



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES EN LÍNEA PARA AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE LAS PALAS ELÉCTRICAS DE GRAN MINERÍA EN LA EMPRESA EMERSON PROCESS MANAGEMENT DEL PERÚ S. A. C.”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

**Ingeniero Industrial**

**Autor:**

Bach. Carlos Eduardo Huayta Mendoza

**Asesor:**

Mg. Ing. Ulises Piscocoya Silva

Lima – Perú

2021

## **DEDICATORIA**

A mis padres Margot y Roy, a quienes les debo todo lo que ahora soy. A mi hermano Javier por su gran compañía, apoyo y amistad durante todos estos años.

A mi esposa Kiara, por ser mi complemento, soporte y apoyo; por ser mi amor.

Muchas gracias a todos ustedes. Los Amo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, ya que sin Él nada de esto sería posible.

Agradezco de inmensa manera a todos y cada una de las personas, amigos y compañeros de trabajo, quienes guiaron mis pasos y contribuyeron positivamente en mi vida laboral.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....</b>	<b>83</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>	<b>98</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla N° 1: Información de la empresa Emerson Process Management del Perú S.A.C.
- Tabla N° 2: Posición del Perú en el ranking mundial de producción minera.
- Tabla N° 3: Tipos de transductores de vibración.
- Tabla N° 4: Equipo profesional que realizó la implementación del Sistema de Monitoreo en Línea para Pala P&H 4100.
- Tabla N° 5: Matriz de evaluación de criticidad para activos del área mina.
- Tabla N° 6: Evaluación de criticidad de activos del área mina.
- Tabla N° 7: Cálculo de la producción de la Pala P&H 4100 (expresado en dólares americanos)
- Tabla N° 8: Costo de la implementación del sistema de monitoreo en línea para Pala P&H 4100
- Tabla N° 9: Efectividad acordada del proyecto por el equipo multidisciplinario de Emerson y Southern Perú.

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura N° 1: Detalle de ubicación de sensores de vibración en Pala P&H 4100.
- Figura N° 2: Logo corporativo Emerson.
- Figura N° 3: Organigrama Emerson Perú.
- Figura N° 4: Organigrama área comercial Emerson Perú.
- Figura N° 5: Ubicación de Emerson Perú – Oficinas Lima.
- Figura N° 6: Ubicación de Southern Perú – Site Toquepala, lugar donde se realizó el proyecto.
- Figura N° 7: Transmisor de presión Rosemount Serie 3051.
- Figura N° 8: Medidores de caudal y densidad de alto desempeño Micro Motion Serie Elite.
- Figura N° 9: Actuadores de diafragma Fisher Serie 657 y 667.
- Figura N° 10: Válvulas de compuerta Clarkson Serie KGA Plus.
- Figura N° 11: DCS Delta V.
- Figura N° 12: DCS Ovation <sup>TM</sup>.
- Figura N° 13: Plataforma de Monitoreo de Condición 360°.
- Figura N° 14: Servicios Emerson Perú.
- Figura N° 15: Personal de Servicios Emerson.
- Figura N° 16: Imagen de visita técnica de relevamiento en pala.
- Figura N° 17: Espectro de vibración del sistema de izaje de la pala.
- Figura N° 18: Imagen referencial de la Pala P&H 4100.
- Figura N° 19: Mapa megaproyectos mineros del Perú 2016-2021.
- Figura N° 20: Partes de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 21: Parte inferior de la pala eléctrica P&H 4100.

- Figura N° 22: Parte superior de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 23: Implemento de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 24: Cucharón de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 25: Componentes de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 26: Sistema de propulsión de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 27: Sistema de giro de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 28: Gráfico sistema de giro de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 29: Sistema de izaje de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 30: Gráfico sistema de izaje de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 31: Gráfico sistema de empuje de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 32: Gráfico de apertura de cucharón de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 33: Falla catastrófica de izaje de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 34: Detalle de sistema de izaje de la pala eléctrica P&H 4100.
- Figura N° 35: Evolución del mantenimiento.
- Figura N° 36: La naturaleza de la vibración.
- Figura N° 37: Parámetros dinámicos.
- Figura N° 38: Ubicación de acelerómetro.
- Figura N° 39: Ejemplos de medición de vibración.
- Figura N° 40: Sensor de proximidad.
- Figura N° 41: Sensor de velocidad de vibración.
- Figura N° 42: Acelerómetro de vibración.
- Figura N° 43: Cálculo de vibración global.

Figura N° 44: Forma de onda de vibración.

Figura N° 45: Espectro de vibración FFT.

Figura N° 46: Analizador de vibraciones AMS 2140 de Emerson.

Figura N° 47: Procesador de monitoreo de vibraciones en línea AMS 6500 de Emerson.

Figura N° 48: Valores de vibración tolerables por tipo de máquina y grupos.

Figura N° 49: Factores de productividad.

Figura N° 50: Diagrama Causa Efecto.

Figura N° 51: Diagrama de Pareto.

Figura N° 52: Cómo calcular el ROI.

Figura N° 53: Funciones de Líderes de Unidades de Negocio.

Figura N° 54: Diagrama Ishikawa de baja productividad de Pala P&H 4100.

Figura N° 55: Gráfico de disponibilidad real versus disponibilidad presupuestada.

Figura N° 56: Gráfico de Pareto de paradas no planificadas en Pala P&H 4100.

Figura N° 57: Instalación de sensores.

Figura N° 58: Instalación de gabinetes.

Figura N° 59: Comisionamiento de gabinetes.

Figura N° 60: Configuración de puntos de medición de vibración de Pala P&H 4100 en  
Software AMS Machinery Manager.

Figura N° 61: Matriz IPERC para la actividad de monitoreo de condición manual.

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1:  $\text{Productividad} = \text{Resultados logrados} / \text{Recursos empleados}$

Ecuación N° 2:  $\text{Criticidad del Equipo} = \text{Frecuencia de Falla} * (\text{Impacto de Producción} * 0.3 + \text{Costos de Reparación} * 0.1 + \text{Impacto en la Seguridad} * 0.3 + \text{Impacto Ambiental} * 0.3)$

Ecuación N° 3:  $\text{Horas perdidas por mes} = (\text{Horas diarias}) * (\text{N}^\circ \text{ días por mes}) * (\text{indisponibilidad})$

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de suficiencia profesional tuvo como propósito implementar un sistema de monitoreo de vibraciones en línea para uno de los activos más críticos de la Cía. Minera Southern Perú como son las palas eléctricas.

Lo primero que se realizó fue determinar el equipo considerado más crítico en el área de mina, según una matriz de evaluación de criticidad. Una vez confirmado que la pala eléctrica es el activo más crítico existente, se procedió a analizar las causas de baja productividad a través del diagrama causa – efecto. Luego, utilizando el diagrama de Pareto se analizó detalladamente cada una de las causas identificadas, así como el análisis de los tiempos de inactividad por paradas no planificadas en la pala.

A través de la implementación del sistema de monitoreo de vibraciones en línea, que considera la instalación de sensores de vibración en los tres sistemas principales de la pala (Izaje, Empuje y Giro), la programación de una lógica booleana basada en predicados de los parámetros de velocidad, sentido de giro y carga que permita que la colecta de datos genere trazabilidad y el procesador AMS 6500, quien es el responsable de captar los datos; se logra disminuir el total de horas de indisponibilidad de la pala en un 35%, incrementando la productividad del activo generando ingresos mensuales de \$483,840 USD.

La determinación del costo beneficio, se realizó utilizando la técnica de retorno de inversión (ROI), el cual determinó un valor de 1,15% con una recuperación a 26 días, lo que sustentó la ejecución del proyecto de implementación y por lo que se puede concluir que las mejoras implementadas tuvieron un efecto positivo en el incremento de disponibilidad y productividad de la pala.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La empresa minera Southern Perú Cooper Corporation – Site Toquepala planea implementar un sistema de monitoreo de vibraciones en línea en su pala P&H 4100 (ver Anexo 1), con la intención de conocer en tiempo real el estado de los componentes principales que conforman la pala y de esa manera reducir las paradas no planificadas que presenta el equipo en mención y que afecta directamente a la productividad de este.

Para la precisa operación de un sistema de monitoreo de vibraciones en línea en la pala, se tienen que tener en cuenta los principales factores de operación del equipo como velocidad, carga, sentido de giro; que afectan de manera directa a la medición de vibración y a la trazabilidad de los datos colectados.

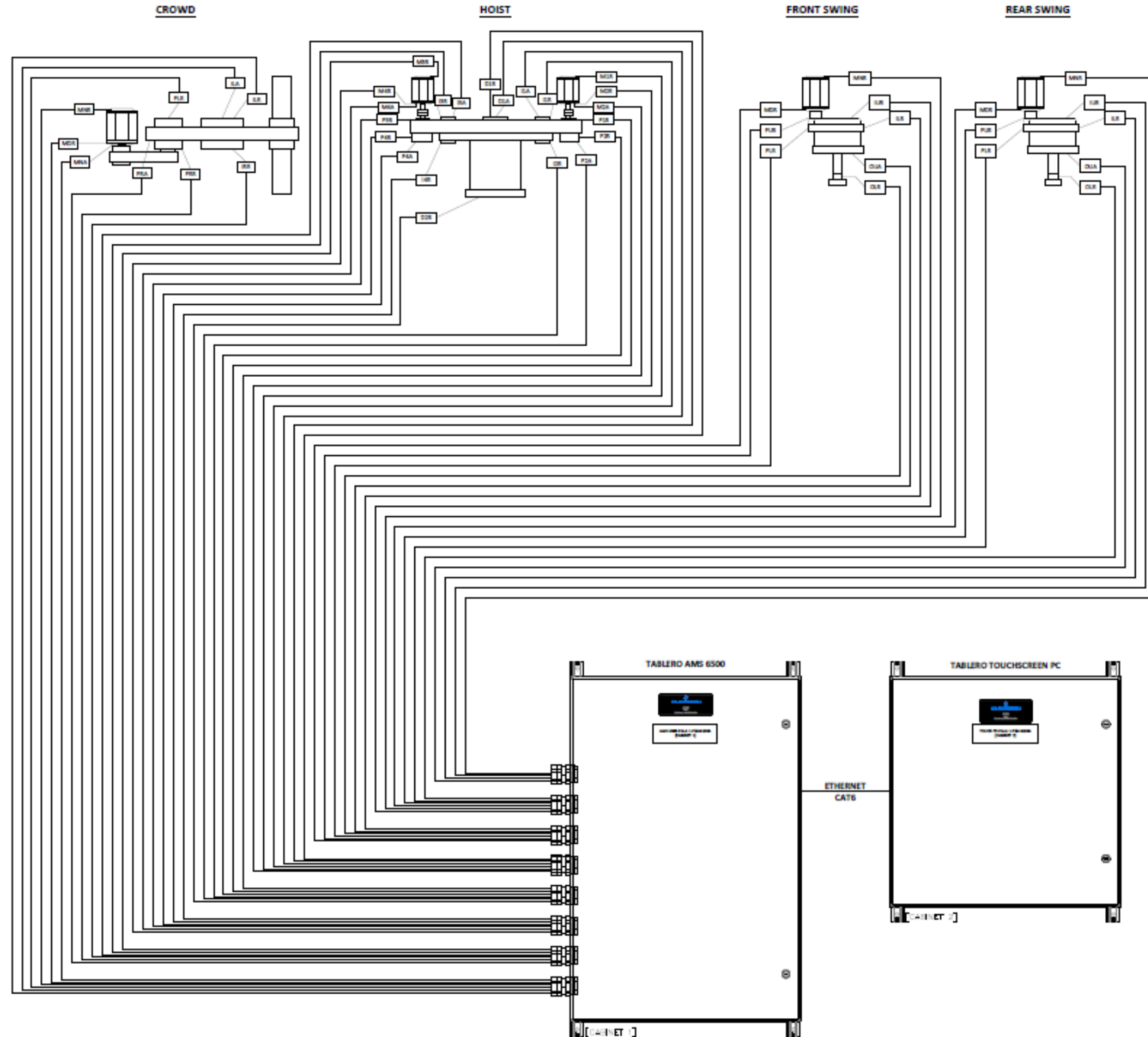
Para esta implementación, se instaló un gabinete conformado por un sistema de monitoreo en línea AMS 6500 de 48 canales de medición de la marca Emerson, 3 Encoders HS45 de la marca Nidec-Avtron para obtener la velocidad y el sentido de giro del motor eléctrico para los sistemas Izaje, Empuje y Giro de la pala, e incluye además un Controlador PLC ILC 131 ETH de la marca Phoenix Contact donde se incluirá la lógica programable para ubicar el momento correcto para la medición de los valores de vibración. De forma adicional, se considera un gabinete donde se incluye una Touchscreen PC de la marca Phoenix Contact donde se instalará el Software AMS Machinery Manager de la marca Emerson, que se utilizará para la configuración del sistema, la supervisión del sistema local, el análisis del sistema local y el almacenamiento de datos. (ver Anexo 2)

Con este sistema de monitoreo de condición, se espera cumplir con los siguientes objetivos:

- Monitoreo en línea de los valores de vibración de los sistemas Izaje, Empuje y Giro de la pala.
- Reducción de las paradas no planificadas por problemas mecánicos en la pala.
- Incremento de la productividad de la pala.
- Eliminación de la exposición del personal a los peligros inherentes de la pala por tareas de monitoreo de vibraciones presencial.



