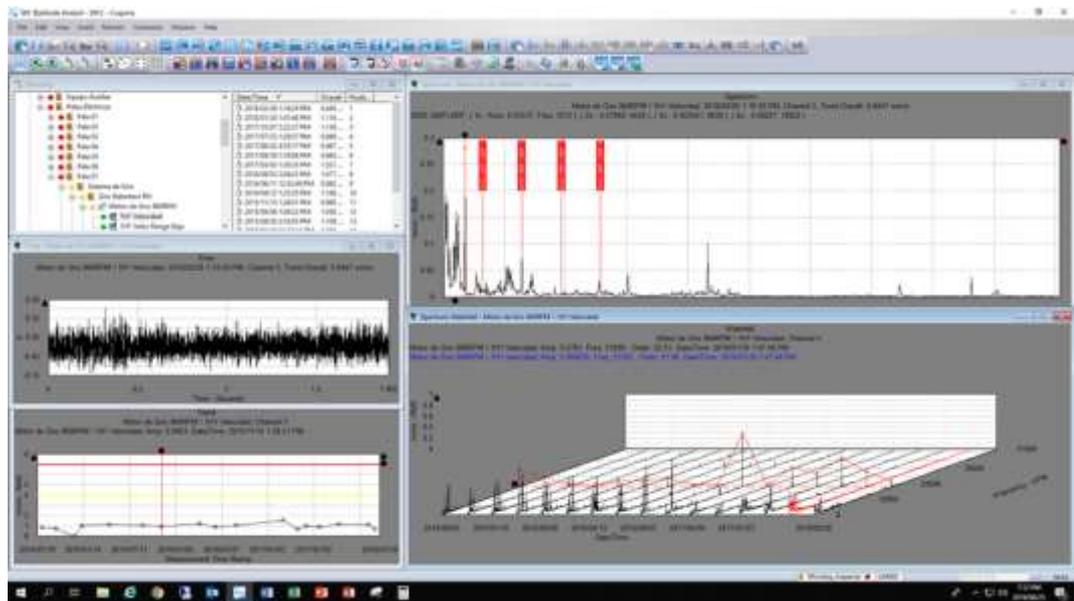


Figura N°12. Entorno de trabajo de software SKF @ptitude Analyst

Finalmente, al terminar el análisis de los puntos monitoreados, se emite un reporte que sintetiza la condición del equipo y es enviado a los departamentos involucrados para su acción correctiva.

**Tabla 9. Reporte de análisis de vibraciones en pala PYH 4100XPC**

**REPORTE ANALISIS DE VIBRACIONES**  
**Pala Nro.07 P&H 4100 XPC**  
**Fecha Inspección: 11 de agosto del 2018**

SISTEMA	COMPONENTE	Niveles Totales de Vibración		Temperatura °C	Comentarios	Condición	
		Velocidad					
		Radial	Axial				
Sistema Giro	Giro Delantero RH	Ventilador	2.1 mm/s	1.3 mm/s	39 °C	Ninguno	Normal
		Motor de Giro 960rpm	1.5 mm/s	0.5 mm/s	37 °C	Ninguno	Normal
		Transmisión	0.9 mm/s	1.4 mm/s	47 °C	Ninguno	Normal
		Freno Delantero	1.5 mm/s	0.5 mm/s	36 °C	Ninguno	Normal
	Giro Delantero LH	Ventilador	1.3 mm/s	0.5 mm/s	45 °C	Ninguno	Normal
		Motor de Giro 960rpm	1.4 mm/s	0.6 mm/s	36 °C	Ninguno	Normal
		Transmisión	1.4 mm/s	1.6 mm/s	50 °C	Ninguno	Normal
		Freno Delantero	1.6 mm/s	0.4 mm/s	36 °C	Ninguno	Normal
	Giro Posterior	Ventilador	0.9 mm/s	0.7 mm/s	41 °C	Ninguno	Normal
		Motor de Giro 960rpm	0.9 mm/s	0.4 mm/s	31 °C	Ninguno	Normal
		Transmisión	0.6 mm/s	0.5 mm/s	47 °C	Ninguno	Normal
		Freno Posterior	1.1 mm/s	0.5 mm/s	32 °C	Ninguno	Normal
Sistema de Izar	Izar Delantero	Ventilador	0.4 mm/s	0.7 mm/s	50 °C	Ninguno	Normal
		Motor Delantero	2.5 mm/s	2.2 mm/s	47 °C	Ninguno	Normal
		Transmisión	5.5 mm/s	7.2 mm/s	45 °C	Ninguno	Normal
	Freno Delantero	4.9 mm/s	8.1 mm/s	83 °C	La Temperatura en el Freno de la Transmisión de Izar Delantero se encuentra elevada 83°C y la vibración ligeramente elevada. Se sugiere evaluar componente, posible desgaste de elementos internos – regular Freno Delantero. Revisar sistema neumático, líneas, válvulas, presión. <b>AVISO: 1000102536</b>	Alerta	
	Izar Posterior	Ventilador	0.4 mm/s	0.3 mm/s	41 °C	Ninguno	Normal
		Motor Posterior	8.8 mm/s	3.8 mm/s	38 °C	Vibración ligeramente elevada en el rodamiento lado acople del motor. Como medida preventiva se sugiere revisar su correcta lubricación a los rodamientos del motor transmisión de izar posterior. Así mismo verificar estado – condición del acople. <b>AVISO: 1000102537</b>	Alerta
		Transmisión	7.8 mm/s	12.6 mm/s	47 °C	La vibración en el eje piñón de entrada primera reducción de al transmisión de izar posterior se ha incrementado encontrándose en el límite de alerta. Como medida preventiva se sugiere evaluar ajustes – tolerancias - precargas en los rodamientos del piñón de entrada. <b>AVISO: 1000102538</b>	Alerta

Tambor Izaje	Freno Posterior	4.3 mm/s	7.0 mm/s	49 °C	Ninguno	Normal
	Tambor	4.9 mm/s	4.1 mm/s	40 °C	Ninguno	Normal
Sistema de Empuje	Ventilador Empuje	3.7 mm/s	2.0 mm/s	41 °C	Ninguno	Normal
	Motor Eléctrico 883rpm	7.7 mm/s	9.9 mm/s	30 °C	Ninguno	Normal
	Transmisión	6.1 mm/s	4.1 mm/s	46 °C	Ninguno	Normal
	Freno Empuje	4.8 mm/s	3.3 mm/s	37 °C	Ninguno	Normal
Compresor	Motor	1.0 mm/s	0.9 mm/s	47 °C	Ninguno	Normal
	Compresor	2.7 mm/s	1.1 mm/s	78 °C	Ninguno	Normal

**Nota:** ND (No disponible)

Fuente: Elaboración propia.

Para más detalles sobre como efectuar el análisis de vibraciones, refiérase al procedimiento de toma de vibraciones de la pala, en la parte de anexos.

### 5.1.3.2. Termografía infrarroja

El monitoreo mediante la termografía infrarroja es una tarea que se realiza con el equipo en operación normal y solo en la sala de máquinas, las coordinaciones de ingreso se realizan con el personal de operaciones mina y en campo.

La duración de la tarea de monitoreo se realiza aproximadamente en 1 hora y adicionalmente, a la toma de temperaturas, se efectúa una inspección visual/sensorial de componentes que puedan dar manifiesto de algún síntoma de falla.

Este monitoreo se realiza con tres inspectores, con una cámara termográfica Flir E60.



Figura N°13. Cámara termográfica Flir E60

Cada inspector debe identificar los siguientes puntos de inspección:

- Sistema de giro

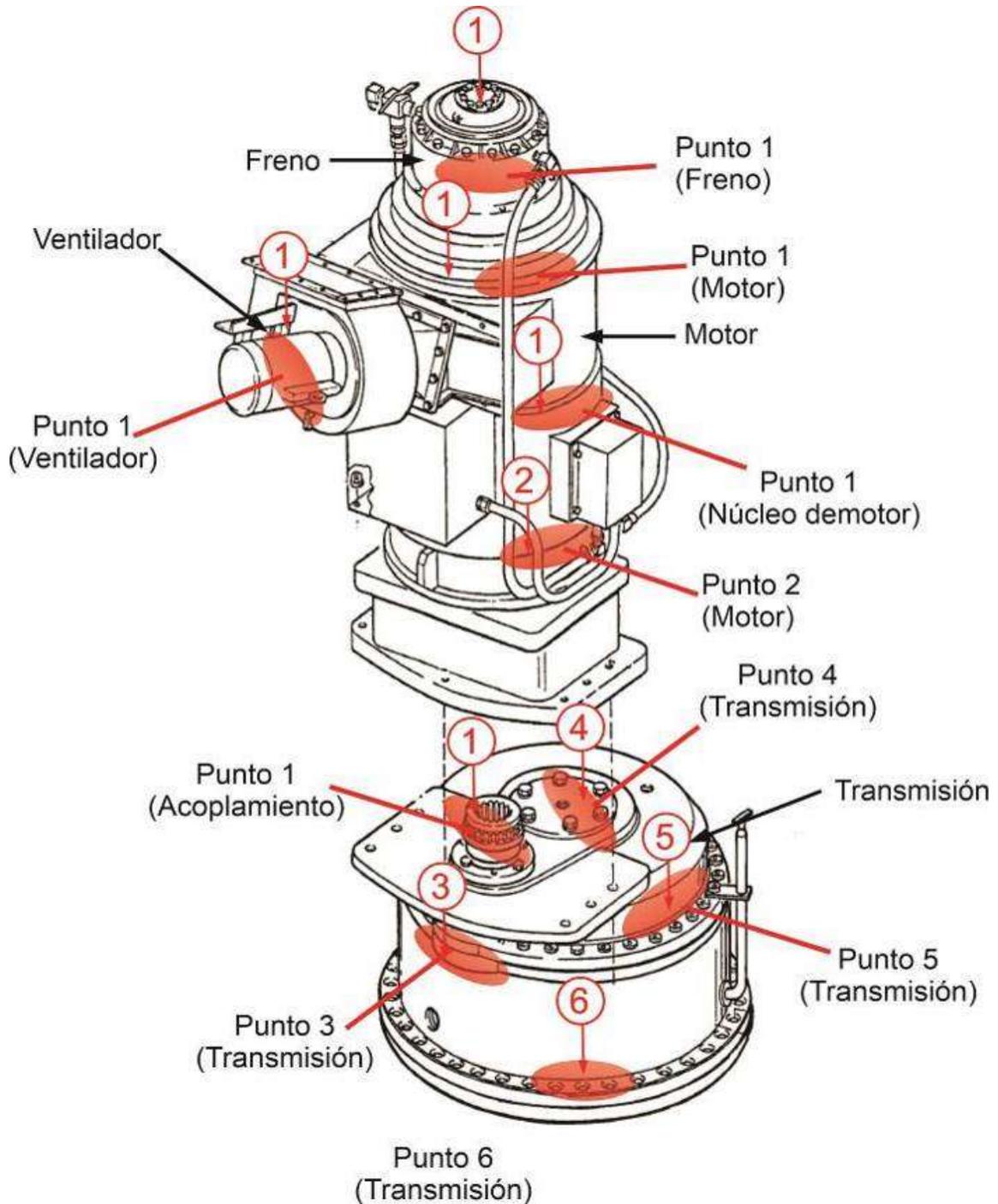


Figura N°14. Ubicación de puntos de medición en sistema de giro (Delantero - posterior)