DETALLE DE UBICACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN - PALA 1 - P&H4100A



Nº	TAG #	DESCRIPCIÓN	EQUIPO
1	M1R	M1R - MOTOR NDE BRG	FRONT HOIST
2	M2R	M2R - MOTOR DE BRG	FRONT HOIST
3	M2A	M2A - MOTOR DE BRG	FRONT HOIST
4	P1R	P1R - 1ST RED. OUTBOARD BRG	FRONT HOIST
5	P2R	P2R - 1ST RED. INBOARD BRG	FRONT HOIST
6	P2A	P2A - 1ST RED. INBOARD BRG	FRONT HOIST
7	I1R	I1R - 2ND RED. OUTBOARD BRG	FRONT HOIST
8	I1A	I1A - 2ND RED. OUTBOARD BRG	FRONT HOIST
9	I2R	I2R - 2ND RED. INBOARD BRG	FRONT HOIST
10	D1R	D1R - OUTBOARD BRG	HOIST DRUM
11	D1A	D1A - OUTBOARD BRG	HOIST DRUM
12	D2R	D2R - INBOARD BRG	HOIST DRUM
13	IRR	IRR - 2ND RED. RIGHT SIDE BRG	CROWD
14	ILR	ILR - 2ND RED. LEFT SIDE BRG	CROWD
15	MNR	MNR - MOTOR NDE BRG	FRONT SWG
16	MDR	MDR - MOTOR DE BRG	FRONT SWG
17	PUR	PUR - INPUT PINION UPPER BRG	FRONT SWG
18	PLR	PLR - INPUT PINION LOWER BRG	FRONT SWG
19	OUA	OUA - SHAFT UPPER BRG	FRONT SWG
20	OLR	OLR - SHAFT LOWER BRG	FRONT SWG
21	IUR	IUR - 1ST RED. UPPER BRG	FRONT SWG
22	ILR	ILR - 1ST RED. LOWER BRG	FRONT SWG
23	ILA	ILA - 2ND RED. LEFT SIDE BRG	CROWD
24	-	No Connection	-
25	M3R	M3R - MOTOR NDE BRG	REAR HOIST
26	M4R	M4R - MOTOR DE BRG	REAR HOIST
27	M4A	M4A - MOTOR DE BRG	REAR HOIST
28	P3R	P3R - 1ST RED. OUTBOARD BRG	REAR HOIST
29	P4R	P4R - 1ST RED. INBOARD BRG	REAR HOIST
30	P4A	P4A - 1ST RED. INBOARD BRG	REAR HOIST
31	I3R	I3R - 2ND RED. OUTBOARD BRG	REAR HOIST
32	I3A	I3A - 2ND RED. OUTBOARD BRG	REAR HOIST
33	I4R	I4R - 2ND RED. INBOARD BRG	REAR HOIST
34	MNR	MNR - MOTOR NDE BRG	CROWD
35	MDR	MDR - MOTOR DE BRG	CROWD
36	MNA	MNA - MOTOR NDE BRG	CROWD
37	PRR	PRR - 1ST RED. RIGHT SIDE BRG	CROWD
38	PLR	PLR - 1ST RED. LEFT SIDE BRG	CROWD
39	PRA	PRA - 1ST RED. RIGHT SIDE BRG	CROWD
40	MNR	MNR - MOTOR NDE BRG	REAR SWG
41	MDR	MDR - MOTOR DE BRG	REAR SWG
42	PUR	PUR - INPUT PINION UPPER BRG	REAR SWG
43	PLR	PLR - INPUT PINION LOWER BRG	REAR SWG
44	OUA	OUA - SHAFT UPPER BRG	REAR SWG
45	OLR	OLR - SHAFT LOWER BRG	REAR SWG
46	IUR	IUR - 1ST RED. UPPER BRG	REAR SWG
47	ILR	ILR - 1ST RED. LOWER BRG	REAR SWG
48	-	No Connection	-

<table border="1"> <tr> <td>EMISOR</td> <td>REVISOR</td> <td>APROBADO</td> <td>FECHA</td> <td>COMENTARIOS</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>E.M.</td> <td>R.G.</td> <td>25/05/20</td> <td>EMITIDO PARA APROBACIÓN</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>E.M.</td> <td>R.G.</td> <td>22/06/20</td> <td>EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN</td> </tr> </table>	EMISOR	REVISOR	APROBADO	FECHA	COMENTARIOS	A	E.M.	R.G.	25/05/20	EMITIDO PARA APROBACIÓN	O	E.M.	R.G.	22/06/20	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	<p>EMERSON</p> <p>Process Systems and Solutions Juan Alfaro 227 Miraflores, Lima Perú 15047</p>	<table border="1"> <tr> <td>REVISADO / FECHA</td> <td>FECHA DEL PROYECTO</td> <td>OFICINA DEL PROYECTO</td> </tr> <tr> <td>JF 22/06/20</td> <td>SOUTHERN PERU</td> <td>Architectura del Sistema Online - Detalle Tablero AMS 6500 - Pala 1 (P&amp;H4100A)</td> </tr> <tr> <td>EM 22/06/20</td> <td>SISTEMA ONLINE M&amp;M -</td> <td></td> </tr> <tr> <td>RG 22/06/20</td> <td>PAPA PALAS 1 Y 2 P&amp;H4100</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>3282220</td> <td></td> </tr> </table>	REVISADO / FECHA	FECHA DEL PROYECTO	OFICINA DEL PROYECTO	JF 22/06/20	SOUTHERN PERU	Architectura del Sistema Online - Detalle Tablero AMS 6500 - Pala 1 (P&H4100A)	EM 22/06/20	SISTEMA ONLINE M&M -		RG 22/06/20	PAPA PALAS 1 Y 2 P&H4100			3282220		<p>SOUTHERN COPPER</p> <p>3282220-RS-MHM-DSP-00001</p> <p>22/06/20</p> <p>R004</p>
EMISOR	REVISOR	APROBADO	FECHA	COMENTARIOS																													
A	E.M.	R.G.	25/05/20	EMITIDO PARA APROBACIÓN																													
O	E.M.	R.G.	22/06/20	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN																													
REVISADO / FECHA	FECHA DEL PROYECTO	OFICINA DEL PROYECTO																															
JF 22/06/20	SOUTHERN PERU	Architectura del Sistema Online - Detalle Tablero AMS 6500 - Pala 1 (P&H4100A)																															
EM 22/06/20	SISTEMA ONLINE M&M -																																
RG 22/06/20	PAPA PALAS 1 Y 2 P&H4100																																
	3282220																																

Figura 1. Detalle de ubicación de sensores de vibración en Pala P&H 4100. Fuente: Emerson (2020)

## **1.1 Antecedentes**

### **1.1.1 Antecedentes de la compañía**

El presente trabajo de suficiencia profesional se llevó cabo en la compañía EMERSON PROCESS MANAGEMENT DEL PERÚ S.A.C. dedicada a la venta de productos y servicios que ayudan a las compañías a automatizar, controlar y optimizar la producción, con mayor presencia en los segmentos de: Minería, Petróleo & Gas y Energía.

Emerson opera en el Perú desde el año 2013, su oficina principal se encuentra en el Distrito de Lima - Miraflores y cuenta con 02 sedes adicionales en las ciudades de Arequipa y Talara; forma parte de la corporación trasnacional americana Emerson Electric Co., fundada en 1890 y ubicada en ST. Louis, Misuri, con presencia en más de 150 países y más de 110,000 colaboradores a nivel mundial.

Emerson en el Perú cuenta con 63 colaboradores, distribuidos en las diferentes áreas de la compañía: Comercial, Finanzas, Logística, Operaciones PMO, Operaciones Servicios y Recursos Humanos, Seguridad & Administración.

Para el desarrollo de este proyecto, la unidad de negocio “Soluciones de Confiabilidad” del Área Comercial de Emerson, de la cual soy responsable desde hace aproximadamente 03 años, ha brindado los accesos y permisos necesarios para utilizar la información técnica/comercial de sus soluciones relacionadas al mantenimiento predictivo, monitoreo de condición y confiabilidad.

Tabla 1.

*Información de la empresa Emerson Process Management del Perú S.A.C.*

<b>Información de la Empresa</b>	
Nombre	EMERSON PROCESS MANAGEMENT DEL PERU S.A.C.
RUC	20100522030
Condición	Activo
Actividad Económica	Principal - 4659 - Venta al por mayor de otros tipos de maquinaria y equipo Secundaria 1 - 7490 - Otras actividades profesionales, científicas y Técnicas N.C.P.
Dirección	Calle Juan Alfaro Nro. 227, Urb. San Antonio, Miraflores, Lima, Perú.
Gerente General	Parra Rodriguez, Juan Alberto

Fuente: Sunat (2021)



*Figura 2. Logo corporativo Emerson. Fuente: Emerson (2020)*

**Misión:**

Proveer soluciones integrales a través de operaciones y servicios que ayuden a optimizar los negocios de nuestros clientes.

**Visión:**

Trabajamos para ser reconocidos y mantener el liderazgo del mercado en la provisión de productos, soluciones y tecnología a través de operaciones y servicios de excelencia.

**Valores:**

- **Integridad:** Somos flexibles en nuestros comportamientos honesto y ético, lo cual crea relaciones de confianza entre nosotros y con nuestros clientes, proveedores y comunidades.
- **Seguridad & Calidad:** Somos firmes en nuestro compromiso con los más altos estándares de seguridad y calidad, tanto para nosotros como para nuestros clientes.
- **Apoyo para nuestra gente:** Atraemos, desarrollamos y retenemos personas excepcionales en un entorno laboral abierto, donde todos los empleados pueden alcanzar su mayor potencial.
- **Enfoque en el cliente:** Escuchamos con atención a nuestros clientes para entender por completo sus necesidades y ofrecerles las soluciones exclusivas que garantizan su éxito.
- **Mejora continua:** Nos esforzamos constantemente por mejorar en todos los aspectos de nuestro negocio, guiados por los indicadores, la comunicación interna y nuestro proceso de gestión disciplinado.
- **Colaboración:** Trabajamos sin inconvenientes en muchos lugares, plataformas, unidades de negocios y funciones para aprovechar al máximo nuestra capacidad y experiencia sin igual.
- **Innovación:** Nos dedicamos con pasión a las nuevas tecnologías, capacidades y enfoques para generar valor tangible para nuestros clientes.

Organigrama:

## Organización: Perú

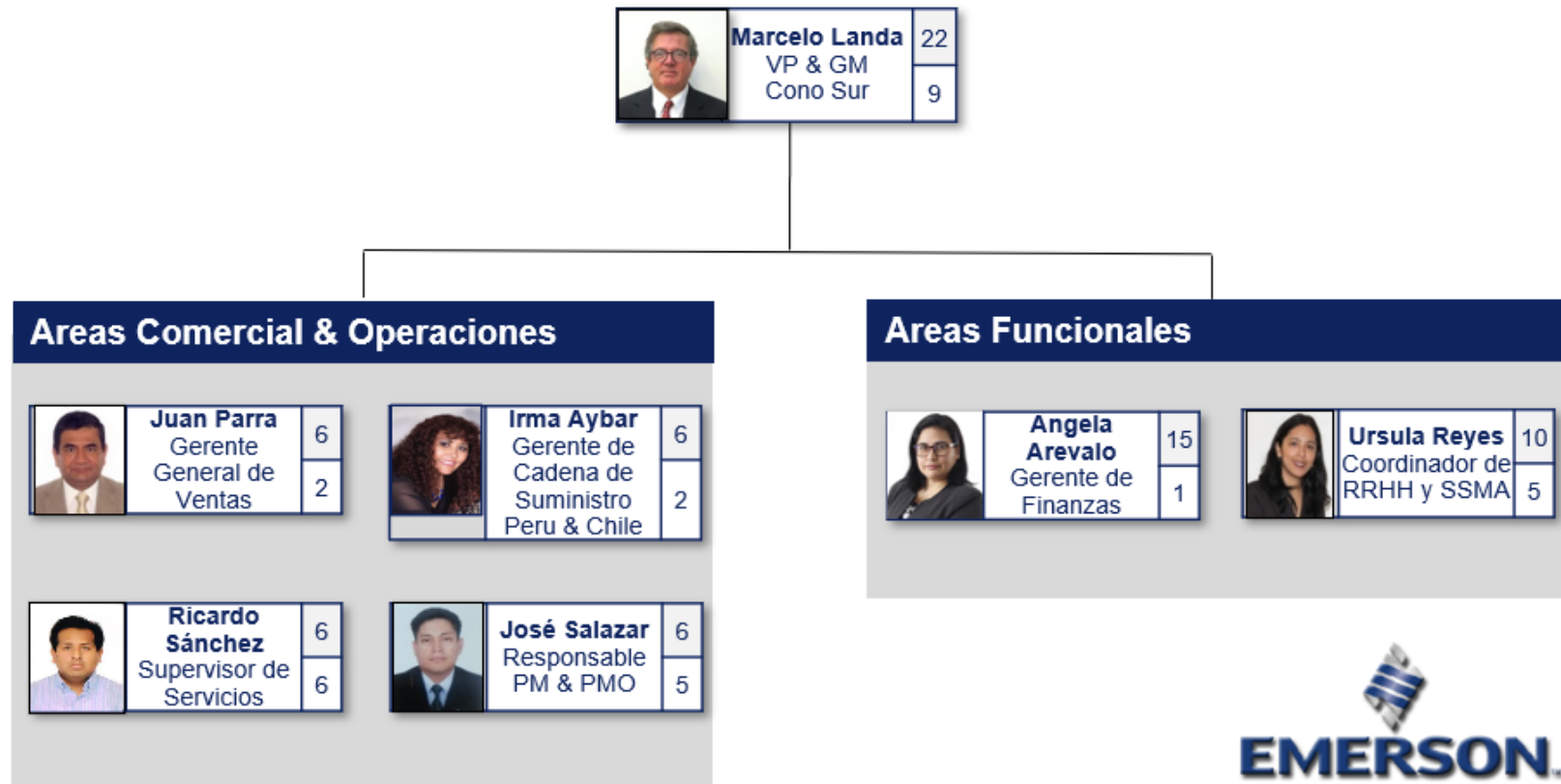


Figura 3. Organigrama Emerson Perú. Fuente: Emerson (2021)

## Organigrama Área Comercial

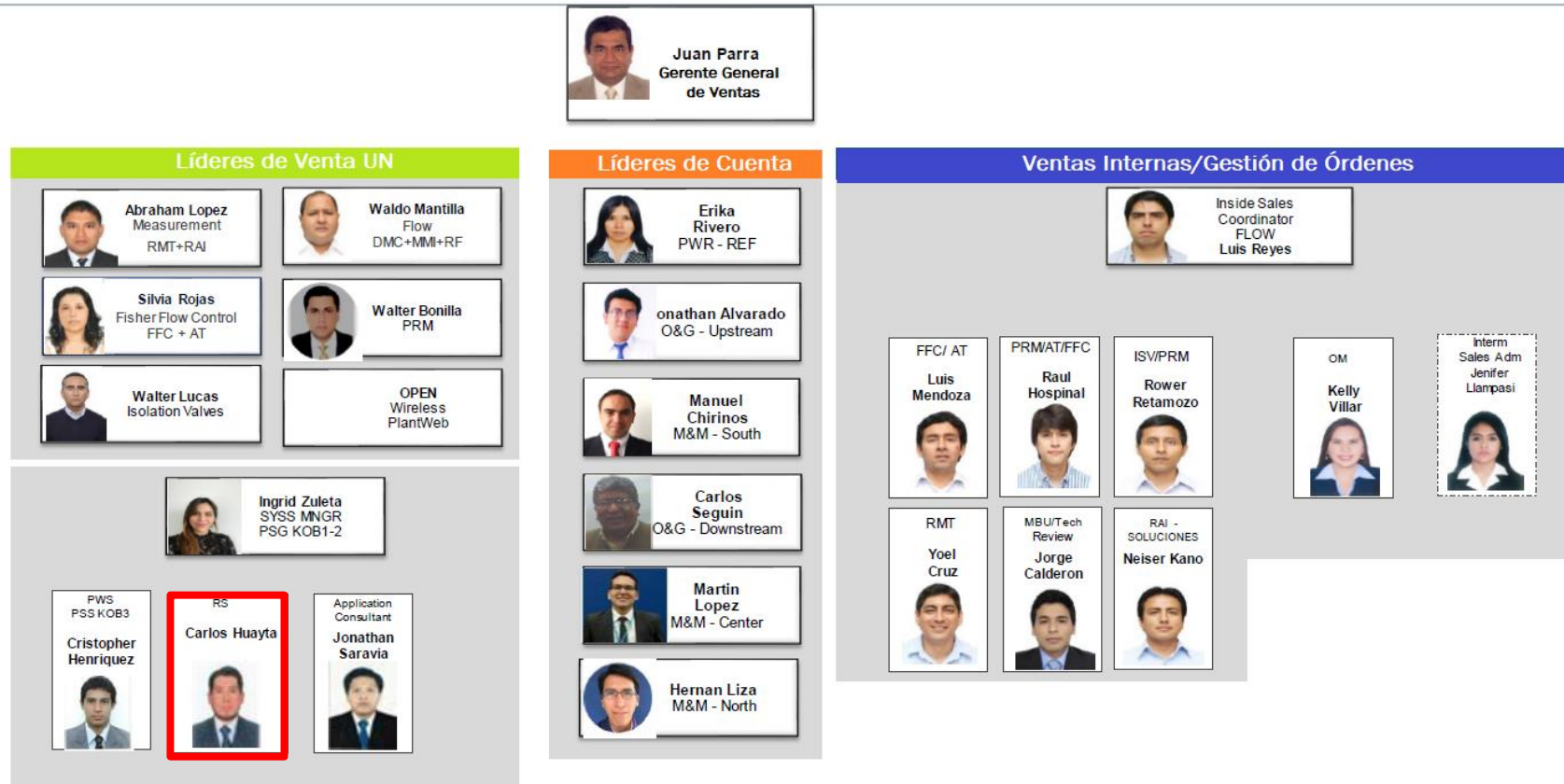


Figura 4. Organigrama área comercial Emerson Perú. Fuente: Emerson (2021)



### 1.1.2 Ubicación:

Emerson Perú, está ubicada en la Calle Juan Alfaro 227, departamento de Lima, provincia de Lima, distrito de Miraflores.

Southern Perú Cooper Corporation – Site Toquepala, está ubicada en Villa Toquepala S/N, departamento de Tacna, provincia de Jorge Basadre, distrito de Ilabaya.

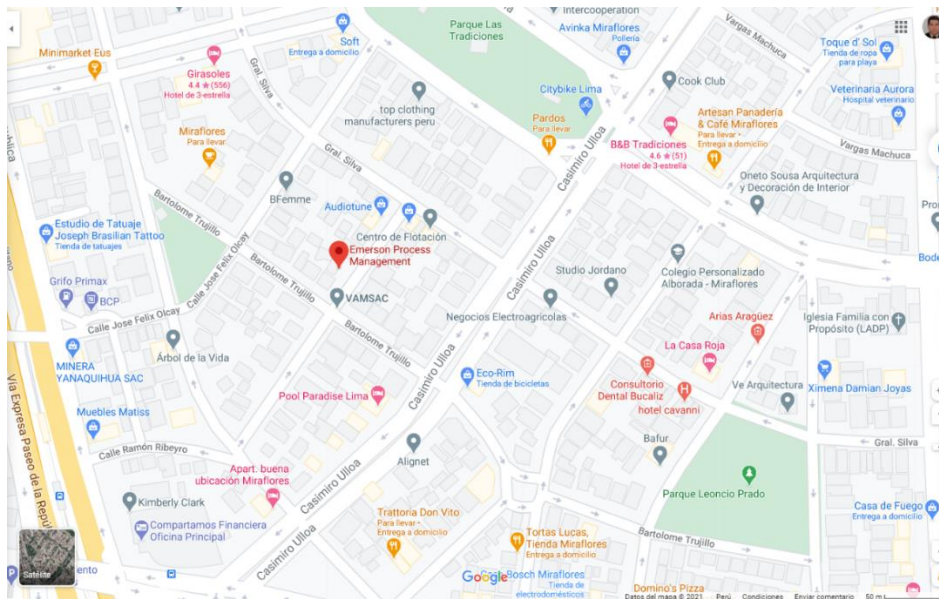


Figura 5. Ubicación de Emerson Perú – Oficinas Lima. Fuente: Google Maps (2021)

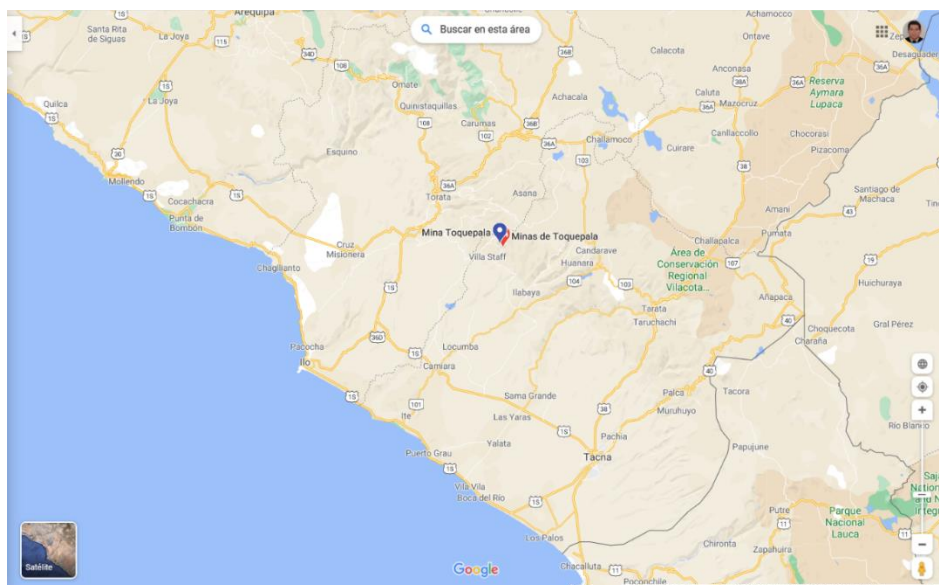


Figura 6. Ubicación de Southern Perú – Site Toquepala, lugar donde se realizó el proyecto. Fuente: Google Maps, Coordenadas -17.21, -70.56 (2021)

### 1.1.3 Productos y Servicios de la Empresa Emerson Perú:

#### 1.1.3.1 Productos Emerson Perú

Emerson Perú tiene seis diferentes Unidades de Negocio, entre ellas tenemos:

- **Rosemount:** Ofrece un amplio portafolio de equipos y tecnología de medición y analíticas para los distintos procesos industriales, para que estos logren operar de manera eficiente, segura y confiable. Aquí tenemos productos para: Medición de presión, medición de caudal, medición de nivel, medición de temperatura, entre otros. Emerson (2021)



*Figura 7.* Transmisor de presión Rosemount Serie 3051. Fuente: Web de Emerson (2021)



- **Daniel y Micro Motion:** Los productos de la marca Daniel ofrecen un conocimiento avanzado y una confiabilidad de la medición de caudal para los procesos industriales más difíciles. Aquí vemos productos para: Medición ultrasónica de flujo para gas y líquidos, accesorios de orificio para medición de caudal por presión diferencial, caudalímetros Coriolis, entre otros. Emerson (2021)



*Figura 8.* Medidores de caudal y densidad de alto desempeño Micro Motion Serie Elite. Fuente: Web de Emerson (2021)

- **Fisher:** Productos y tecnologías de control de fluido muy confiables para la regulación y aislamientos de procesos complejos. Aquí tenemos productos como: Válvulas de control, válvulas de aislamiento y cierre, reguladores y válvulas de alivio, actuadores, entre otros. Emerson (2021)



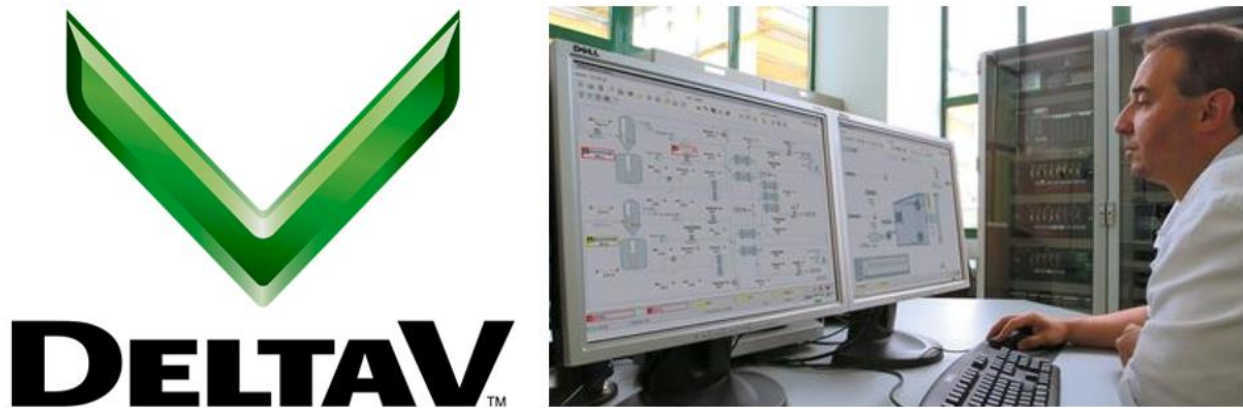
*Figura 9.* Actuadores de diafragma Fisher Serie 657 y 667. Fuente: Web de Emerson (2021)

- **Válvulas de Aislamiento:** Productos para controlar de manera segura y eficiente varios tipos de procesos. Para esto, Emerson tiene una extensa selección de válvulas de aislamiento compuestas por válvulas de bola con muñón, válvulas de mariposa de alto desempeño, válvulas de compensación triple, válvulas de cierre por impacto y válvulas de bola flotantes. Emerson (2021)



*Figura 10.* Válvulas de compuerta Clarkson Serie KGA Plus. Fuente: Web de Emerson (2021)

- **Sistemas de Control Distribuido (DCS):** Los sistemas de control distribuido de Emerson proponen tomar las decisiones para realizar las operaciones de planta de forma exitosa. Emerson combina simplicidad de uso, habilidades de control compleja y una enorme incorporación de sistemas para ofrecer un DCS confiable que simplifique las operaciones complejas y aumente la productividad. Emerson tiene 02 Sistemas de Control Distribuido:
  - El DCS DeltaV™ para las industrias de proceso, optimiza las operaciones al explotar las tecnologías predictivas de hoy de forma simple, intuitiva e interoperable. Emerson (2021)



*Figura 11.* DCS DeltaV. Fuente: Web de Emerson (2021)

- El DCS Ovation™ es una interfaz confiable e innovadora para las industrias de generación de electricidad y tratamiento de agua y aguas residuales. Emerson (2021)