- Sistema de izar

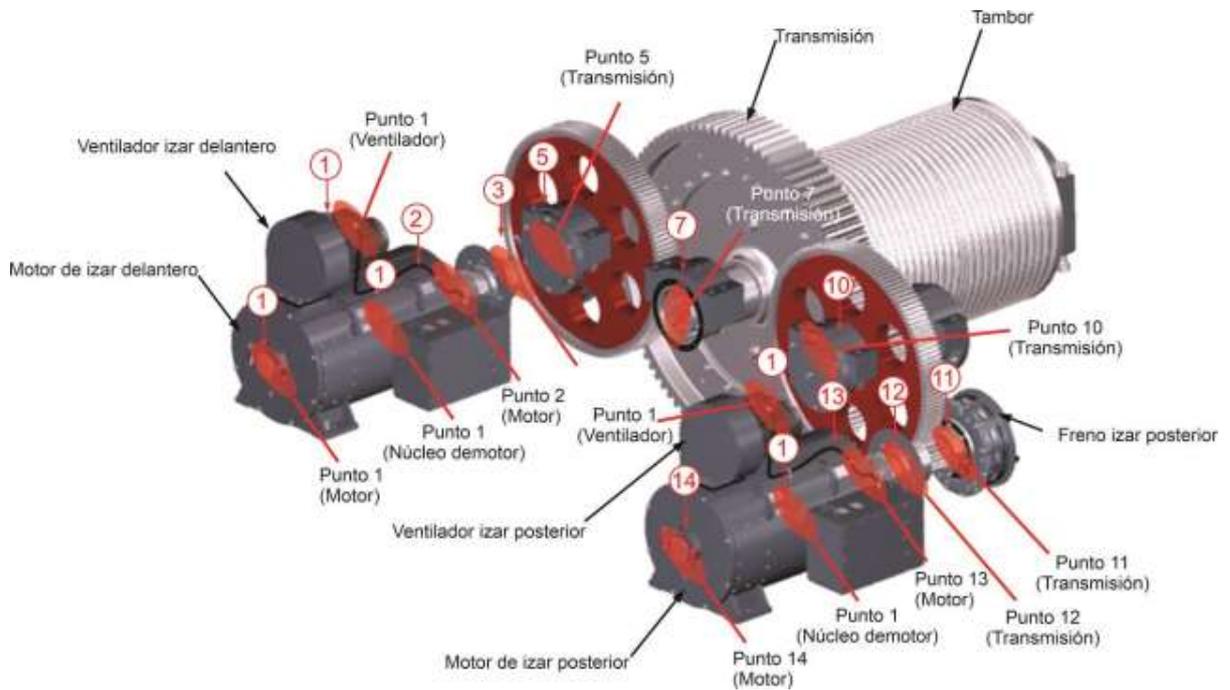


Figura N°15. Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado libre)

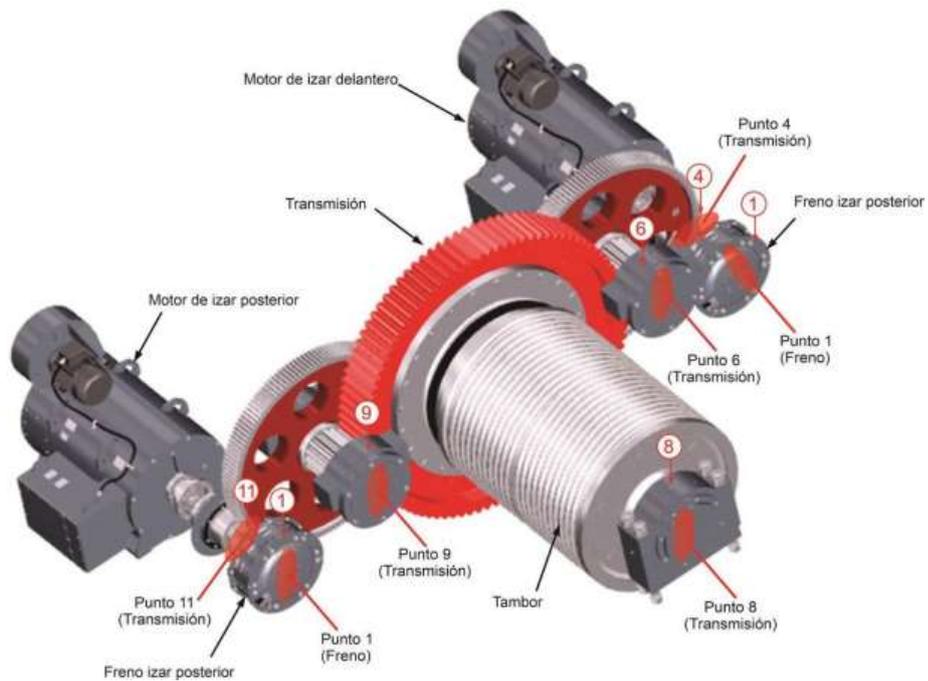


Figura N°16. Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado tambor)

Posterior al monitoreo por termografía infrarroja de los puntos monitoreados, se emite un reporte que sintetiza la condición del equipo y es enviado a los departamentos involucrados para su acción correctiva.

**INFORME TECNICO**  
**MBC THERMOGRAFIA INFRARROJA - VISUAL P&H 4100XPC**  
 OPERACION MINERA

**1. DATOS GENERALES:**

Nombre del Informe:	Inspección Visual y Temperaturas de Pala 7
Para:	Taller de Palas, Lubricación, Eléctrico.
Elaborado por:	Mantenimiento Predictivo
AREA:	Mantenimiento Fecha de Inspección 23.08.2019

**2. SISTEMA DER IZAR**

Datos	Descripción
Componente:	Caja de Izar
Equipo:	PALA P&H 4100XPC
Horas de la caja de izar:	38.865 horas
Horas del Acople:	2.173 horas

**3. TEMPERATURA S:**



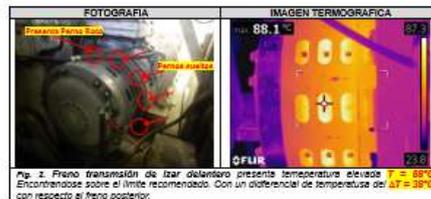
**INFORME TECNICO**  
**MBC THERMOGRAFIA INFRARROJA - VISUAL P&H 4100XPC**  
 OPERACION MINERA

**4. REGISTRO GRAFICO:**

**4.1.- Acoplamiento transmisión de izar delantero:**



**4.2.- Freno transmisión de izar delantero:**



**5. RECOMENDACIONES:**

- Se recomienda lubricar acoplamiento de sistema de izar delantero y verificar condición de sellos e inspección de componentes internos, para descartar daños.
- Se recomienda realizar el ajuste de elementos de fijación de freno de izar delantero; así como, la regulación de componentes internos.
- Se recomienda un monitoreo posterior a las recomendaciones realizadas.

Figura N°17. Reporte de termografía infrarroja

Para más detalles sobre como efectuar el monitoreo por termografía infrarroja, refiérase al procedimiento de monitoreo por termografía infrarroja de la pala P&H 4100XPC, en la parte de anexos.

**5.1.3.3. Ultrasonido**

La aplicación de esta técnica se realizar en los ejes más importante de la pala y que están sometidos a desgaste y esfuerzos, que pudieran provocar su falla. Esta inspección se realiza durante cada PM (programa de mantenimiento preventivo) de 300 horas y en coordinación con el personal de mantenimiento mecánico de la sección de palas, para la apertura de los ejes que pudieran tener tapas de protección.

La inspección se realiza con el equipo de ultrasonido Epoch 1000i, adicionalmente deberá usar un medio acoplante para la inspección.



Figura N°18. Equipo de ultrasonido Epoch 1000i

El personal asignado para el monitoreo, deberá de realizar la configuración y calibración del instrumento, para cada uno de los ejes a inspeccionar; así mismo deberá de ubicar en el equipo, los puntos de inspección según la frecuencia establecida en el programa de mantenimiento

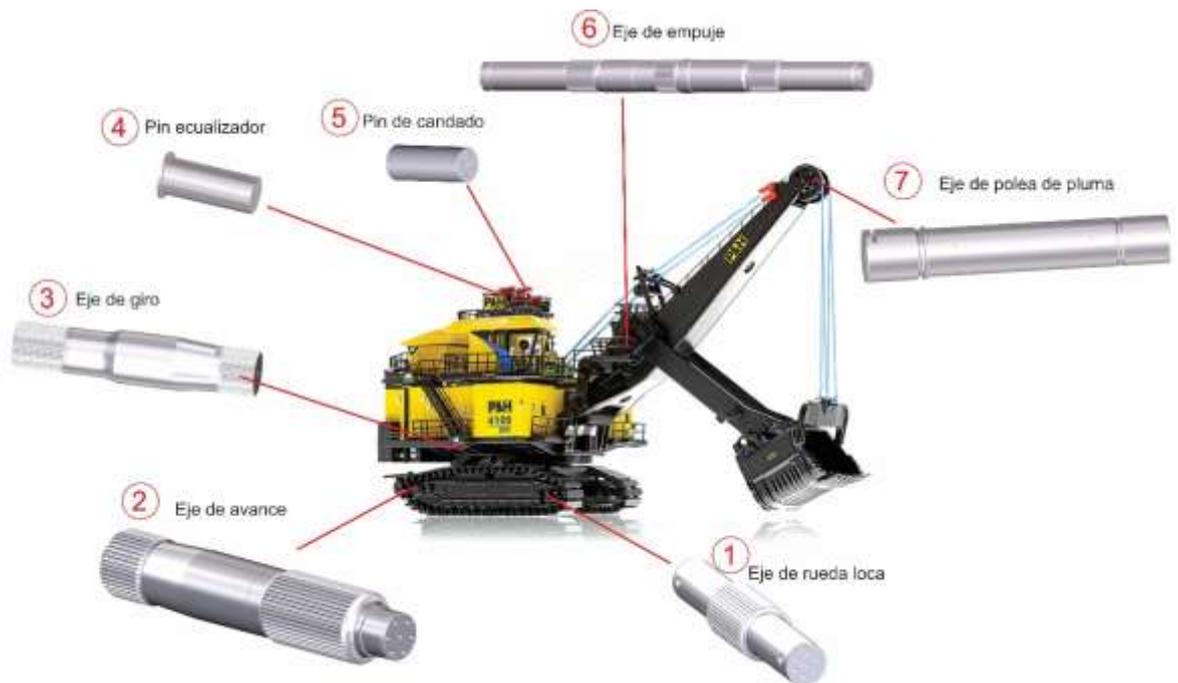


Figura N°19. Puntos de inspección UT de ejes de pala

Finalizado la inspección el personal deberá de registrar los valores de discontinuidades encontradas y emitir el reporte correspondiente, donde se resume la condición de los ejes y posteriormente lo enviará a los departamentos involucrados para su acción correctiva.

**Tabla 10. Reporte de UT de ejes de Pala P&H4100XPC**

<b>INSPECCIÓN DE ULTRASONIDO</b>				
<b>Pala 7 - P&amp;H 4100XPC</b>				
<b>Fecha de Inspección :</b> 02 de Agosto del 2018				
<b>Componente :</b> Ejes de ruedas locas, Ejes de Avance, Eje de Giro, Pines y etc.				
<b>Motivo :</b> Inspección UT para detectar fisuras, desgastes				
Componente	Frecuencia	Inspección	Observaciones	Condición
Eje de rueda loca derecho.	1mes	3	Ninguna. (Última Inspección 08 de Agosto del 2018). Se cambió eje y rueda el 04 de Abril del 2018.	Normal
Eje de rueda loca izquierdo.	1mes	3	Ninguna. (Última Inspección 08 de Agosto del 2018). Se cambió eje y rueda el 04 de Abril del 2018.	Normal
Eje de Avance Derecho	6 meses	3	Ninguna. Se cambio Eje el 20 de Marzo del 2018	Normal
Eje de Avance Izquierdo	6 meses	3	Ninguna. Se cambio Eje el 20 de Marzo del 2018	Normal
Eje de Giro Delantero Derecho	6 meses	3	Ninguna. (Se cambio: 20 de Marzo del 2018)	Normal
Eje de Giro Delantero Izquierdo	6 meses	3	Ninguna. (Se cambio: 20 de Marzo del 2018)	Normal
Eje de Giro Posterior	6 meses	3	Ninguna. (Última Inspección 08 de Agosto del 2019).	Normal
Pines Equalizadores RH	1mes	3	Ninguna. (Última Inspección 08 de Agosto del 2019).	Normal
Pines Equalizadores LH	1mes	3	Ninguna. (Última Inspección 08 de Agosto del 2019).	Normal
Eje de Polea Pluma	6 meses	3	Ninguna. (Última Inspección 20 de julio del 2018)	Normal
Eje de Empuje	12 meses	3	Ninguna. (Última Inspección 20 de Julio del 2018)	Normal
Pin de Caja de izar Delantero	1mes	3	Ninguna. (Última Inspección 08 de Agosto del 2019).	Normal
Pin de Caja de izar Posterior	1mes	3	Ninguna. (Última Inspección 08 de Agosto del 2019).	Normal

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.3.4. Análisis de aceite

El análisis de aceite, es un análisis de resultados que fueron extraídos de los procesos de análisis de viscosidad, conteo de partículas, análisis de metales, PQ, etc., que se realiza en el laboratorio de análisis de aceite de la unidad operativa, con el fin de determinar la condición de los componentes de la pala PY& 4100XPC.