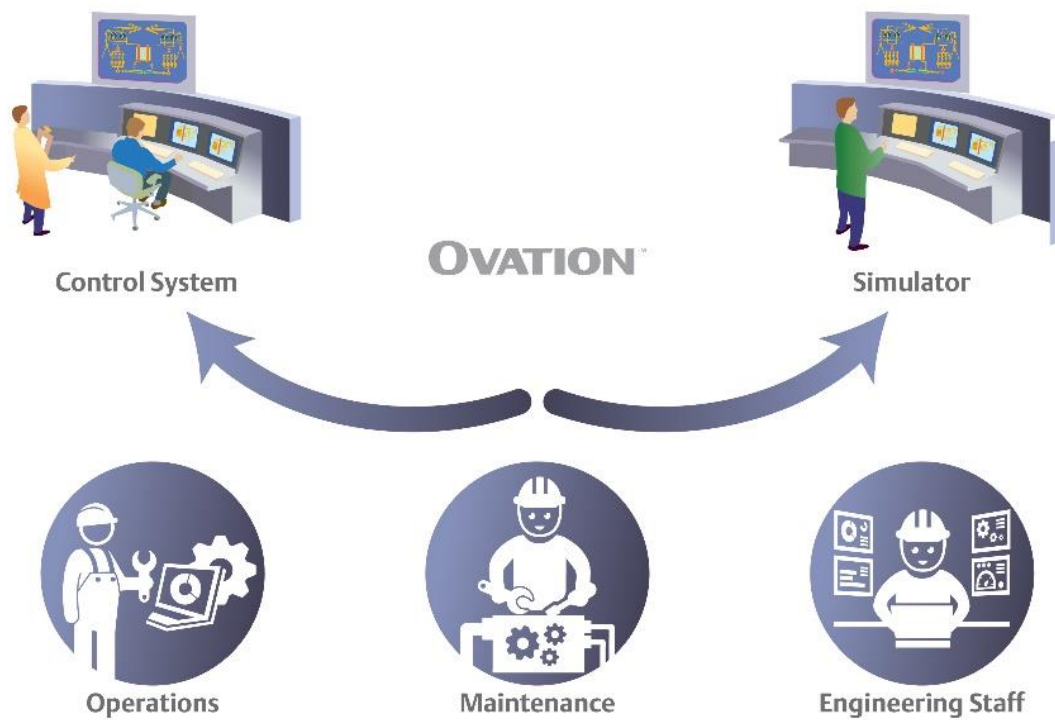


Figura 12. DCS Ovation™. Fuente: Web de Emerson (2021)

- **Soluciones de Confiabilidad:** En el ámbito actual, es sustancial sostener la disponibilidad de activos críticos a través de estrategias de confiabilidad. Las soluciones de monitoreo de condición y confiabilidad de Emerson, ofrece la detección temprana de fallas, para tomar decisiones de veloces y precisas reparaciones antes de que se produzcan paradas no planificadas, mejorando de esta manera los costos de mantenimiento. Emerson (2021)

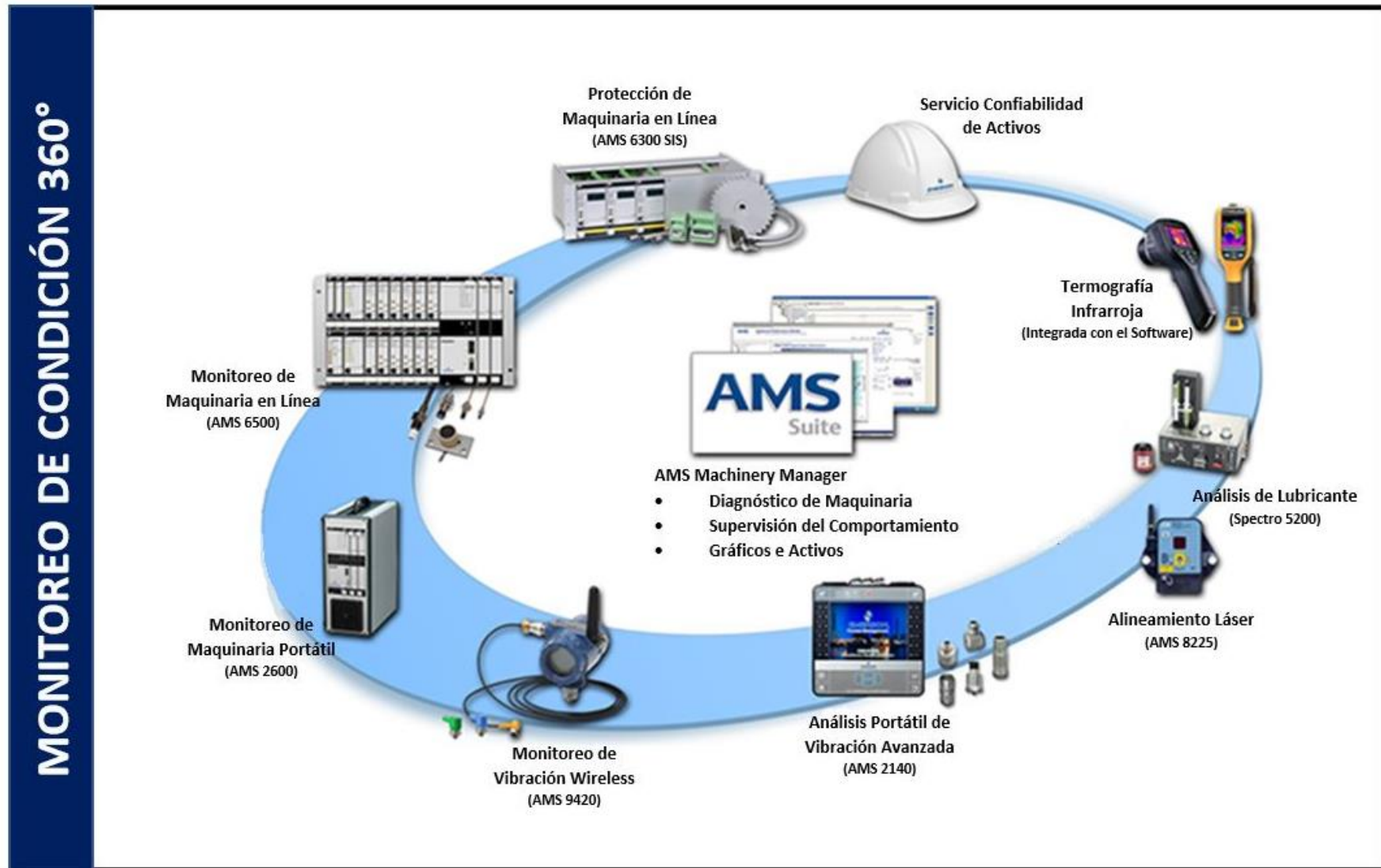


Figura 13. Plataforma de Monitoreo de Condición 360°. Fuente: Web de Emerson (2021)



### 1.1.3.2 Servicios Emerson Perú

Emerson Perú tiene diferentes servicios que soportan todas las Unidades de Negocio. Nuestros especialistas utilizan modernas e innovadoras tecnologías para acelerar la ventaja competitiva. Los ingenieros de proyectos lo respaldan desde el concepto hasta el arranque de la planta. Cuando la planta esté andando, nuestro personal de servicios presta servicios de mantenimiento, confiabilidad y desempeño, donde y cuando se les necesite.

Nuestros servicios educativos pueden entrenar a su equipo durante todo el tiempo de vida útil de la planta.



Figura 14. Servicios Emerson Perú. Fuente: Web de Emerson (2021)

- Los servicios para proyectos brindan un sendero para mejorar el desarrollo del proyecto por medio de la reducción de la dificultad y la adaptación a los cambios de última hora.

- Los servicios del ciclo de vida brindan los conocimientos, los métodos y los procesos para operar de forma segura, incrementar la confiabilidad y mejorar el desempeño de la planta
- Los Servicios educativos ayudan a incrementar la calidad del desarrollo personal para hacer mejor la rentabilidad de la planta y mantenerlo actualizado sobre las tecnologías de Automatización, Control de procesos y Gestión de Activos
- Los servicios de consultoría mezclan liderazgo de opinión, gran experiencia y tecnologías para resolver problemas de alta complejidad.



*Figura 15.* Personal de Servicios Emerson. Fuente: Web de Emerson (2021)



## 1.2 Realidad Problemática

La Superintendencia de Mantenimiento Mina de la Compañía Southern Perú Cooper Corporation – Site Toquepala, es el área responsable de garantizar el desempeño de sus principales activos críticos y detectar eventos que pudiesen desatar fallas para la compañía. En medio de estos activos, los más importantes son las palas eléctricas P&H 4100, quienes son las responsables de abastecer de mineral a los camiones. Cada una de las palas se encarga de 12 camiones aproximadamente, por lo que cualquier problema con ellas genera una enorme pérdida para la empresa.

Una manera de medir la confiabilidad de un equipo es mirar su disponibilidad, la cual en esta clase de máquinas alcanza una disponibilidad mecánica superior al 90% (Komatsu, 2019). La disponibilidad esperada por Gerencia de la compañía Southern es de un 85% lo cual en los años anteriores no se ha logrado, llegando tan solo a un 81.95%.

La baja disponibilidad estos equipos es uno de los problemas principales en el incumplimiento de las metas de la compañía, por lo cual se ha decidido implementar el monitoreo de condiciones de las palas P&H 4100 para lo cual se deberá crear un nuevo sistema y optimizar el área con personal capacitado.

El inconveniente principal de esta clase de palas son las elevadas vibraciones en sus transmisiones que acostumbran a sobrepasar los 7.5 mm/seg RMS (ISO 10816-3, 2009), lo cual genera un mayor desgaste a los componentes y crea fallas inesperadas, lo que genera un considerable tiempo de retraso en el trabajo de extracción de mineral. Por eso se necesita monitorear las vibraciones mecánicas para poder prevenir estas fallas y actuar de forma anticipada, y consecuentemente generar, un plan de mantenimiento predictivo.

En la actualidad se realiza el monitoreo de vibraciones manual en terreno por personal interno de mina, donde se debe detener la producción de la pala aproximadamente por una hora para hacer la toma de datos y existe un gran riesgo de accidente por exposición a los componentes rotativos.

A partir de esta problemática, la presente investigación detecta las causas que generan las paradas en la pala P&H 4100 (ver Anexo 3) utilizando la solución de Emerson, diseñada fundamentalmente para el monitoreo de condición en línea para palas eléctricas, con la intención de incrementar la productividad, minimizar costos operativos, reducir pérdidas por paradas no programadas, disminuir costos de mantenimiento, evitar fallas prematuras en los elementos mecánicos, reducir el consumo de energía, extender el tiempo de vida útil de los equipos, incrementar su desempeño, generar mayor confiabilidad en las máquinas y eliminar el riesgo de exposición del personal.



*Figura 16.* Imagen de visita técnica de relevamiento en pala. Fuente: Elaboración propia (2020)

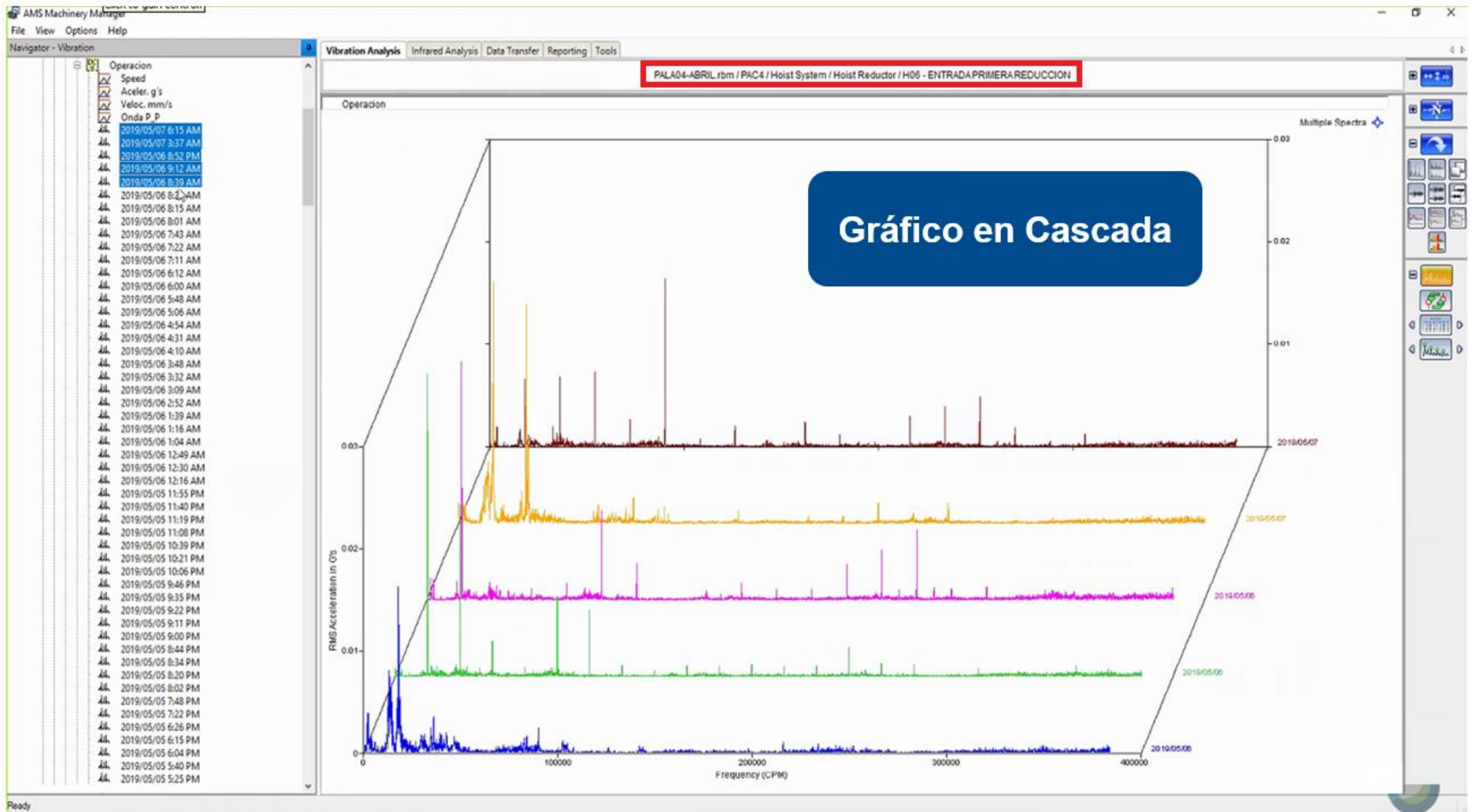


Figura 17. Espectro de vibración del sistema de izaje de la pala, donde se observa las diferentes frecuencias de fallas provenientes de cada componente interno de la transmisión. Fuente: Emerson (2020)

Overall dimensions		
A	Width	14.4 m 47 ft. 1 in.
B	Length	15.0 m 49 ft. 4 in.
C	Height over gantry	14.7 m 48 ft. 3 in.
D	Width of crawler shoes	1930 mm 76 in. 2210 mm 87 in.
E	Width of crawlers (76")	10.2 m 33 ft. 6 in.
F	Length of crawlers	11.7 m 38 ft. 6 in.
G	Ground clearance	0.7 m 2 ft. 2 in.
H	Height — ground to bottom of counterweight slabs	3.6 m 11 ft. 10 in.