*Figura N°20.* Laboratorio de análisis de aceite

Estos valores son analizados para determinar alguna desviación en su condición normal o un excedente de los límites permisibles establecidos para cada componente. En este reporte se considera el componente, las horas del componente, las horas de vida del aceite, los elementos presentes en este, la viscosidad, condición de aditivos; así como, el registro de las últimas cinco mediciones realizadas, para verificar su tendencia en el tiempo y además del diagnóstico según su condición.

Tabla 11. Reporte de análisis de aceite de pala P&H 4100XPC

REPORTE ANÁLISIS DE ACEITE																															
PAC07 - P&H 4100XPC																															
COMPONENTE	FECHA	Hrs. COMP.	Hrs. ACEITE	ELEMENTOS DE DESGASTE								VISC (cSt)	PQ	ANÁLISIS	ADITIVOS																
				Fe (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Cr (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)	Na (ppm)				B (ppm)	Ba (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	P (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)	Sb (ppm)	Cd (ppm)	K (ppm)	Mn (ppm)	Li (ppm)	Ag (ppm)	
Compresor	20190501	4675	4675	1	0	0	0	0	1	3	73	33	4	Contenido elevado de Na 73ppm, mostrando una tendencia creciente. Posible exceso de condensado. Inspeccionar la válvula de purga.	0	2	4	1	0	0	154	0	0	41	0	0	3	0	0		
	20190401	4136	4137	1	0	0	0	0	1	2	26	33	3		0	15	5	3	0	0	171	0	0	55	1	0	5	1	0	0	
	20190308	3716	3717	1	0	0	0	0	0	0	0	22	34		4	0	5	5	2	0	0	136	0	0	44	0	0	4	0	0	0
	20190220	3392	3393	1	0	3	0	0	0	0	0	17	35		4	0	5	3	2	0	0	159	0	0	39	0	0	3	0	0	0
	20190204	3122	3123	1	0	1	0	0	0	0	0	13	33		3	0	5	2	1	1	0	149	0	0	23	0	0	2	0	0	0
Caja de Avance Derecho	20190501	3673	3673	55	1	0	0	1	0	3	0	319	141	Ok.Ninguno	0	1	1	2	0	0	439	0	0	2	0	0	0	0	0	0	
	20190401	3134	3134	58	1	0	0	0	0	3	0	324	101		0	1	1	2	0	0	482	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
	20190308	2714	2714	49	1	0	0	0	0	3	0	325	118		0	1	1	3	0	0	396	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0
	20190220	2390	2390	53	1	0	0	1	0	3	0	326	94		0	1	1	3	0	0	430	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
	20190204	2120	2120	49	1	0	0	1	0	2	0	324	104		0	1	1	3	0	0	406	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Caja de Avance Izquierdo	20190501	32123	6354	44	0	0	1	0	1	12	1	329	59	Ok.Ninguno	0	0	1	2	0	0	483	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
	20190401	31584	5815	40	0	0	0	0	1	11	1	332	58		0	0	1	2	0	0	483	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	20190308	31164	5395	32	0	0	0	0	0	9	1	332	44		0	0	0	3	0	0	393	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	20190220	30840	5071	34	0	0	0	0	0	9	1	332	48		0	0	0	3	1	0	433	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	20190204	30570	4801	32	0	0	0	0	0	8	1	332	38		0	0	0	2	0	0	419	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Caja de Giro Derecho	20190501	2295	2295	9	1	0	0	0	0	3	1	334	10	Ok.Ninguno	0	0	1	1	0	0	445	0	0	15	0	0	2	0	13	0	
	20190401	1756	1756	10	1	0	0	0	0	4	1	326	9		0	0	1	1	0	0	489	0	0	19	3	0	2	1	12	0	0
	20190308	1336	1336	7	0	0	0	0	0	3	1	333	8		0	0	1	2	0	0	409	0	0	12	0	0	1	0	13	0	0
	20190221	1012	1012	14	1	1	0	0	0	3	1	343	11		0	0	0	2	0	0	451	0	0	21	3	0	2	0	21	0	0
	20190220	742	742	6	0	1	0	0	0	3	1	336	10		0	0	0	2	0	0	471	0	0	12	0	0	1	0	10	0	0
Caja de Giro Izquierdo	20190501	2295	2295	3	0	0	0	0	0	2	1	327	1	Ok.Ninguno	0	0	1	3	0	0	464	0	0	3	0	0	0	0	4	0	
	20190401	1756	1756	4	0	0	0	0	0	3	1	327	4		0	0	1	3	0	0	495	0	0	6	0	0	0	1	6	0	0
	20190308	1336	1336	4	0	0	0	0	0	3	1	338	7		0	0	1	4	0	0	401	0	0	3	0	0	0	1	5	0	0
	20190221	1012	1012	3	0	0	0	0	0	2	0	326	5		0	0	0	4	0	0	437	0	0	3	1	0	0	0	6	0	0
	20190220	742	742	5	0	1	0	0	0	4	1	334	742		0	0	0	4	0	0	474	0	0	3	3	0	0	0	5	0	0
Caja de Giro Posterior	20190501	13256	3341	1	0	1	0	0	0	2	0	327	5	Ok.Ninguno	0	0	1	1	0	0	465	0	0	3	0	0	0	0	0	0	
	20190401	12717	2802	1	0	0	0	0	0	3	0	331	4		0	0	1	1	0	0	483	0	0	4	3	0	0	1	0	0	0
	20190308	12297	2382	2	0	0	0	0	0	2	0	329	6		0	0	2	2	0	0	404	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
	20190220	11973	2058	1	0	1	0	0	0	2	0	329	6		0	0	1	1	1	0	430	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0
	20190204	11703	1788	1	0	1	0	0	0	1	0	328	3		0	0	1	1	1	0	420	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0
Caja de Izar	20190501	33245	6703	8	0	0	0	0	0	1	0	330	11	Ok.Ninguno	0	0	1	2	6	0	498	0	0	6	0	0	0	0	5	0	
	20190401	32706	6164	5	0	0	0	0	0	1	0	332	8		0	0	0	2	3	0	468	0	0	4	2	0	0	0	5	0	0
	20190308	32286	5744	8	0	0	0	0	0	1	0	330	11		0	0	0	2	8	0	393	0	0	5	0	0	0	0	6	0	0
	20190220	31962	5420	7	0	0	0	0	0	1	0	333	11		0	0	0	1	7	0	446	0	0	5	0	0	0	0	6	0	0
	20190204	30570	5150	5	0	1	0	0	0	1	0	330	10		0	0	0	1	4	0	442	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0
Caja de Empuje	20190501	619	539	14	9	0	0	0	1	7	1	331	171	Repentido incremento del índice ferroso PQ 171. Enviar nueva muestra para corroborar resultados.	0	0	1	5	0	0	442	0	0	2	0	0	1	0	0	0	
	20190401	80	80	21	13	0	1	0	1	2	0	334	9		0	0	1	2	1	0	448	0	0	3	0	0	0	1	1	0	0
	20190308	31164	2914	17	9	0	0	0	1	2	1	333	9		0	0	1	3	1	0	405	0	0	3	0	0	0	1	1	0	0
	20190220	30840	2590	13	6	1	0	0	0	2	0	334	9		0	0	0	3	1	0	433	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0
	20190204	30570	2320	3	18	0	0	0	1	1	0	334	5		0	0	0	3	2	0	406	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0

CONDICION	
CRITICO	
OBSERVACION	X
NORMAL	

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Prueba y resultado

Según el análisis de disponibilidad de los datos extraídos del sistema de registro de eventos de la pala P&H4100XPC (SIO), del periodo 2017, podemos ver que la disponibilidad promedio es de 91.39% y que el tiempo concerniente a al mantenimiento no programado tiene picos superiores a las 50 horas (enero, mayo, junio, julio, octubre).

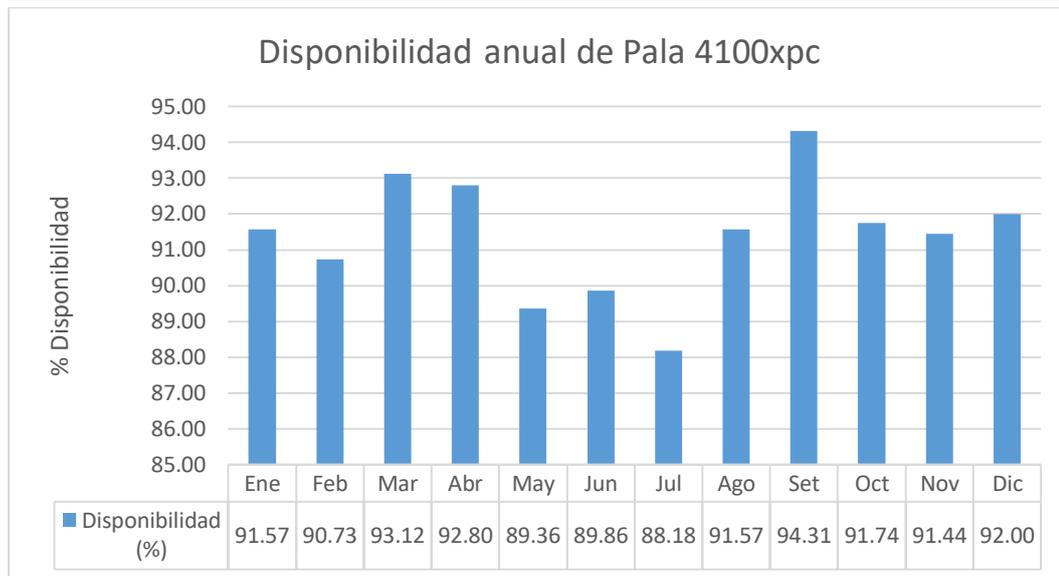
**Tabla 12.** Análisis anual de indicadores de Pala P&H 4100XPC- 2017

ANÁLISIS ANUAL DE INDICADORES (Fuente de datos: SIO) Año: 2017 Equipo: Pala 4100XPC								
Equipo	Mes	Disponibilidad (%)	MtoPrg (hr)	MtoNoPrg (hr)	MTTR (hr)	MDT (hr)	MTBF (hr)	MTBS (hr)
P&H 4100XPC	Ene	91.57	11.54	51.16	1.00	1.18	13.36	12.85
	Feb	90.73	21.03	43.50	1.21	1.61	17.54	15.79
	Mar	93.12	25.57	25.60	0.80	1.38	21.65	18.72
	Abr	92.80	22.32	29.55	0.67	1.08	15.18	13.92
	May	89.36	18.39	60.74	1.19	1.47	13.04	12.31
	Jun	89.86	13.87	59.14	1.18	1.33	12.94	11.76
	Jul	88.18	21.51	66.43	1.48	1.72	14.58	12.86
	Ago	91.57	23.93	38.82	0.61	0.91	10.64	9.87
	Set	94.31	13.80	27.14	0.75	1.02	18.86	16.98
	Oct	91.74	10.58	50.86	0.96	1.01	12.88	11.19
	Nov	91.44	24.65	36.96	0.90	1.31	16.06	14.01
	Dic	92.00	26.84	32.68	0.93	1.45	19.56	16.69
<b>Total</b>	<b>2018</b>	<b>91.39</b>	<b>234.02</b>	<b>522.58</b>	<b>0.97</b>	<b>1.27</b>	<b>14.92</b>	<b>13.47</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con la implementación del plan de monitoreo basado en la condición, se busca incrementar la disponibilidad para obtener un valor de 95% y reducir significativamente los mantenimientos no programados, por acción de fallas imprevistas en los sistemas monitoreados.