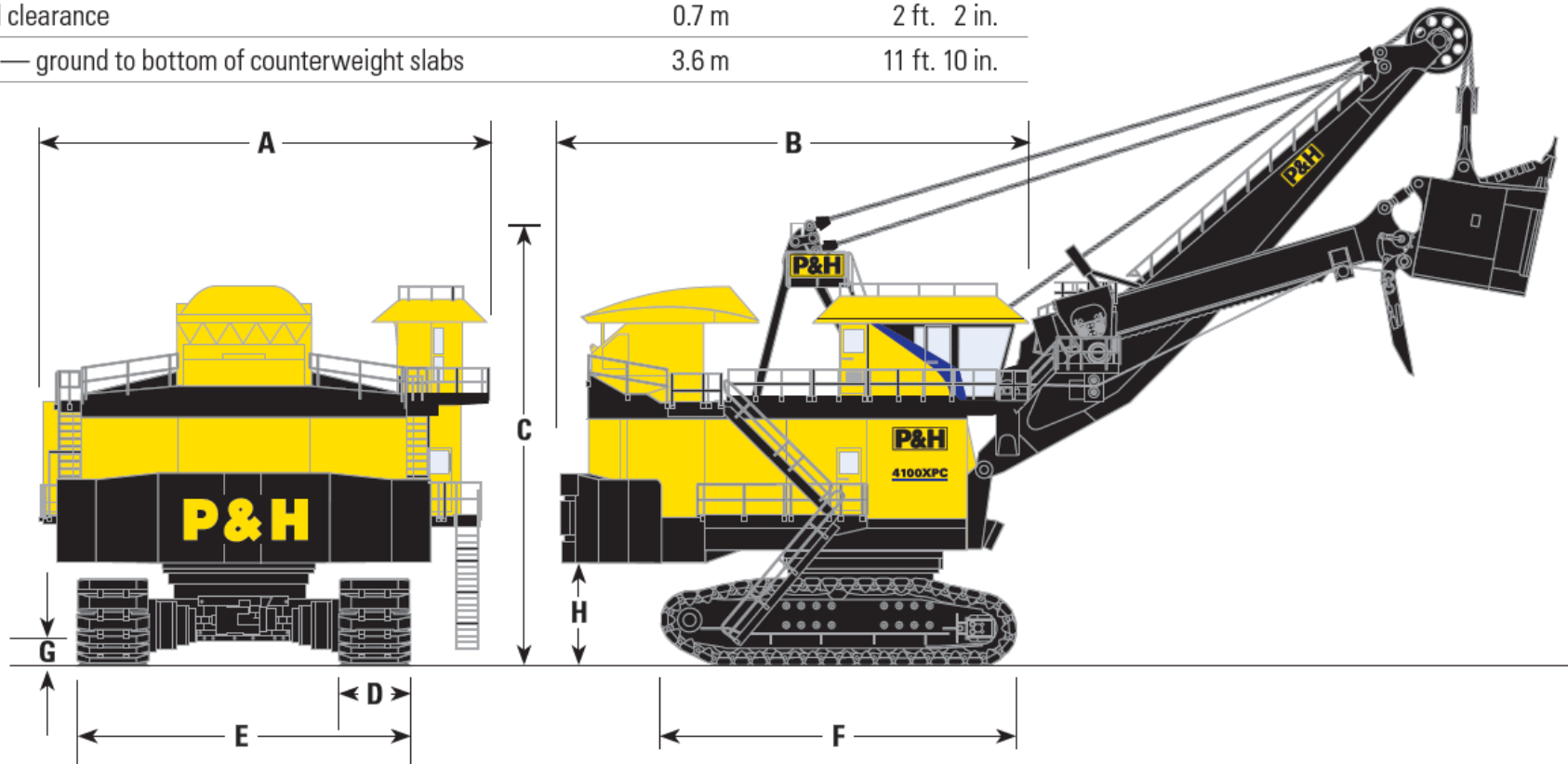


Figura 18. Imagen referencial de Pala P&H 4100. Fuente: P&H (2018)

## **1.3 Formulación del Problema**

### **1.3.1 Problema General**

¿La solución de Emerson para el monitoreo de vibraciones en línea de las palas eléctricas, minimiza las paradas no programadas incrementando la productividad de estos activos críticos de la empresa Southern Peru Cooper Corporation – Site Toquepala?

### **1.3.2 Problemas Específicos**

#### **1.3.2.1 Problema específico 01**

¿Cuál es el proceso actual para el monitoreo de vibraciones de las palas eléctricas en la empresa Southern Peru Cooper Corporation?

#### **1.3.2.2 Problema específico 02**

¿Cuál es el costo de la solución de Emerson para el monitoreo de vibraciones en línea en palas eléctricas en la empresa Southern Peru Cooper Corporation?

#### **1.3.2.3 Problema específico 03**

¿En cuánto se estima el retorno de inversión debido a la implementación de Emerson para el monitoreo de vibraciones en línea de las palas eléctricas en la empresa Southern Peru Cooper Corporation?

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Justificación Teórica**

La maquinaria produce vibración a lo largo de su operación. La vibración es la respuesta a un estímulo interno o externo, el cual causa de que el sistema tenga un movimiento oscilatorio o pulsante. Estos movimientos generan desgaste en los elementos internos de las máquinas, el cual nos crea sobrecostos. Para minimizar estos sobrecostos, es requisito accionar predictivamente estudiando su comportamiento vibracional.

### **1.4.2 Justificación Práctica**

El análisis de vibraciones es la técnica más usada para detectar y diagnosticar problemas mecánicos en maquinaria rotativa industrial, a través de la identificación y detección de las frecuencias de falla involucradas. Medir vibraciones no requiere ningún desmontaje, ni que el equipo sea detenido, por lo tanto, es un procedimiento no invasivo.

### **1.4.3 Justificación Económica**

La presente investigación es importante porque propone la implementación de un sistema de monitoreo en línea para la pala P&H 4100, con la intención de reducir/eliminar las horas por paradas no programadas. Esta implementación tuvo un impacto económico directo en la compañía minera Southern Peru Cooper Corporation – Site Toquepala, ya que se considera que la hora de pala detenida tiene un costo aproximado de \$ 63,000 USD (sesenta mil dólares americanos) por pérdidas en la producción.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Implementar un sistema de monitoreo de vibraciones en línea para incrementar la productividad de la Pala P&H 4100 en la Compañía Minera Southern Perú – Site Toquepala.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

#### **1.5.2.1 Objetivo específico 01**

Determinar el proceso actual para el monitoreo de vibraciones de las palas eléctricas en la empresa Southern Peru Cooper Corporation.

### **1.5.2.2 Objetivo específico 02**

Determinar en cuanto la implementación del sistema de monitoreo en línea en la Pala P&H 4100 reducirá las horas por parada no planificada.

### **1.5.2.3 Objetivo específico 03**

Estimar el costo de la implementación del sistema de monitoreo en línea en la Pala P&H 4100 utilizando como método de cálculo el retorno de la inversión (ROI) en la Compañía Minera Southern Perú – Site Toquepala.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 En el ámbito internacional ()

Dides J. (2018). En su tesis “*Productividad en la gran minería del cobre en Chile: del diagnóstico a los planes de acción*”. Tesis para optar por el título de magister en gestión y dirección de empresas. Universidad de Chile. Santiago. Plantea que la productividad puede ser definida como la relación entre la cantidad de producto generado y los recursos utilizados en un sistema productivo. Desde el punto de vista económico, esto equivale a incrementar los ingresos (manteniendo invariable los costos de producción), reducir los costos de producción (manteniendo invariable los ingresos) o incrementar los ingresos y reducir los costos simultáneamente.

Por otro lado, indica que la productividad no se limita a los aspectos económicos, ya que existe una alta relación entre mayor productividad y calidad, no sólo en relación al producto final, sino además con la solidez de sus procesos, resultando en mayor certeza operacional, menores riesgos e impactos ambientales, excelente ambiente profesional, entre otros.

Este antecedente demuestra la trascendencia del proceso productivo en la minería y lo considera la variable más crítica en este sector. Del mismo modo menciona que una de las formas más efectivas de incrementar la productividad es controlar los costos de producción (ya que no hay forma de controlar el precio de comercialización del mineral). En ese sentido, todos los procesos productivos deben ser eficientes.



Barrientos, V. (2014). En su tesis “*Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto*”. Tesis para optar por el título de ingeniero civil de minas. Universidad de Chile. Santiago. Plantea que los sistemas de pala y camión se usan frecuentemente para carguío y transporte en grandes operaciones mineras y, por lo tanto, representan cerca del 50% del costo de operación, para optimizar la disponibilidad, confiabilidad y mantenimiento. Antecedente es similar a la presente investigación por que busca precisar la relación entre detenciones y productividad de los bienes mineros. Este antecedente se basa en el estudio de las detenciones existentes y cómo mediante la aplicación de diferentes estrategias, es viable incrementar la productividad mensual, lo que traduce en un aumento en los beneficios económicos anuales.

Riquelme M. (2013). En su tesis “*Proyecto en monitoreo de condiciones para mantenimiento predictivo de palas electromecánicas*”. Tesis para optar por el título profesional de ingeniero civil electricista. Universidad de Chile. Santiago. Sostiene que el aprovechamiento de minas a cielo abierto requiere de una gran maquinaria de extracción y movimiento de tierras. Este conjunto de máquinas se puede descomponer en cuatro grupos principales: palas, camiones, perforadoras y equipos auxiliares. Las más importantes en el ciclo productivo son las palas, ya que de ellas dependen de diez a quince camiones que transportan el mineral. Por esta razón, una falla inesperada de una pala tiene impacto mucho mayor en la producción que si falla un camión, perforadora u otro equipo auxiliar.

Por lo tanto, el antecedente concluye que el mantenimiento apropiado de las palas mineras es de vital importancia, por lo que se debe contar con una buena estrategia de mantenimiento, que debe incluir planes correctivos, preventivos y predictivos. Es por ello que monitorear las vibraciones de las palas genera la capacidad de anticipar una falla, que es la base de lo que se denomina mantenimiento predictivo.

En este antecedente se evalúan diferentes sistemas de monitoreo de vibraciones en línea para palas electromecánicas de tres diferentes fabricantes y se observa que, en 2013 en Chile, ya existía alguna experiencia con este tipo de análisis. A diferencia que, en Perú, Emerson es el primer fabricante en desarrollar con éxito esta solución. Mi trabajo de suficiencia profesional comparte muchas características similares al elaborado por Riquelme M. y me sirvió de soporte durante el desarrollo de mi trabajo.

Ramirez M. (2003). En su tesis “*Técnicas para el monitoreo en línea, de la condición del sistema de aislamiento de generadores eléctricos*”. Tesis para optar por el título profesional de ingeniero eléctrico-electrónico. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. Afirma que el mantenimiento de los equipos en general juega un papel decisivo en el cumplimiento de su vida útil, la importancia de seleccionar un programa de mantenimiento adecuado tiene un impacto directo en el rendimiento de la máquina y su funcionamiento óptimo. Por eso es muy valioso buscar las mejores opciones para planear y ejecutar el mantenimiento.

Debido al alto costo de reparación de los equipos, es preciso implementar un método de mantenimiento distinto al tradicional (correctivo y preventivo) y basado en la medición directa del estado del equipo. Este nuevo esquema de mantenimiento se denominó de tipo predictivo. El mantenimiento predictivo tiene como objetivo optimizar los recursos y utiliza diversas tecnologías para determinar la condición del equipo midiendo y analizando la tendencia de los parámetros característicos durante su operación. Este tipo de mantenimiento está diseñado para otorgar un monitoreo constante del estado físico del equipo, minimizando el tiempo de inactividad del equipo reduciendo los costos de mantenimiento y optimizando el funcionamiento de la máquina para cumplir con su vida útil.

El antecedente de Ramirez M. se desarrolla para la medición de descargas parciales (y otros parámetros) en generadores eléctricos, esta considerablemente relacionada con mi trabajo de suficiencia profesional, ya que denota la trascendencia de desarrollar un mantenimiento predictivo a través de un método de monitoreo de las diferentes variables del activo. Además, estoy de acuerdo con Ramirez. M, en que el mantenimiento predictivo puede generar mucho ahorro en el proceso productivo, ya que menciona que un problema detectado se puede reparar con un costo menor al 10% de lo que costaría un daño mayor.

### 2.1.2 En el ámbito nacional

Lopez R. (2018). En su tesis *“Aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la productividad de la maquinaria pesada portuaria en la empresa APM Terminals, Callao 2017”*. Tesis para optar por el título profesional de ingeniero industrial. Universidad Cesar Vallejo. Perú – Lima. Afirma que la productividad está relacionada con los resultados alcanzados en un proceso o sistema, por lo que aumentar la productividad conduce a mejores resultados considerando los recursos utilizados para generarlos. También indica que el conocimiento de productividad ha evolucionado, adaptándose a las necesidades de competitividad de los mercados. La productividad es el desarrollo de la mejora continua a través de la “calidad de gestión” y la “calidad del trabajo”, siendo su desarrollo el motor de avance económico y social de las empresas.

En el antecedente de Lopez R. destaca la importancia de medir la productividad y otros diferentes indicadores de gestión de su maquinaria pesada, para desarrollar un programa de trabajo. En este caso, tenemos en común, que consideramos a la productividad como un excelente indicador para conocer el estado de nuestros equipos y así mismo, la influencia directa en otros indicadores de gestión como: disponibilidad, eficiencia, desempeño, seguridad, etc.

Manini R. (2016). En su tesis *“Diseño de estrategias en mantenimiento para el aumento de la productividad en una flota de carguío y acarreo de un proyecto minero”*. Tesis para optar por el título profesional de ingeniero mecánico. Universidad Nacional del Callao. Perú – Lima. Propone que, para garantizar la producción, se deben desarrollar estrategias de mantenimiento para aumentar la

productividad de la flota de carga y transporte de un proyecto minero optimizando costos, vida útil de los equipos y riesgos de los activos. Además, los beneficios de emplear estrategias de mantenimiento generan una adecuada gestión de riesgos en los activos, aumentan la vida útil, reducen los costos por paradas de mantenimiento y, sobre todo, aseguran la confiabilidad y disponibilidad de ellos equipos, lo que se refleja directamente en el crecimiento de la productividad.

En este antecedente se propone desarrollar estrategias de mantenimiento para aumentar la productividad, con el fin de garantizar la producción de las unidades mineras. En este sentido, estamos completamente de acuerdo en que cada etapa del proceso de producción minera, y esto incluye la carga y transporte de mineral, se debe asegurar que se eviten paradas no programadas, así como garantizar la confiabilidad, disponibilidad y productividad de los equipos.

Castillo A. (2018). En su tesis *“Aplicación, análisis y diagnóstico del monitoreo en línea de descargas parciales en el aislamiento de motores anillo de gran potencia (24 MW/16 MW) que accionan molinos gearless mill drive gmd”*. Tesis para optar por el título profesional de ingeniero electricista. Universidad Nacional de San Agustín. Perú – Arequipa. Propone que el monitoreo de condición en línea ayudará efectivamente a optimizar el nivel de mantenimiento o reparación que se debe proporcionar el equipo durante su vida útil, al poder prever el número de horas de reparación, las horas hombre demandadas y los recursos en repuestos y/o consumibles para las tareas de mantenimiento preventivo. Por este motivo, la aplicación del monitoreo de condición está alineada con la tendencia del mantenimiento predictivo de clase mundial con la aplicación de métodos no invasivos

y que se necesitan principalmente para obtener el comportamiento de los equipos en tiempo real.

En el antecedente de Castillo A. se fundamenta en la importancia de poder vigilar la salud de sus activos a través del monitoreo online. En este caso, desarrolla su tesis para la medición de descargas parciales en el accionamiento (estator y rotor) de molinos mineros sag. También, detalla la importancia de desarrollar mantenimiento predictivo en los equipos críticos del proceso minero, para que a partir de ahí se planifique y programe el desarrollo de estrategias de mantenimiento que garanticen la productividad, confiabilidad y disponibilidad de los activos.

Corcuera L. (2019). En su tesis “*Diseño de un sistema de monitoreo de vibraciones online para la detección y el diagnóstico de fallas de un motor trifásico de inducción*”. Tesis para optar por el título profesional de ingeniero mecatrónico. Universidad Nacional de Trujillo. Plantea que existe una gran necesidad de monitorear el estado de los motores trifásicos críticos en la industria. Sin embargo, al instante de realizar el trabajo, notan problemas de inaccesibilidad y tiempo limitado del inspector y analista predictivo, lo que exige la búsqueda de sistemas automatizados que llenen estos vacíos. En este antecedente se desarrolla una solución mediante el diseño de un sistema de monitoreo de vibraciones en línea que permite conseguir información en tiempo real, descubrir fallas prematuras, evitando así paradas no planificadas sin necesidad de personal para realizar la tarea de recolección de datos.

Este antecedente tiene mucha semejanza con mi trabajo de suficiencia profesional, ya que desarrolla la implementación de un sistema de monitoreo en línea

en motores eléctricos, indica la forma de procesamiento de la señal y la forma de encontrar los principales modos de falla. Resulta que, para mi estudio, los principales componentes impulsores de las palas eléctricas también son motores eléctricos, que accionan transmisiones por engranajes y tambores. Sin embargo, se destaca la importancia de poder obtener los datos del equipo a través de un moderno sistema de recolección continuo, ya que realizar el trabajo de forma presencial requiere mucho esfuerzo físico, alta disponibilidad de personal y que de alguna manera expone al personal al riesgo inherente de estar en contacto con equipos rotativos.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Minería en el Perú**

El Perú es una nación con una tradición minera milenaria, práctica que mantiene y cultiva gracias a la presencia de empresas líderes internacionales. Tenemos un formidable potencial geológico, la presencia de los Andes en todo el territorio constituye una importante fuente de recursos minerales.

A nivel mundial y latinoamericano, Perú se encuentra entre los primeros productores de diversos metales (incluyendo oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros), reflejando no sólo la abundancia de recursos y la capacidad de productividad minera peruana, sino además la estabilidad de la política económica de nuestra nación.

Los minerales producidos en el Perú tienen una gran demanda en el mercado mundial actual, cuyo desarrollo depende de la producción y la industria. Estados Unidos, China, Suiza, Japón, Canadá y la Unión Europea son los principales demandantes (Ministerio de Energía y Minas, 2021).

La actividad minera aporta en promedio el 14% del producto bruto interno nacional, representa más del 60% de las exportaciones totales y aporta alrededor del 30% del impuesto a la renta empresarial (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2021).

Tabla 2.

*Posición del Perú en el ranking mundial de producción minera*

<b>Item</b>	<b>Producto</b>	<b>Latinoamérica</b>	<b>Mundo</b>
1	Oro / Gold	1	6
2	Cobre / Cooper	2	2
3	Plata / Silver	2	2
4	Zinc / Zinc	1	2
5	Plomo / Lead	1	4
6	Estaño / Tin	2	6
7	Molibdeno / Molybdenum	2	4

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2017)



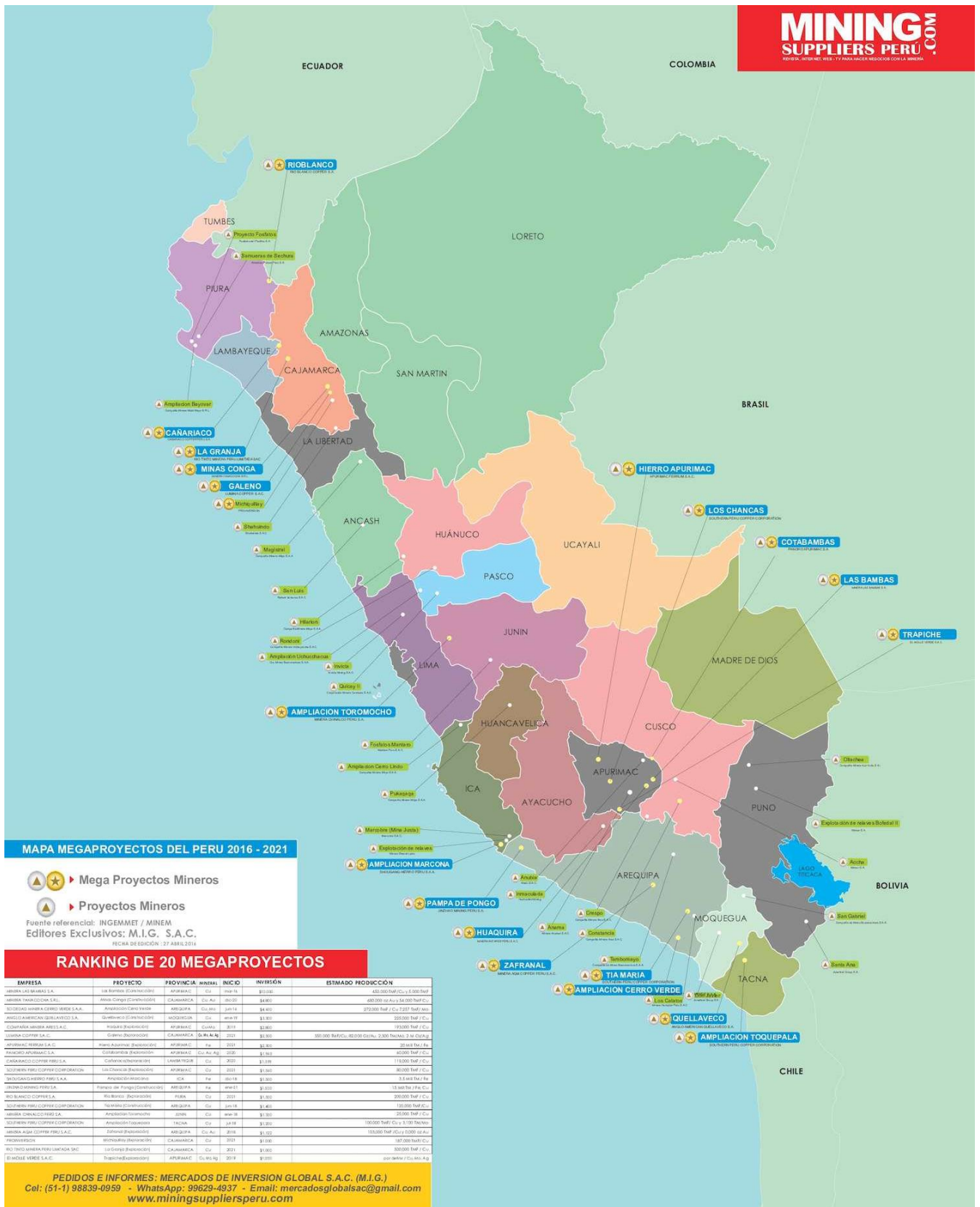
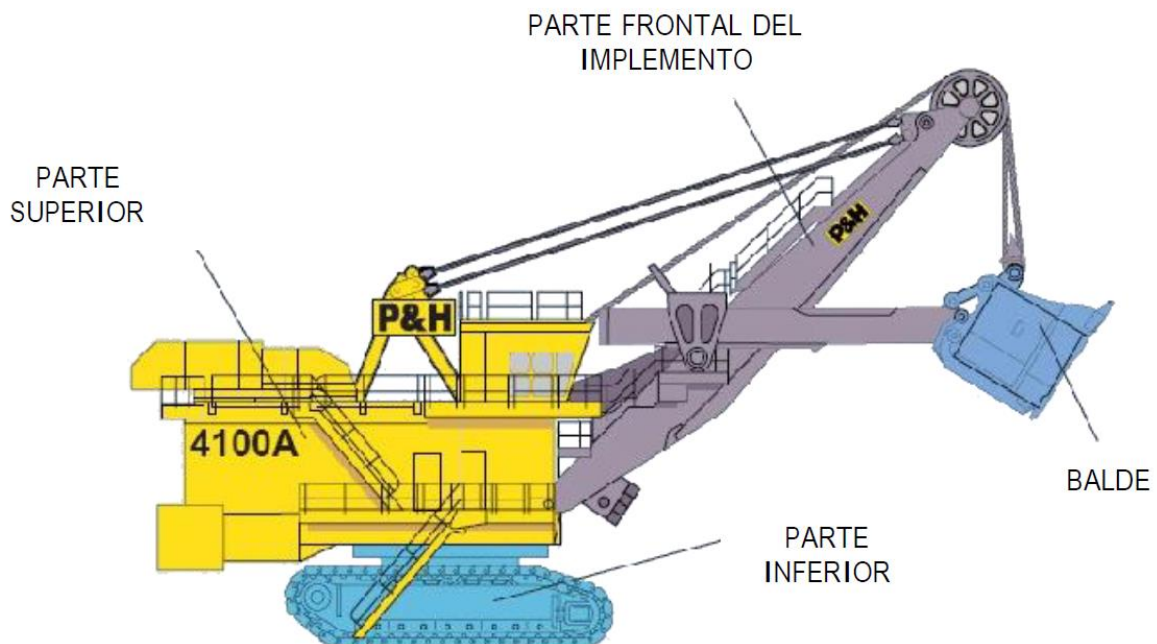


Figura 19. Mapa megaproyectos mineros del Perú 2016 – 2021. Fuente: Minning Suppliers Perú (2020)

### 2.2.2 Pala Eléctrica P&H 4100

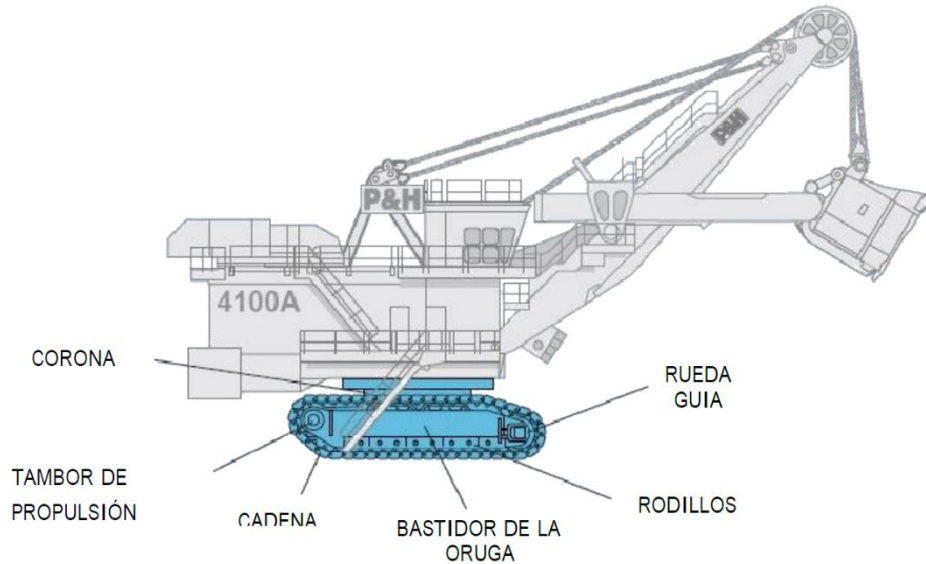
Las palas eléctricas, son diseñadas para la gran minería, son una especie de excavadora frontal eléctrica autopropulsada sobre sus orugas, que utiliza cables para impulsar el movimiento del cucharón. Las palas eléctricas son las excavadoras más grandes y están especialmente diseñadas para excavar y cargar mineral.