**Gráfico 10.** Disponibilidad anual – 2017 de Pala P&H 4100XPC



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, con el plan de monitoreo basado en la condición presentado, buscamos evitar que ocurran las fallas imprevistas de componentes y así evitar el impacto económico que esto acarrea, como por el ejemplo el caso de falla de la transmisión de avance que fluctúa por encima de los 900 mil dólares.

No obstante, este plan de monitoreo basado en la condición no podrá ser efectivo, si no se tiene el compromiso de la gerencia de mantenimiento y apoyo mutuo de los departamentos asociados al mantenimiento de la pala P&H 4100 XPC, para realizar un ajuste y mejora en el tiempo.

Es importante reconocer que el personal encargado de realizar el monitoreo y diagnóstico debe estar en constante capacitación y familiarización de las condiciones del equipo, para ser más certeros en sus diagnósticos y recomendaciones oportunas.

Sabemos que la tecnología necesaria para realizar el monitoreo basado están en constante evolución; así como, los métodos para realizar el un diagnóstico oportuno y con mayor precisión, como es el caso del Monitoreo de vibraciones Online, que permite evaluar un equipo sin necesidad de detenerlo, evitando así el costo por detener el equipo; o el caso de monitoreo por ultrasonido de contacto, en el cual tenemos un método de arreglo de fases que permite obtener un barrido acorde a la necesidad de la zona inspección para una mejor visualización de indicaciones en el material inspeccionado.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** De la evaluación técnico económica realizada entre tres alternativas de solución, se obtuvo una ponderación mayor para la propuesta de monitoreo basado en la condición, tanto en la evaluación técnica y en la evaluación económica, obteniéndose una puntuación de 144 puntos y un valor técnico de 0.86, según la matriz del VDI2225, con criterios de valuación modificados acorde a las propuestas planteadas. Por lo cual, se elaboró un plan de monitoreo basado en la condición en la que se detalla las actividades a realizar; así como, la técnica de monitoreo (análisis vibracional, termografía infrarroja, ultrasonido y análisis de aceite.), la cantidad de personas, tiempo de duración y una frecuencia de monitoreo, incluido dentro de este tiempo la emisión de reportes de cada inspección; como también, el tiempo estimado en el traslado y las coordinaciones por cada actividad, de los sistemas más críticos de la pala.

**SEGUNDA:** Según el diseño del plan de monitoreo basado en la condición, no es posible precisar una sola técnica de monitoreo como la adecuada, para replicar en todos los sistemas de potencia; sino que, para lograr el monitoreo de todos los sistemas de una manera oportuna, se necesita de la combinación de diferentes técnicas, como las propuestas (análisis vibracional, termografía infrarroja, ultrasonido y análisis de aceite); para un complemento adecuado y poder tener un mejor diagnóstico de la condición que se evidencia.

**TERCERA:** La pala P&H 4100 XPC es la pala más crítica dentro de nuestro universo de equipos de extracción de mineral, llegando a generar una pérdida de producción de 8,869 US\$/hora; por tal, se propuso una frecuencia de inspección mensual para las tareas de monitoreo basado en la condición, teniendo en cuenta que la actividad de monitoreo de vibraciones, es la tarea que necesita que el equipo deje de producir por más tiempo (1.5 horas); traduciéndose así, como un gasto operativo de 13,303.50 US\$ por el monitoreo mensual.

**CUARTA:** El plan de monitoreo basado en la condición de la pala P&H 4100 XPC, es un plan que puede ser aplicado desde su propuesta; puesto que, se cuenta con la tecnología necesaria; así como, los recursos humanos existentes en el departamento de mantenimiento predictivo de la unidad operativa. Siendo el costo de inversión mínimo para la puesta en ejecución.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se debe implementar el plan de monitoreo basado en la condición en aras de incrementar la disponibilidad para obtener un valor de 95%, lo que permitirá reducir significativamente los mantenimientos no programados por acción de fallas imprevistas en los sistemas monitoreados; evitando la ocurrencia de fallas imprevistas de componentes y reduciendo el impacto económico.

**SEGUNDA:** Se requiere el compromiso de la gerencia de mantenimiento y apoyo mutuo de los departamentos asociados al mantenimiento de la pala P&H 4100 XPC, para realizar un ajuste y mejora en el tiempo.

**TERCERA:** El personal encargado de realizar el monitoreo y diagnóstico debe estar en constante capacitación y familiarización de las condiciones del equipo, para ser más certeros en sus diagnósticos y recomendaciones oportunas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMENDOLA L. (2016). *Gestión integral de Activos físicos*. Asociación española de mantenimiento. España: Editorial PMM

ARÓSTEGUI GUILLÉN, Benjamín Carlos. (2014). *Diseño de un plan de monitoreo de condiciones para reducir los costos de mantenimiento en la flota de cargador frontal 962H Caterpillar*. (Tesis para optar el título de Maestro en ingeniería). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

DUFFUAA, S., RAOUF A. y Dixon, J. (2000). *Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control*. Mexico, D.F.: Editorial Limusa S.A.

GARCÍA S. (2009). *Mantenimiento Predictivo – Técnicas de Mantenimiento Condicional Basadas en la Medición de Variables Físicas*. Madrid: Editorial Renovetec.

MOUMBRA Y, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la confiabilidad*. Madrid, España: Ellmann, Sueiro y asociados.

PAZ Chinchón, Vicente José. (2017). *Diseño y la aplicación de una metodología basada en escala de madurez para la evaluación y el mejoramiento del mantenimiento en la flota de carguío de la empresa minera*. (Memoria de titulación para optar al título de ingeniero civil mecánico). Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.

RIQUELME Hernández, Marcel Alberto (2013). *Proyecto en monitoreo de condición para mantenimiento predictivo de palas electromecánicas*. (Memoria para optar al título de ingeniero civil electricista). Chile: Universidad de Chile.

TECSUP. (2007). *Mantenimiento predictivo*. Arequipa, Perú: TECSUP.

TELLO CASTRO, Guadalupe Esmeralda; ESPINOZA VILLAORDUÑA, Edwin Jonathan. (2016). *Implementación del programa de tribología centrada en la confiabilidad para mejorar la productividad de las palas PC4000 en la minera Miski Mayo*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero industrial). Perú: Universidad Privada del Norte.

WHITE, G. (2010). *Introducción al análisis de vibraciones*. USA: Azima DLI.

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
<p><b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>- ¿El diseño de un plan de monitoreo basado en la condición de una pala eléctrica P&amp;H 4100XPC permitirá evitar el impacto económico por paradas imprevistas en los sistemas de potencia?</p> <p><b>FORMULACIÓN DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>- ¿Con el diseño de un plan de monitoreo se podrá analizar e identificar que técnica basado en la condición será apropiada para monitorear los sistemas de potencia de una pala eléctrica P&amp;H 4100XPC?</p> <p>- ¿El diseño de un plan de monitoreo permitirá evaluar la frecuencia de monitoreo basado en la condición hacia los sistemas de la pala eléctrica P&amp;H 4100XPC?</p> <p>- ¿El diseño de un plan de monitoreo permitirá mejorar las competencias de los colaboradores que estén a cargo del monitoreo basado en la condición de una pala eléctrica P&amp;H 4100XPC?</p> <p>- ¿El diseño de un plan de monitoreo permitirá realizar una estimación del inversión para la puesta en marcha de un plan de monitoreo basado en la condición en una pala eléctrica P&amp;H 4100XPC?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>- Diseñar un plan de monitoreo basado en la condición (CMB) de una pala eléctrica P&amp;H 4100xpc en la unidad operativa del sur del Perú, para evitar pérdidas por paradas imprevistas.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>- Analizar e identificar que técnica basado en la condición es la más apropiada para el monitoreo basado en la condición que se pueden utilizar en los sistemas de potencia de una pala eléctrica P&amp;H 4100XPC.</p> <p>- Evaluar y determinar la frecuencia de monitoreo basado en la condición de la pala eléctrica P&amp;H 4100XPC.</p> <p>- Realizar una estimación de la inversión para la puesta en marcha de un monitoreo basado en la condición en una pala eléctrica P&amp;H 4100XPC</p>	<p>El diseño de un plan de monitoreo basado en la condición de una pala eléctrica P&amp;H 4100XPC permitirá evitar el impacto económico por paradas imprevistas en los sistemas de potencia</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Plan de monitoreo basado en la condición</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frecuencia de falla de componentes</li> <li>- Costos por reparación</li> <li>- Tiempo promedio para reparar</li> <li>- Tiempo medio entre falla</li> <li>- Falla funcional</li> <li>- Modos de falla</li> <li>- Efecto de falla</li> <li>- Consecuencia de falla</li> </ul> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incremento de disponibilidad y confiabilidad de la pala eléctrica P&amp;H 4100 XPC</li> <li>- % Disponibilidad</li> <li>- % Utilización</li> <li>- % Productividad</li> <li>- % Eficiencia global</li> <li>- Costo de mantenimiento</li> <li>- Seguridad y medio ambiente</li> </ul>	<p>El presente estudio responde a los propósitos de diseño no experimental, de nivel descriptivo. Las unidades de observación estuvieron constituidas por siete palas eléctricas modelos P&amp;H 4100XPC, P&amp;H 2800 XPB, P&amp;H 4100 A, P&amp;H 4100 A+, BUCYRUS 495BII, BUCYRUS 495HR, de la unidad operativa del sur del Perú, que estuvieron operativas hasta agosto del año 2018. Se utilizó la técnica de observación monumental de campo directa, utilizando fichas de observación e instrumentos de medición. La fuente de información se obtuvo de datos primarios provenientes de la evaluación de los equipos en mención.</p>	<p>De la evaluación técnico económica realizada entre tres alternativas de solución, se obtuvo una ponderación mayor para la propuesta de monitoreo basado en la condición, tanto en la evaluación técnica y en la evaluación económica, obteniéndose una puntuación de 144 puntos y un valor técnico de 0.86, según la matriz del VDI2225, con criterios de valuación modificados acorde a las propuestas planteadas. Por lo cual, se elaboró un plan de monitoreo basado en la condición en la que se detalla las actividades a realizar; así como, la técnica de monitoreo (análisis vibracional, termografía infrarroja, ultrasonido y análisis de aceite.), la cantidad de personas, tiempo de duración y una frecuencia de monitoreo, incluido dentro de este tiempo la emisión de reportes de cada inspección; como también, el tiempo estimado en el traslado y las coordinaciones por cada actividad, de los sistemas más críticos de la pala.</p>

## Anexo 2. Instrumento de reporte de análisis de vibraciones

### REPORTE ANALISIS DE VIBRACIONES

Pala Nro. P&H 4100XPC

Fecha Inspección:

SISTEMA	COMPONENTE	Niveles Totales de Vibración		Temperatura °C	Comentarios	Condición	
		Velocidad					
		Radial	Axial				
Sistema Giro	Giro Delantero RH	Ventilador					
		Motor de Giro 960rpm					
		Transmisión					
		Freno Delantero					
	Giro Delantero LH	Ventilador					
		Motor de Giro 960rpm					
		Transmisión					
		Freno Delantero					
	Giro Posterior	Ventilador					
		Motor de Giro 960rpm					
		Transmisión					
		Freno Posterior					
Sistema de Izar	Izar Delantero	Ventilador					
		Motor Delantero					
		Transmisión					
		Freno Delantero					
	Izar Posterior	Ventilador					
		Motor Posterior					
		Transmisión					
		Freno Posterior					
	Tambor Izaje	Tambor					
	Sistema de Empuje	Ventilador Empuje					
Motor Eléctrico 883rpm							
Transmisión							
Freno Empuje							
Compresor	Motor						
	Compresor						

Nota: ND (No disponible)

### Anexo 3. Instrumento de termografía infrarroja

## INFORME TECNICO

# MBC TERMOGRAFIA INFRARROJA – VISUAL P&H 4100XPC

### OPERACIÓN MINERA

#### 1. DATOS GENERALES:

<b>Nombre del Informe:</b>	Inspección Visual y Temperaturas de Pala 7		
<b>Para:</b>	Taller de Palas, Lubricación, Eléctrico.		
<b>Elaborado por:</b>	Mantenimiento Predictivo		
<b>AREA</b>	Mantenimiento	<b>Fecha de Inspección</b>	

#### 2. SISTEMA DER IZAR

Datos	Descripción
Componente:	Caja de Izar
Equipo:	PALA P&H 4100PXC
Horas de la caja de izar:	
Horas del Aceite	

#### 3. TEMPERATURAS:

### SISTEMA DE IZAR

PUNTO ISP	TEMP °C	CONDICIÓN
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
Freno DL		
Freno TR		
Ventilador DL		
Ventilador TR		
Acople DL		
Acople TR		
Armadura Núcleo DL		
Armadura Núcleo TR		

**Anexo 4. Instrumento de reporte de análisis de ultrasonido**

**INSPECCIÓN DE ULTRASONIDO**  
**Pala 7 - P&H 4100XPC**

**Fecha de Inspección:**

**Componente :**

**Motivo :**

<b>Componente</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Inspección</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Condición</b>
Eje de rueda loca derecho.	<b>1mes</b>			
Eje de rueda loca izquierdo.	<b>1mes</b>			
Eje de Avance Derecho	<b>6 meses</b>			
Eje de Avance Izquierdo	<b>6 meses</b>			
Eje de Giro Delantero Derecho	<b>6 meses</b>			
Eje de Giro Delantero Izquierdo	<b>6 meses</b>			
Eje de Giro Posterior	<b>6 meses</b>			
Pines Equalizadores RH	<b>1mes</b>			
Pines Equalizadores LH	<b>1mes</b>			
Eje de Polea Pluma	<b>6 meses</b>			
Eje de Empuje	<b>12 meses</b>			
Pin de Caja de izar Delantero	<b>1mes</b>			
Pin de Caja de izar Posterior	<b>1mes</b>			

**Anexo 5. Instrumento de reporte de análisis de aceite**

REPORTE ANÁLISIS DE ACEITE																											
PAC07 - P&H 4100XPC																											
COMPONENTE	FECHA	Hrs. COMP.	Hrs. ACEITE	ELEMENTOS DE DESGASTE								VISC (cSt)	PQ	ANÁLISIS	ADITIVOS												
				Fe (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Cr (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)	Na (ppm)				B (ppm)	Ba (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	P (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)	Sb (ppm)	Cd (ppm)	K (ppm)
Compresor																											
Caja de Avance Derecho																											
Caja de Avance Izquierdo																											
Caja de Giro Derecho																											
Caja de Giro Izquierdo																											
Caja de Giro Posterior																											
Caja de Izar																											
Caja de Empuje																											

CONDICION	
CRITICO	
OBSERVACION	
NORMAL	

## Anexo 6. Monitoreo de Vibraciones de pala P&H 4100 XPC

	<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>	N°: MNT-MPD-0001
	<b>MONITOREO DE VIBRACIONES DE PALA P&amp;H 4100 XPC</b>	Fecha: 04.07.2019
		Rev.: 00.0
		Página: 61 de 83
		Autor: E.A.C.

### SISTEMAS DE POTENCIA DE PALA P&H 4100 XPC

<b>EQUIPO:</b>	P&H 4100XPC	<b>SISTEMA:</b>	Transmisión	<b>COMPONENTE:</b>	Motor - Reductor	<b>TIEMPO:</b>	6.0 hrs.
<b>TIPO MTTO:</b>	MPD	<b>DISCIPLINA:</b>	MBC	<b>ESTADO:</b>	Movimiento	<b>N° INSPECTORES:</b>	3

	Ítem	Descripción	Cód. SAP	Cant	Un	
<b>Equipo</b>	01	Equipo colector analizador de vibraciones portátil		1	Eqp.	
	02	Pirómetro infrarrojo		1	Eqp.	
	03	Cartilla de inspección		1	Und.	
<b>herramienta.</b>	01	Brocha		1	Und.	
	02	-		-	-	
	03	-		-	-	
<b>Material</b>	01	Trapo Industrial		0.125	Kg.	
	02	-		-	-	
	03	-		-	-	

### N° CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PARA EL MONITOREO

IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	RIESGOS ASOCIADOS
	
<small>CASCO DE SEGURIDAD    LENTES DE SEGURIDAD    ZAPATOS DE SEGURIDAD    GUANTES DE CUERO    PROTECTOR AUDITIVO    RESPIRADOR</small>	<small>CAIDA A DISTINTO NIVEL    GOLPES CON HERRAMIENT.    INHALACIÓN POLVO    ATRAPAMIENTO    CAIDAS AL MISMO NIVEL    ELECTROCUCIÓN</small>

<b>1.</b>	<b>Consideraciones de seguridad</b>	<div style="border: 2px solid red; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center; color: red; margin: 0;"><b>PELIGRO:</b></p> <p style="margin: 0;">El equipo se encuentra en movimiento, tomar las medidas necesarias de seguridad para realizar la tarea de monitoreo de vibraciones de los sistemas de accionamiento de la PALA P&amp;H 4100XPC.</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Solamente el personal de mantenimiento predictivo autorizado, puede realizar la tarea de monitoreo.</li> <li>Cuando las condiciones climatológicas sean adversas, tomar las acciones de mejora si fuera posible para efectuar las tareas correspondientes, llegando a controlar los riesgos.</li> <li>Usar los EPP en buen estado y acorde a la tarea de mantenimiento.</li> <li>Reunir a todo el personal involucrado cerca al punto de trabajo y retroalimentar las actividades a realizar.</li> <li>Identificar Peligros, Evaluar Riesgos y tomar las Medidas de Control.</li> <li>Obtener y firmar los permisos necesarios para proceder a realizar la tarea (Llenar IPERC, ATS y PETAR, formatos de seguridad correspondientes).</li> </ul>
-----------	-------------------------------------	---

## 2. Consideraciones de Medio Ambiente.

- Realizar el manifiesto de residuos peligrosos de sustancias y materiales utilizados, especialmente en las tareas de lubricación y en la limpieza con solventes de sistemas y dispositivos de lubricación.
- Desechar los residuos peligrosos obtenidos durante la tarea, según las normas ambientales y de seguridad de la unidad operativa

## DESARROLLO DE GAMA



### PELIGRO:

La tarea de monitoreo de vibraciones de la PALA P&H 4100XPC, solo se realizara cuando la pala se encuentre en una zona plana y sin inclinación.



### ADVERTENCIA:

Tomar las medidas de seguridad necesarias para llegar hacia donde se encuentra cada sistema de accionamiento, tener en cuenta que la pala eléctrica se encuentra energizada y en movimiento.

a) Identificar la ruta de inspección definida, esta tiene las siguientes prioridades:

- **Prioridad 1:** Sistema de giro (Sentido Horario a velocidad constante).
- **Prioridad 2:** Sistema de izar o levante (movimiento repetitivo a velocidad constante).
- **Prioridad 3:** Sistema de empuje (movimiento repetitivo a velocidad constante).



Cada sistema a monitoreo se realiza de manera independiente, según prioridad definida; para evitar errores en la colección de datos.

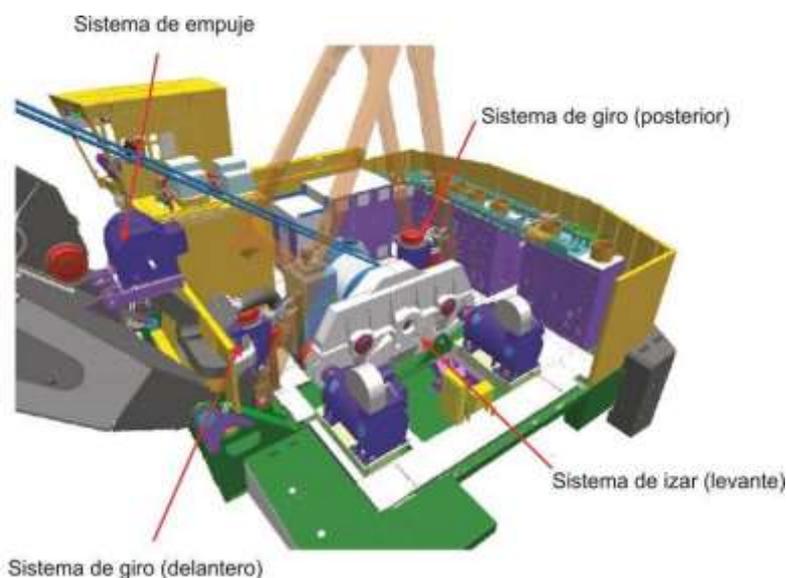


Figura N°1. - Ubicación de sistemas en sala de máquinas de pala P&H 4100XPC

### Sistema de Giro

b) Identificar los sistemas de giro para realizar la inspección (delantero y posterior)

- c) Verificar la accesibilidad de los puntos de inspección.
- d) Coordinar con el operador la secuencia de movimientos del sistema de giro.
- e) Colocar el acelerómetro en los puntos de medición V (Vertical), H (Horizontal) y A (Axial), en cada componente presente; correspondientes al sistema de giro delantero y posterior: **Ver Figura N°2 y Figura N°3.**
- f) Registrar las mediciones tomadas en los siguientes puntos:
  - Freno: 1V, 1H y 1A.
  - Motor de giro: 1V, 1H, 1A, 2V, 2H y 2A
  - Caja de transmisión: 3V, 3H, 3A, 4V, 4H, 4A, 5V, 5H, 5A, 6V, 6H y 6A
  - Ventilador de sistema de giro: 1V, 1H y 1A.

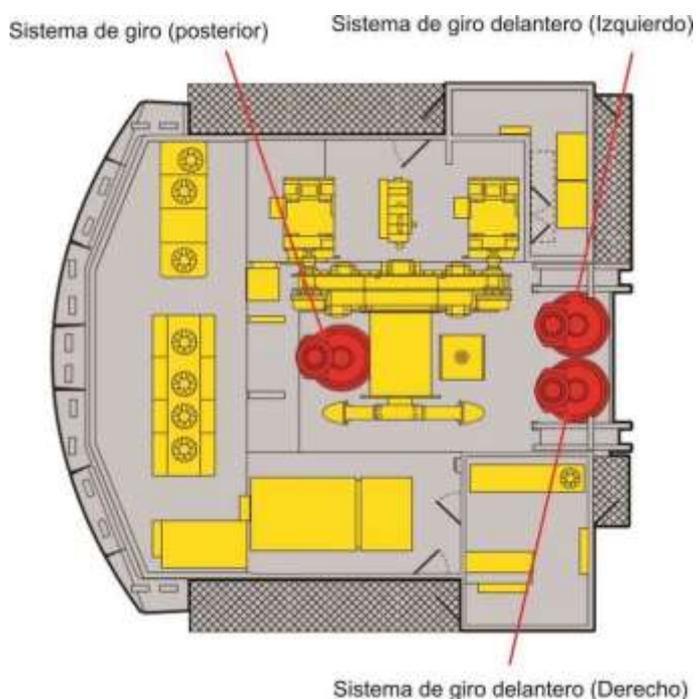


Figura N°2. - Ubicación de sistema de giro (Delantero - posterior)

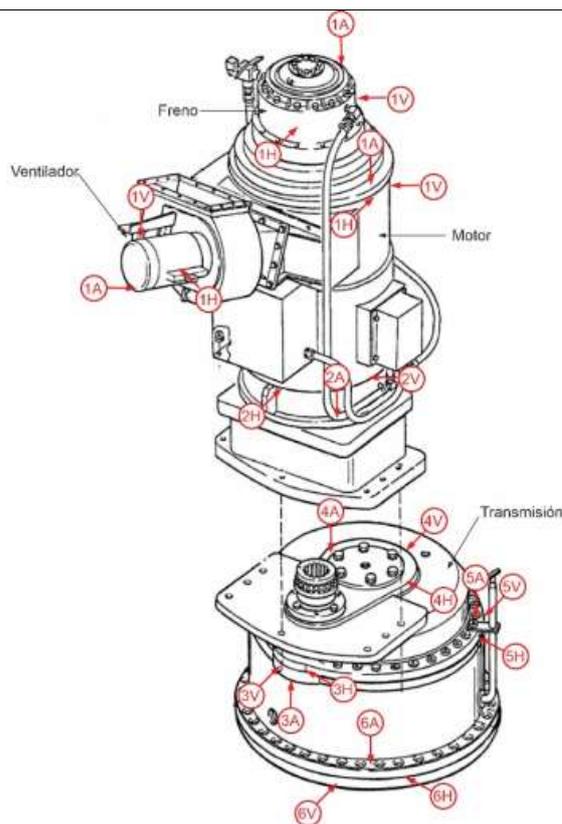


Figura N°3. - Ubicación de puntos de medición en sistema de giro (Delantero - posterior)

### Sistema de izar (Levante)

- g) Identificar los sistemas de izar para realizar la inspección (delantero y posterior)
- h) Verificar la accesibilidad de los puntos de inspección.
- i) Coordinar con el operador la secuencia de movimientos del sistema de izar.
- j) Colocar el acelerómetro en los puntos de medición V (Vertical), H (Horizontal) y A (Axial), en cada componente presente; correspondientes al sistema de izar delantero y posterior: **Ver Figura N°4 y Figura N°5.**
- k) Registrar las mediciones tomadas en los siguientes puntos:
  - Motor de izar delantero: 1V, 1H, 1A, 2V, 2H y 2A
  - Freno de izar delantero: 1V, 1H y 1A.
  - Ventilador de izar delantero: 1V, 1H y 1A.
  - Caja de transmisión: 3V, 3H, 3A, 4V, 4H, 4A, 5V, 5H, 5A, 6V, 6H, 6A, 9V, 9H, 9A, 10V, 10H, 10A, 11V, 11H, 11A, 12V, 12H y 12A
  - Tambor de izar: 7V, 7H, 7A, 8V, 8H y 8A
  - Motor de izar posterior: 13V, 13H, 13A, 14V, 14H y 14A

- Freno de izar posterior: 1V, 1H y 1A.
- Ventilador de izar posterior: 1V, 1H y 1A.