Las palas eléctricas utilizan motores eléctricos, reductores, tambores y cables para ejecutar todos los movimientos para excavar, cargar y propulsar. La pala eléctrica consta de tres conjuntos principales: la parte inferior, la parte superior y el implemento con su cuchara (Maquinarias Pesadas, 2020).



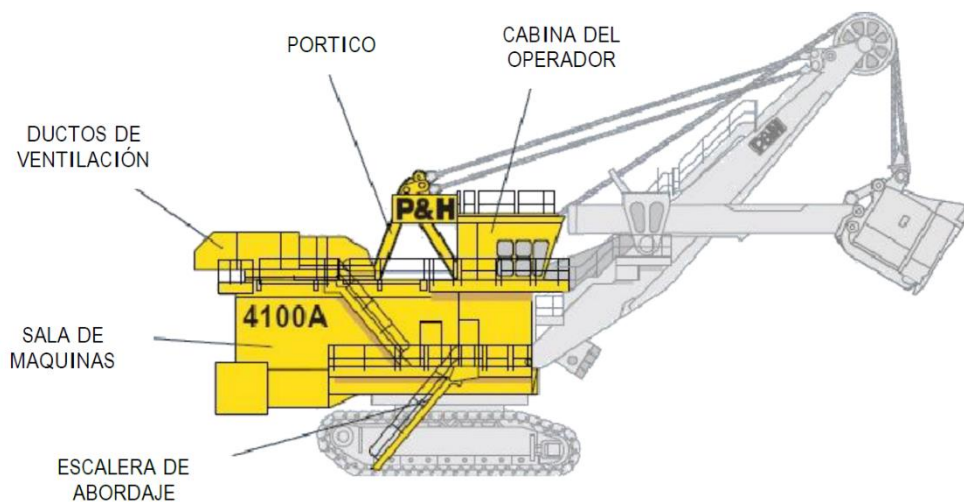
*Figura 20.* Partes de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)

La parte inferior proporciona una base firme para la maquinaria e incluyen un sistema de orugas para su propulsión y una corona para el sistema giratorio.



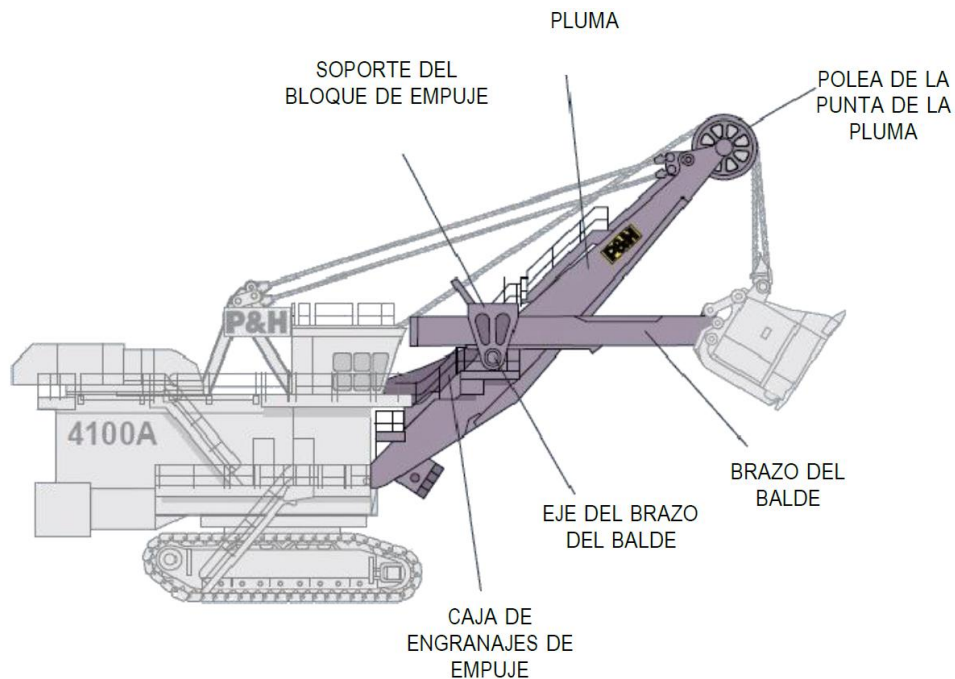
*Figura 21.* Parte inferior de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)

La parte superior proporciona una plataforma para el izaje y giro de la maquinaria, la pluma para el implemento, los gabinetes de control electrónico, el compartimiento de operación y soportes de los equipamientos.



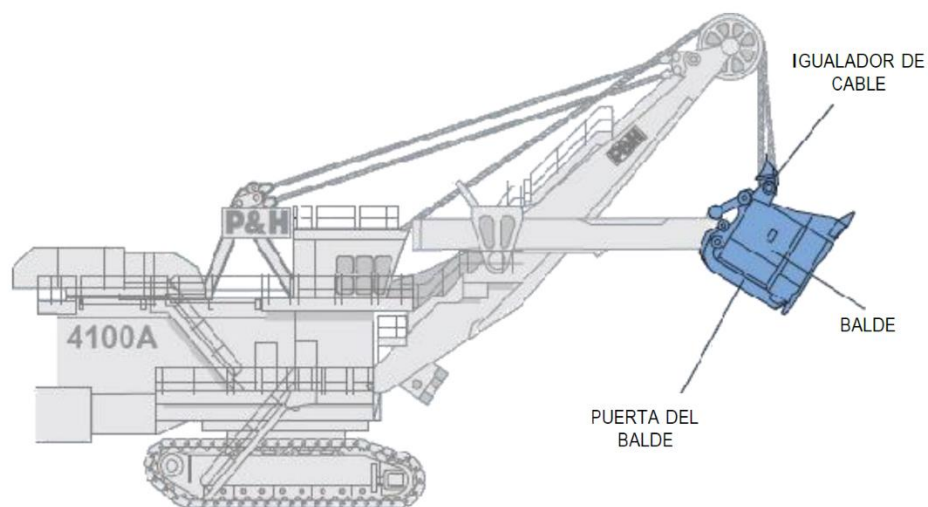
*Figura 22.* Parte superior de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)

El implemento consta de la pluma, el empuje y asa del cucharón.



*Figura 23.* Implemento de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)

Y finalmente, en la pala también hay un componente llamado cucharón, que se utiliza para cargar el material y descargarlo en el camión minero.



*Figura 24.* Cucharón de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)



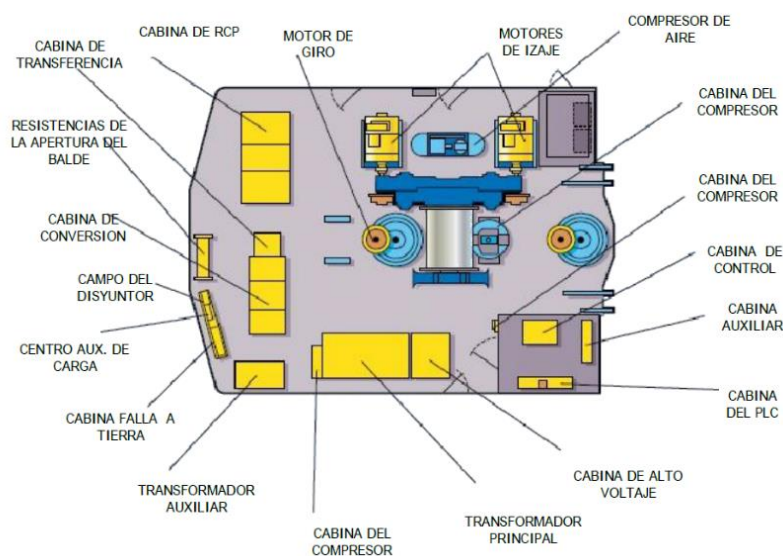
### 2.2.2.1 Sistemas Principales de la Pala Eléctrica

- **Sistema Eléctrico**

Esta pala funciona y se controla mediante electricidad. Los motores eléctricos interconectados a accionamientos mecánicos impulsan la pala. El sistema de distribución eléctrica de la mina suministra corriente alterna a la pala, a través de un cable de alimentación que se conecta a la parte posterior de la base inferior. La potencia se transmite desde el conector del cable de alimentación en el chasis inferior al chasis superior (giratorio) a través de sistema de alto voltaje (Maquinarias Pesadas, 2020).

Los movimientos primarios de la pala eléctrica son:

- Propulsión
- Giro
- Izaje
- Empuje



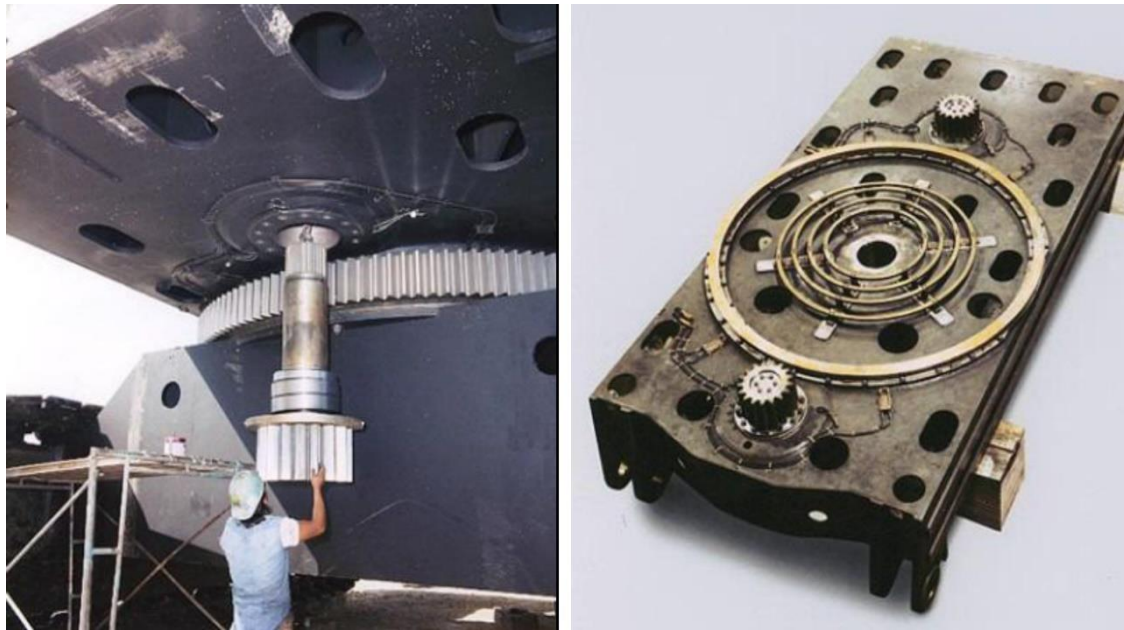
*Figura 25. Componentes de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)*

El movimiento de propulsión se utiliza para trasladar la máquina de un lugar a otro. Una vez frente a la zona de carga, la pala queda estacionada y el accionamiento sólo es necesario para posicionar la máquina. La velocidad máxima que puede desplegar una pala eléctrica es 1.6 Km/h (Maquinarias Pesadas, 2020).