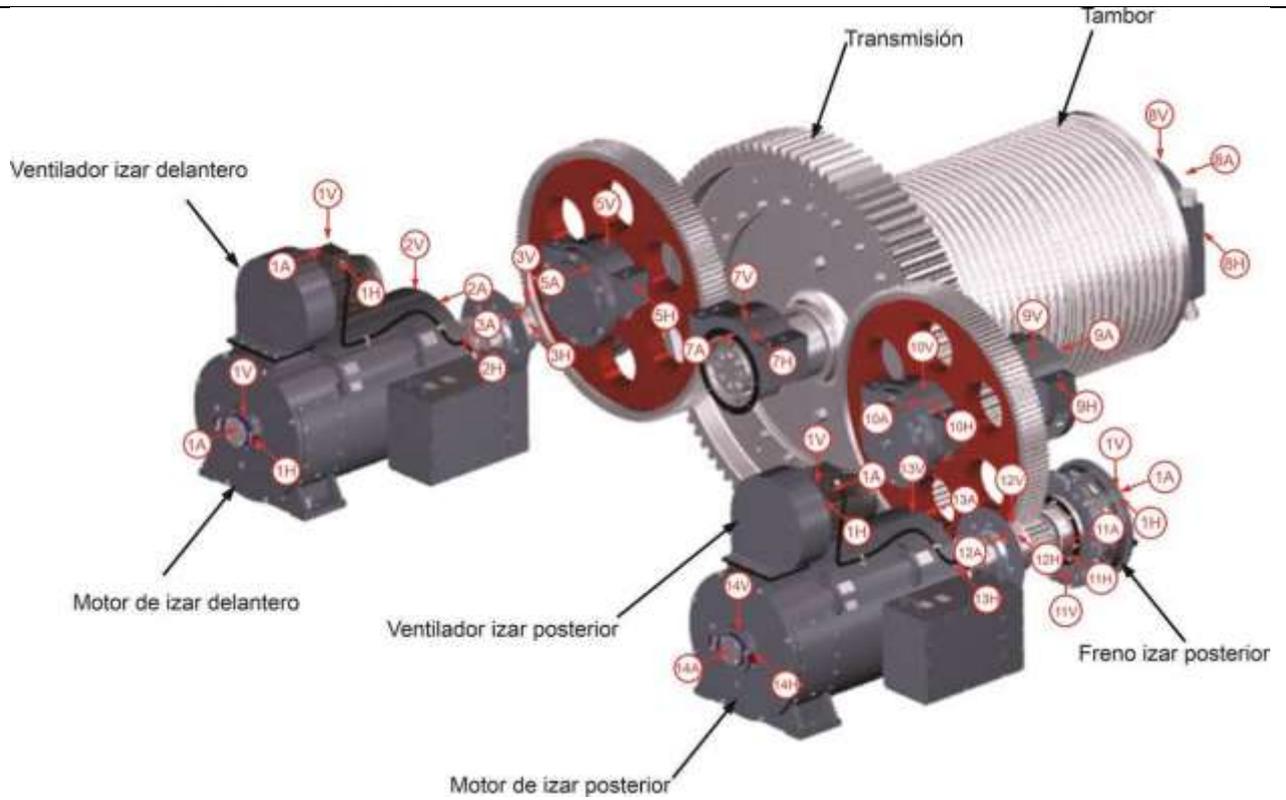


Figura N°4. - Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado libre)

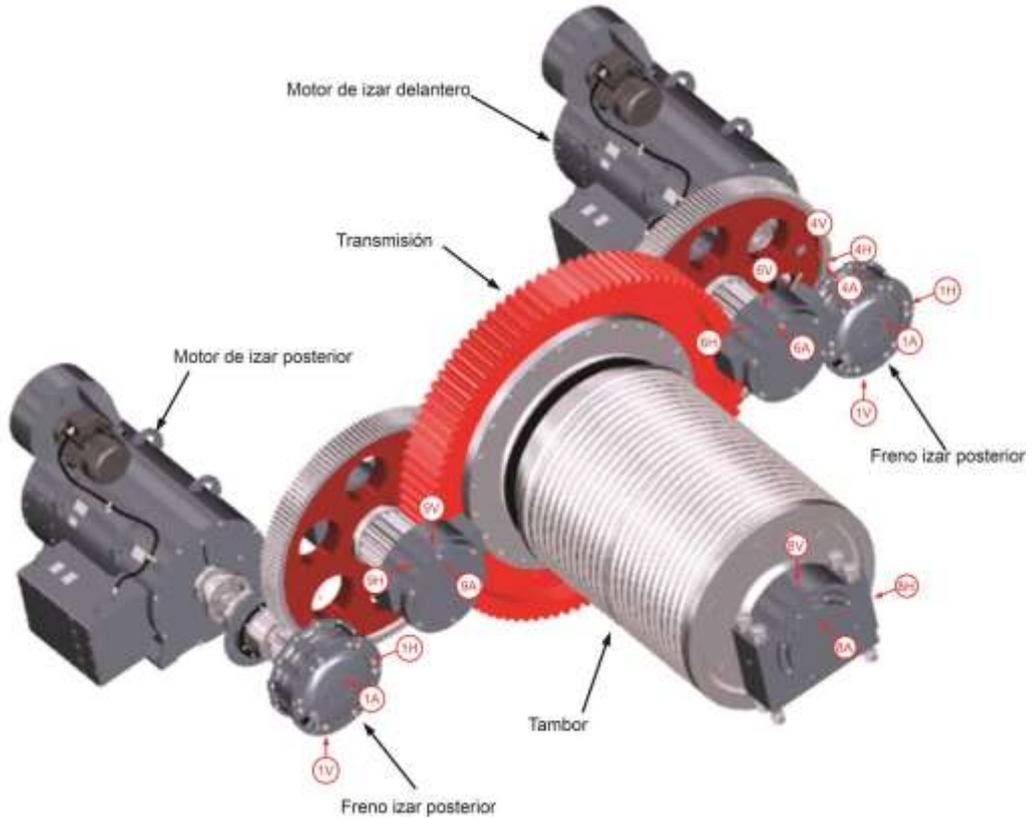
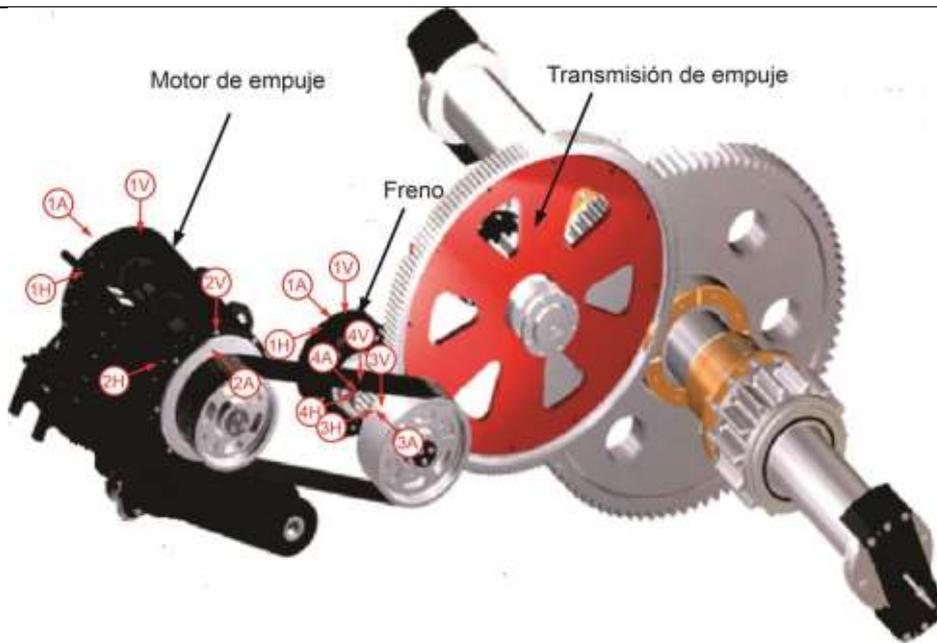


Figura N°5. - Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado tambor)

**Sistema de Empuje**

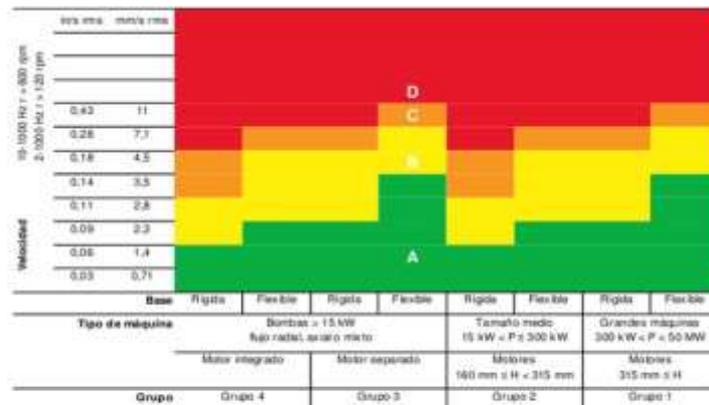
- l) Identificar el sistema de empuje para realizar la inspección en la parte externa de la sala de máquinas de la pala.
- m) Verificar la accesibilidad de los puntos de inspección.
- n) Coordinar con el operador la secuencia de movimientos del sistema de empuje.
- o) Colocar el acelerómetro en los puntos de medición V (Vertical), H (Horizontal) y A (Axial), en cada componente presente; correspondientes al sistema de empuje: **Ver Figura N° 6.**
- p) Registrar las mediciones tomadas en los siguientes puntos:
  - Motor de empuje: 1V, 1H, 1A, 2V, 2H y 2A
  - Freno de empuje: 1V, 1H y 1A.
  - Caja de transmisión de empuje: 3V, 3H, 3A, 4V, 4H y 4A



**Figura N°6. - Ubicación de puntos de medición en sistema de empuje**

- q) Descargar y comparar los datos obtenidos con los niveles de alerta y peligro que se mencionan en el apéndice 1. realizar el informe correspondiente y entregarlo al jefe de predictivo o coordinar con el departamento de ejecución para realizar las tareas correctivas necesarias (De encontrar vibraciones excesivas en los puntos monitoreados).

Apéndice 1. Alertas y peligros (Según Normas ISO 10816).



**A** Máquina nueva o reacondicionada  
**B** La máquina puede operar indefinidamente  
**C** La máquina no puede operar un tiempo prolongado  
**D** La vibración está provocando daños

Tabla 3. Severidad de la vibración según la norma ISO 10816-3.

N°	FINALIZACIÓN DE MONITOREO
1.	<b>Orden y limpieza:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limpiar y trasladar al almacén las herramientas y equipos auxiliares utilizados en esta tarea de mantenimiento predictivo.</li> <li>▪ Eliminar todos los desechos inservibles en los respectivos depósitos.</li> <li>▪ Trasladar los desechos y depositarlos de acuerdo a la normativa de Medio Ambiente de la unidad operativa.</li> </ul>
2.	<b>Entrega del equipo:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entregar la pala eléctrica al personal de operaciones, notificando al supervisor de mantenimiento la culminación del monitoreo.</li> </ul>
3.	<b>Reportes:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cerrar todos los permisos obtenidos mencionados al inicio de este documento y comunicar al Ing. Responsable para su posterior conformidad.</li> <li>▪ Realizar el informe correspondiente y entregarlo al ingeniero de predictivo o coordinar con el departamento de ejecución para realizar las tareas correctivas necesarias (De encontrar vibraciones excesivas en los puntos monitoreados).</li> </ul>

## Anexo 7. Monitoreo por termografía infrarroja de pala P&H 4100 XPC

	<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>	N°: MNT-MPD-0001 Fecha: 04.07.2019
	<b>MONITOREO POR TERMOGRAFIA INFRARROJA DE PALA P&amp;H 4100 XPC</b>	Rev.: 00.0 Página: 67 de 83 Autor: E.A.C.

SISTEMAS DE POTENCIA DE PALA P&H 4100 XPC							
<b>EQUIPO:</b>	P&H 4100XPC	<b>SISTEMA:</b>	Transmisión	<b>COMPONENTE:</b>	Motor - Reductor	<b>TIEMPO:</b>	4.0 hrs.
<b>TIPO MTTO:</b>	MPD	<b>DISCIPLINA:</b>	MBC	<b>ESTADO:</b>	Movimiento	<b>N° INSPECTORES:</b>	3
<b>Equipo</b>	<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cód. SAP</b>	<b>Cant</b>	<b>Un</b>		
	01	Cámara termográfica		1	Eqp.		
	02	Pirómetro infrarrojo		1	Eqp.		
03	Cartilla de inspección		1	Und.			
<b>herramienta.</b>	<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cód. SAP</b>	<b>Cant</b>	<b>Un</b>		
	01	Brocha		1	Und.		
	02	-		-	-		
03	-		-	-			
<b>Material</b>	<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cód. SAP</b>	<b>Cant</b>	<b>Un</b>		
	01	Trapo Industrial		0.125	Kg.		
	02	-		-	-		
03	-		-	-			

N°	CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PARA EL MONITOREO					
	<b>IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD</b>					
	CASCO DE SEGURIDAD	LENTE DE SEGURIDAD	ZAPATOS DE SEGURIDAD	GUANTES DE CUERO	PROTECTOR AUDITIVO	RESPIRADOR
	<b>RIESGOS ASOCIADOS</b>					
	CAIDA A DISTINTO NIVEL	GOLPES CON HERRAMIENT.	INHALACIÓN POLVO	ATRAPAMIENTO	CAIDAS AL MISMO NIVEL	ELECTROCU- CIÓN

<b>3.</b>	<p><b>Consideraciones de seguridad</b></p> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; display: inline-block;"> <p style="margin: 0;"><b>PELIGRO:</b> El equipo se encuentra en movimiento, tomar las medidas necesarias de seguridad para realizar la tarea de monitoreo de vibraciones de los sistemas de accionamiento de la PALA P&amp;H 4100XPC.</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solamente el personal de mantenimiento predictivo autorizado, puede realizar la tarea de monitoreo.</li> <li>▪ Cuando las condiciones climatológicas sean adversas, tomar las acciones de mejora si fuera posible para efectuar las tareas correspondientes, llegando a controlar los riesgos.</li> <li>▪ Usar los EPP en buen estado y acorde a la tarea de mantenimiento.</li> <li>▪ Reunir a todo el personal involucrado cerca al punto de trabajo y retroalimentar las actividades a realizar.</li> <li>▪ Identificar Peligros, Evaluar Riesgos y tomar las Medidas de Control.</li> <li>▪ Obtener y firmar los permisos necesarios para proceder a realizar la tarea (Llenar IPERC, ATS y PETAR, formatos de seguridad correspondientes).</li> </ul>
<b>4.</b>	<p><b>Consideraciones de Medio Ambiente.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar el manifiesto de residuos peligrosos de sustancias y materiales utilizados, especialmente en las tareas de lubricación y en la limpieza con solventes de sistemas y dispositivos de lubricación.</li> <li>▪ Desechar los residuos peligrosos obtenidos durante la tarea , según las normas ambientales y de seguridad de la unidad operativa</li> </ul>

## DESARROLLO DE GAMA



### PELIGRO:

La tarea de monitoreo por termografía infrarroja de la PALA P&H 4100XPC, se realizara cuando la pala se encuentre en plena operación y trabajando en una zona plana y sin inclinación.

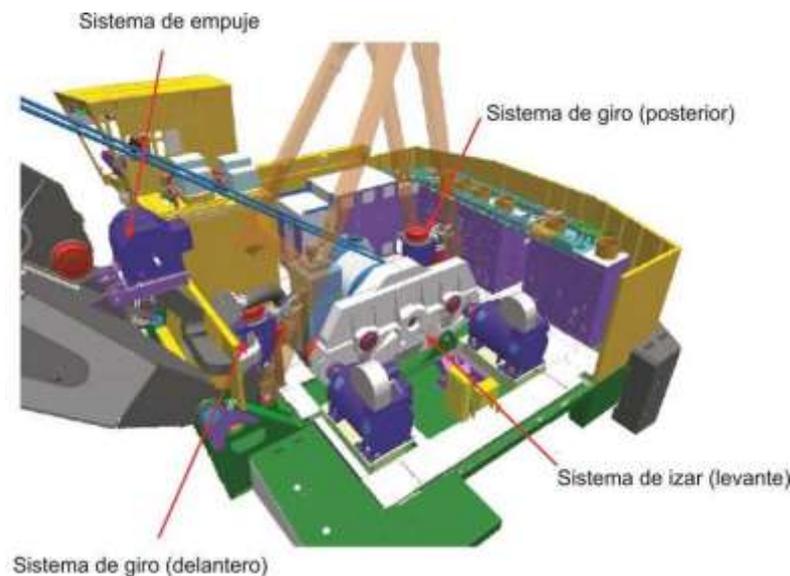


### ADVERTENCIA:

Tomar las medidas de seguridad necesarias para llegar hacia donde se encuentra cada sistema de accionamiento a inspeccionar, tener en cuenta que la pala eléctrica se encuentra energizada y en movimiento.

r) Identificar la ruta de inspección definida, esta tiene las siguientes prioridades:

- **Prioridad 1:** Sistema de giro.
- **Prioridad 2:** Sistema de izar o levante.
- **Prioridad 3:** Sistema de empuje.



**Figura N°1.** - Ubicación de sistemas en sala de maquinas de pala P&H 4100XPC

### Sistema de Giro

- s) Identificar los sistemas de giro para realizar la inspección (delantero y posterior)
- t) Verificar la accesibilidad de los puntos de inspección.
- u) Ubicarse a una distancia no mayor de 1 metro de distancia, para realizar la medición con la cámara termográfica, según los parámetros de configuración establecidos.
- v) Registrar las mediciones tomadas en los giros (delantero y posterior), con los siguientes puntos. **Ver Figura N° 3:**
  - Freno: Punto 1.
  - Motor de giro: Punto 1 y 2.
  - Núcleo de motor: Punto 1.
  - Acoplamiento: Punto 1.
  - Caja de transmisión: Punto 3, 4, 5 y 6.
  - Ventilador de sistema de giro: Punto 1.

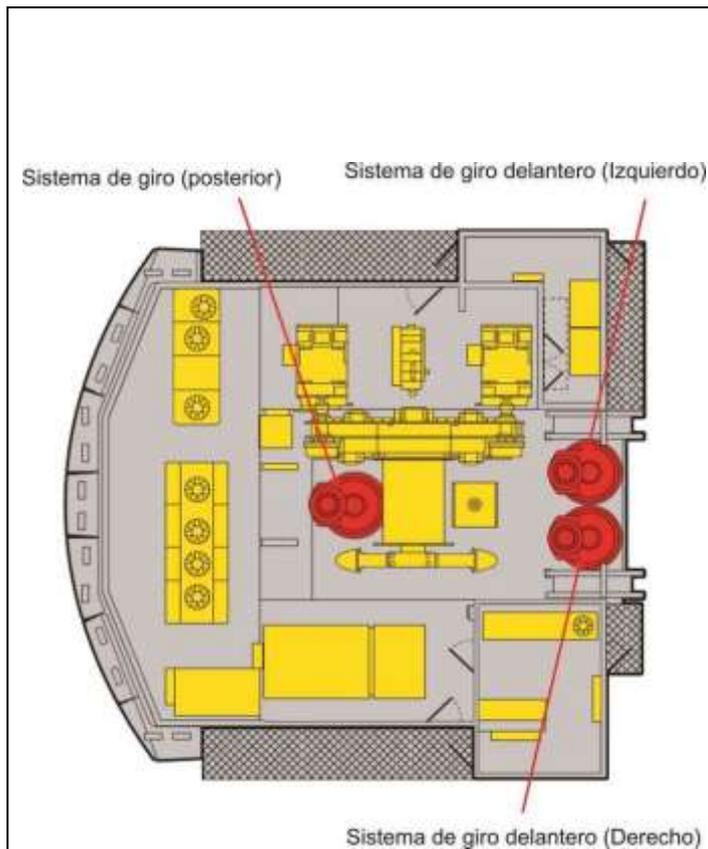


Figura N°2. - Ubicación de sistema de giro (Delantero - posterior)

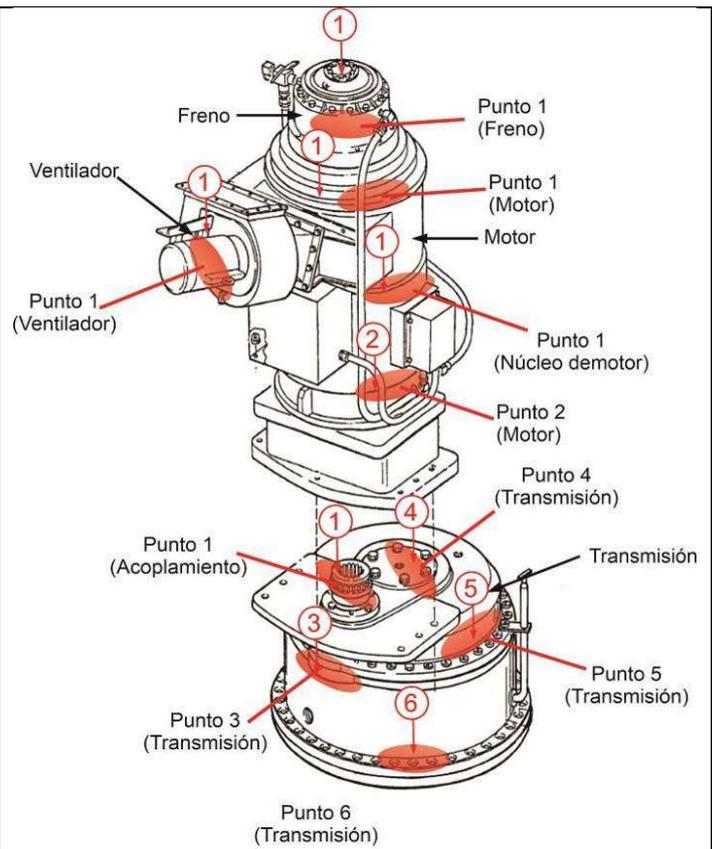


Figura N°3. - Ubicación de puntos de medición en sistema de giro (Delantero - posterior)

### Sistema de Izar (Levante)

- w) Identificar los sistemas de izar para realizar la inspección (delantero y posterior)
- x) Verificar la accesibilidad de los puntos de inspección.
- y) Ubicarse a una distancia no mayor de 1 metro de distancia, para realizar la medición con la cámara termográfica, según los parámetros de configuración establecidos.
- z) Registrar las mediciones tomadas en el sistema de izar, con los siguientes puntos. **Ver Figura N°4 y Figura N°5:**
- Motor de izar delantero: Punto 1 y 2.
  - Núcleo de motor de izar delantero: Punto 1.
  - Acoplamiento de motor izar delantero: Punto 1.
  - Freno de izar delantero: Punto 1.
  - Ventilador de izar delantero: Punto 1
  - Caja de transmisión: Punto 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 y 12.
  - Tambor de izar: Punto 7 y 8.
  - Motor de izar posterior: Punto 13 y 14
  - Núcleo de motor de izar posterior: Punto 1.
  - Acoplamiento de motor izar posterior: Punto 1.
  - Freno de izar posterior: Punto 1.
  - Ventilador de izar posterior: Punto 1.

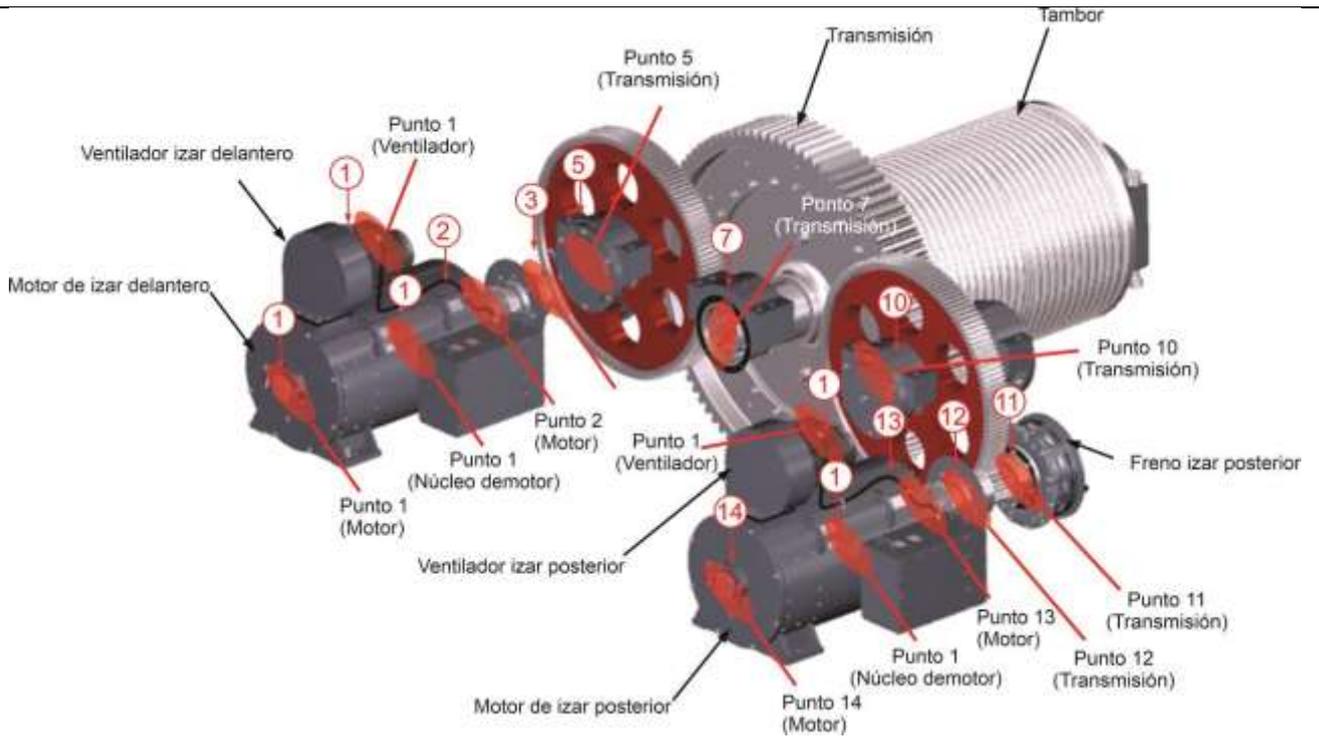


Figura N°4. - Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado libre)

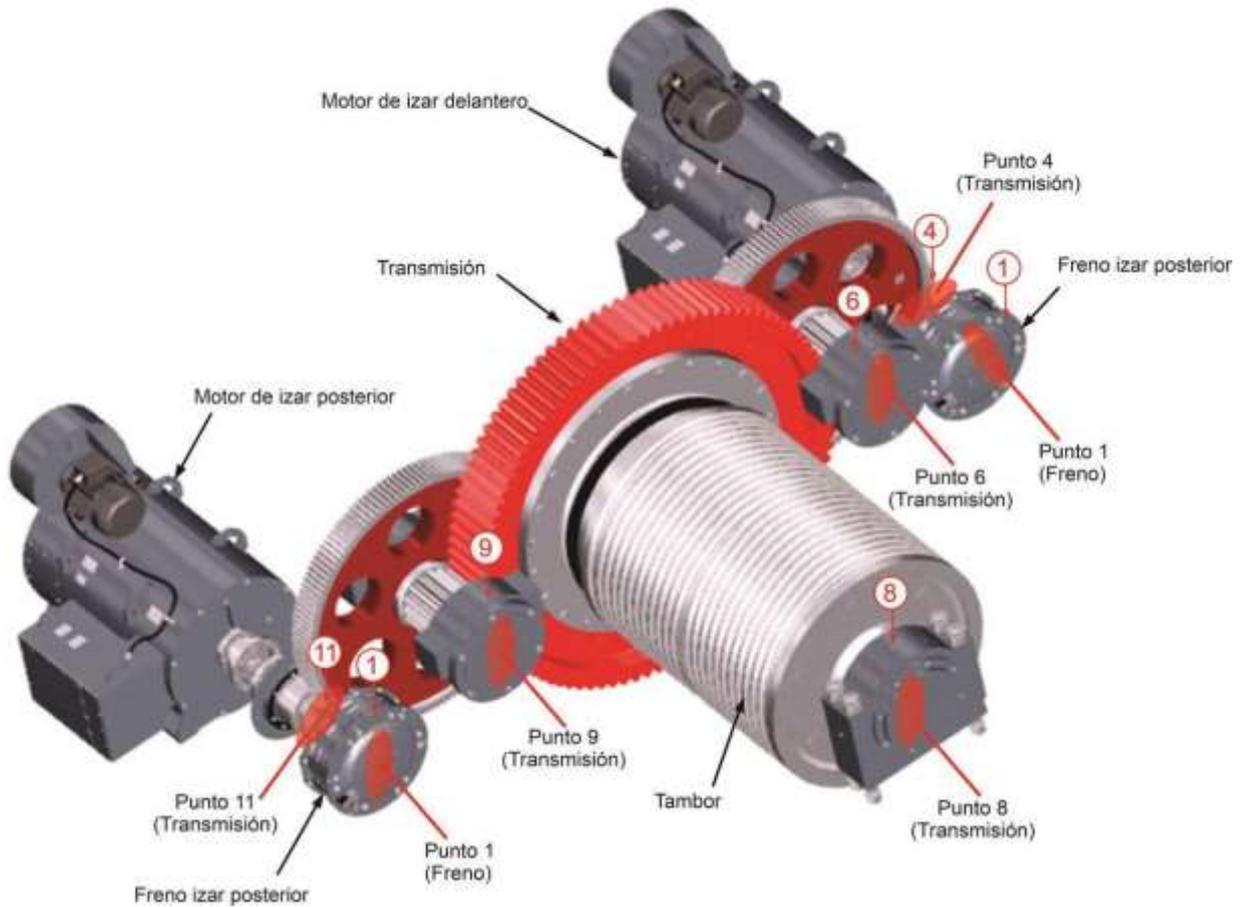
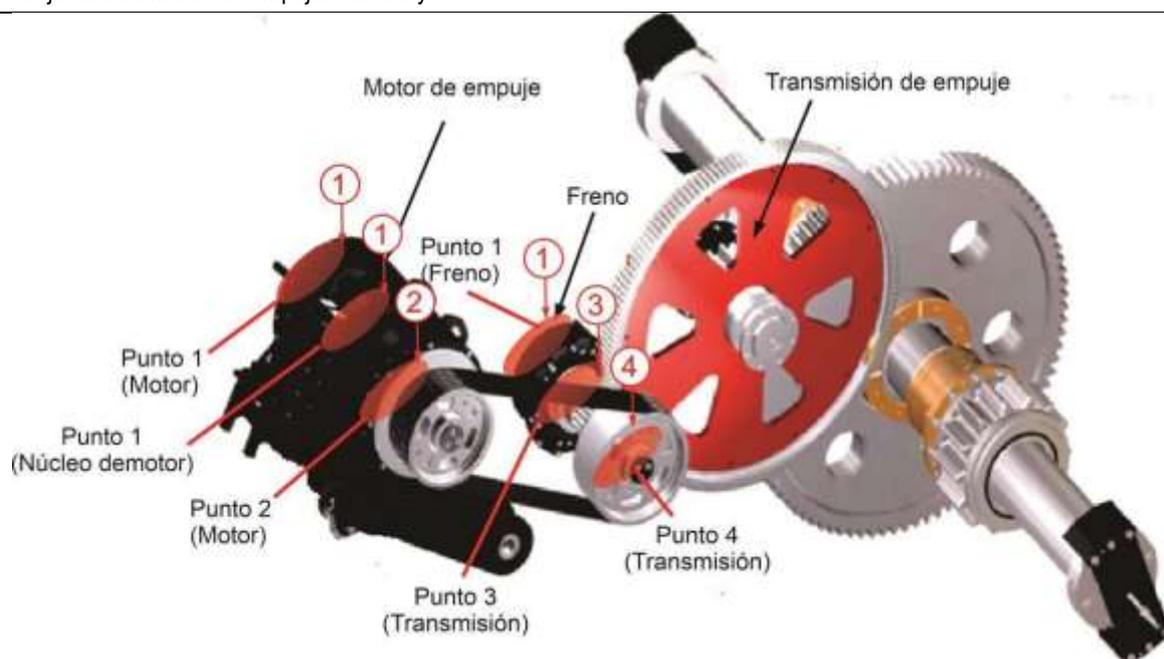


Figura N°5. - Ubicación de puntos de medición en sistema de izar (Lado tambor)

Sistema de Empuje

- aa) Identificar el sistema de empuje para realizar la inspección en la parte externa de la sala de máquinas de la pala.
- bb) Verificar la accesibilidad de los puntos de inspección.
- cc) Ubicarse a una distancia no mayor de 1 metro de distancia, para realizar la medición con la cámara termográfica, según los parámetros de configuración establecidos.
- dd) Registrar las mediciones tomadas en el sistema de empuje, con los siguientes puntos. **Ver Figura N°6**
  - Motor de empuje: Punto 1 y 2.
  - Freno de empuje: Punto 1.
  - Caja de transmisión de empuje: Punto 3 y 4.



*Figura N°6. - Ubicación de puntos de medición en sistema de empuje*

- ee) Registrar los valores obtenidos y compararlos con límites permisibles de operación. Realizar el informe correspondiente y entregarlo al jefe de predictivo o coordinar con el departamento de ejecución para realizar las tareas correctivas necesarias (De encontrar temperaturas elevadas en los puntos monitoreados).

N°	FINALIZACIÓN DE MONITOREO
4.	<p><b>Orden y limpieza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limpiar y trasladar al almacén las herramientas y equipos auxiliares utilizados en esta tarea de mantenimiento predictivo.</li> <li>▪ Eliminar todos los desechos inservibles en los respectivos depósitos.</li> <li>▪ Trasladar los desechos y depositarlos de acuerdo a la normativa de Medio Ambiente de la unidad operativa.</li> </ul>
5.	<p><b>Entrega del equipo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entregar la pala eléctrica al personal de operaciones, notificando al supervisor de mantenimiento la culminación del monitoreo.</li> </ul>
6.	<p><b>Reportes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cerrar todos los permisos obtenidos mencionados al inicio de este documento y comunicar al Ing. Responsable para su posterior conformidad.</li> <li>▪ Realizar el informe correspondiente y entregarlo al ingeniero de predictivo o coordinar con el departamento de ejecución para realizar las tareas correctivas necesarias (De encontrar temperaturas excesivas en los puntos monitoreados).</li> </ul>