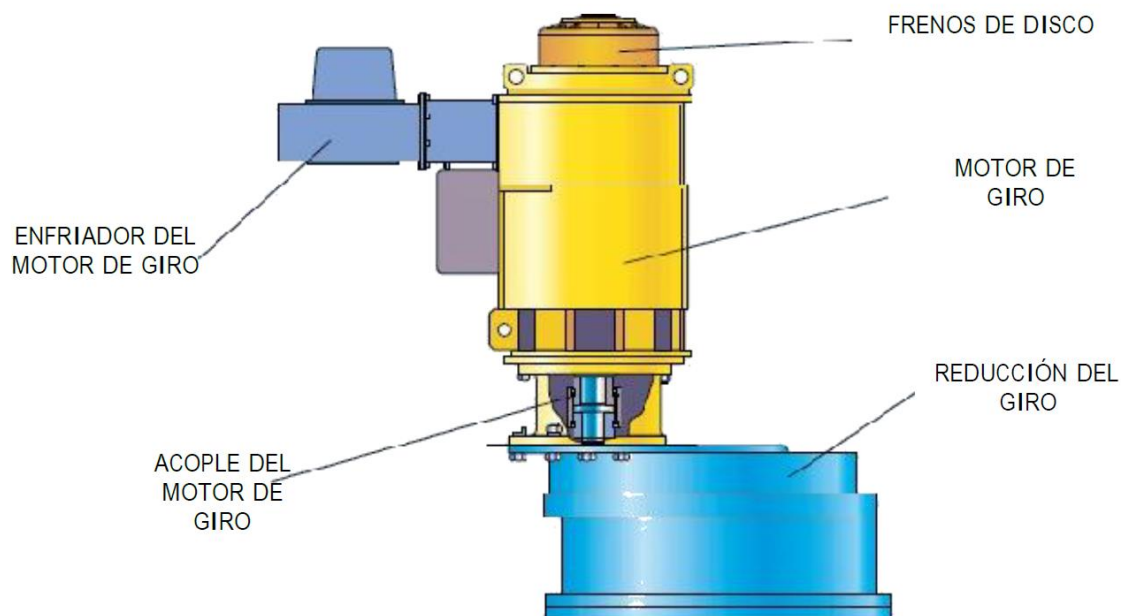


*Figura 26.* Sistema de propulsión de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)

En el movimiento de giro, la parte superior de la pala es giratoria con respecto a la parte inferior y está centrada por un pasador montado en la parte inferior. Los motores eléctricos aseguran que la maquinaria gire, esto se logra girando el piñón en el anillo giratorio. En el caso de las palas eléctricas, normalmente se utilizan varios mandos giratorios para hacer pivotar la máquina desde el frente de carga hasta las unidades de transporte. El periodo de transporte puede durar entre 25 y 45 segundos, según la máquina, la carga, el ángulo de rotación y la eficiencia del operador (Maquinarias Pesadas, 2020).



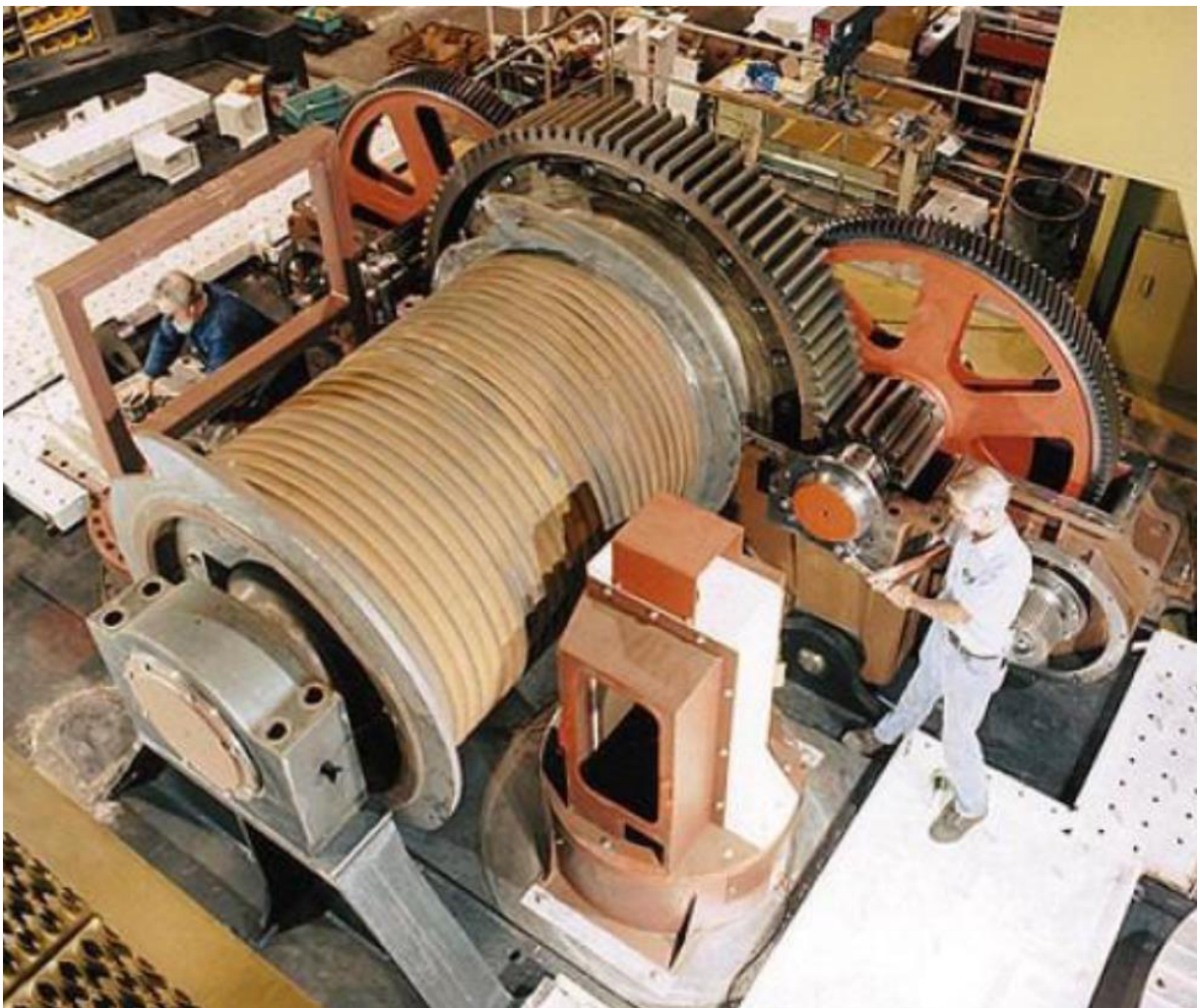
*Figura 27.* Sistema de giro de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)



*Figura 28.* Gráfico sistema de giro de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)

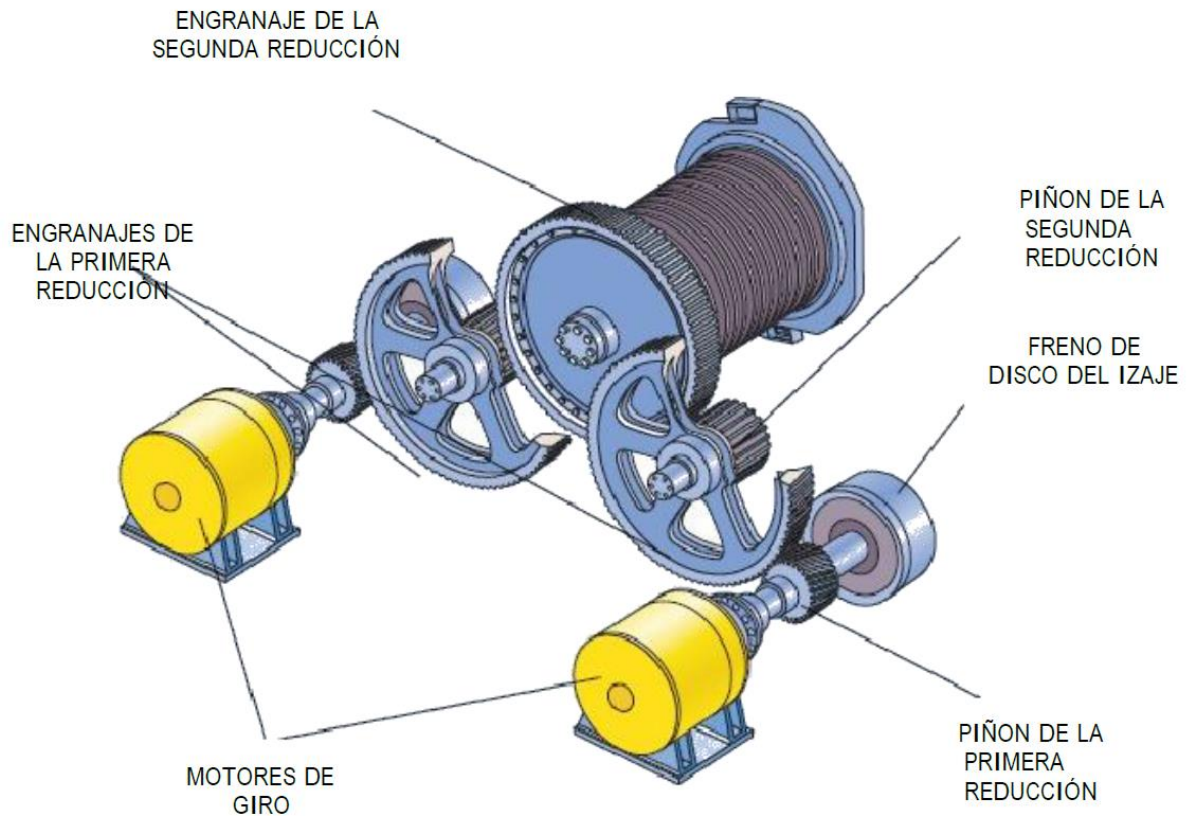


El movimiento de Izaje en las palas eléctricas consiste en un cable envuelto en un tambor que es girado por los motores de izaje. Cuando el operador mueve la palanca de elevación para elevar el cucharón, el tambor gira y el cable se enrolla en el tambor. Para bajar el cucharón, se gira el tambor en la dirección opuesta (Maquinarias Pesadas, 2020).



*Figura 29.* Sistema de izaje de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)





*Figura 30.* Gráfico sistema de izaje de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)

El movimiento de empuje de una pala eléctrica se refiere al movimiento del cucharón hacia el frente de la carga. Dependiendo de la fabricación de la pala, este movimiento y el movimiento de retracción asociado pueden realizarse mediante un piñón que impulsa el brazo del cucharón o un cable que controla el brazo del cucharón. En ambos casos, la carga se realiza cuando la cuchara es empujada y levantada al mismo tiempo por la zona de carga (Maquinarias Pesadas, 2020).

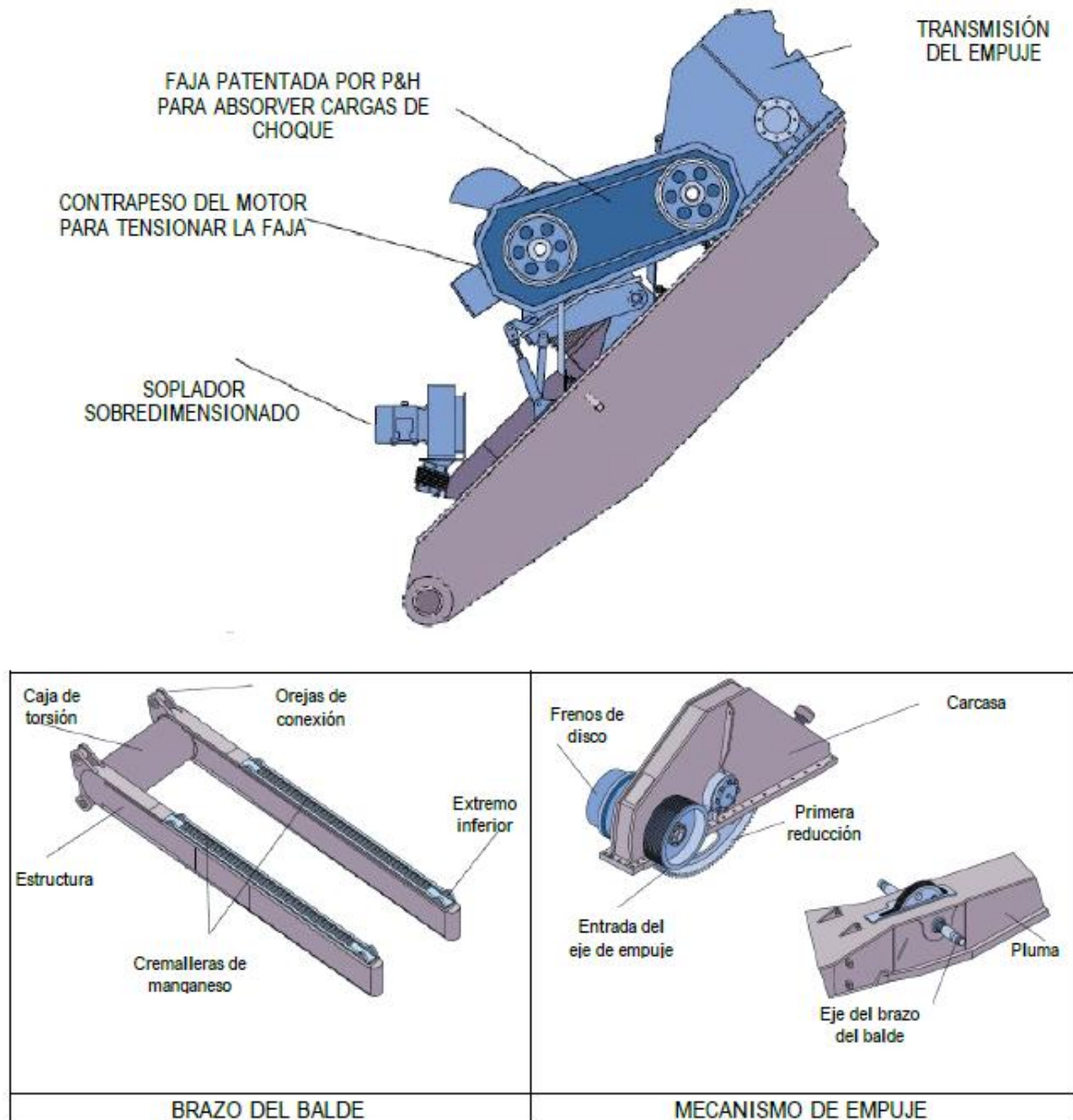


Figura 31. Gráfico sistema de empuje de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)

La cuchara se abre mediante un dispositivo controlado desde la cabina y se cierra por contacto con la superficie.

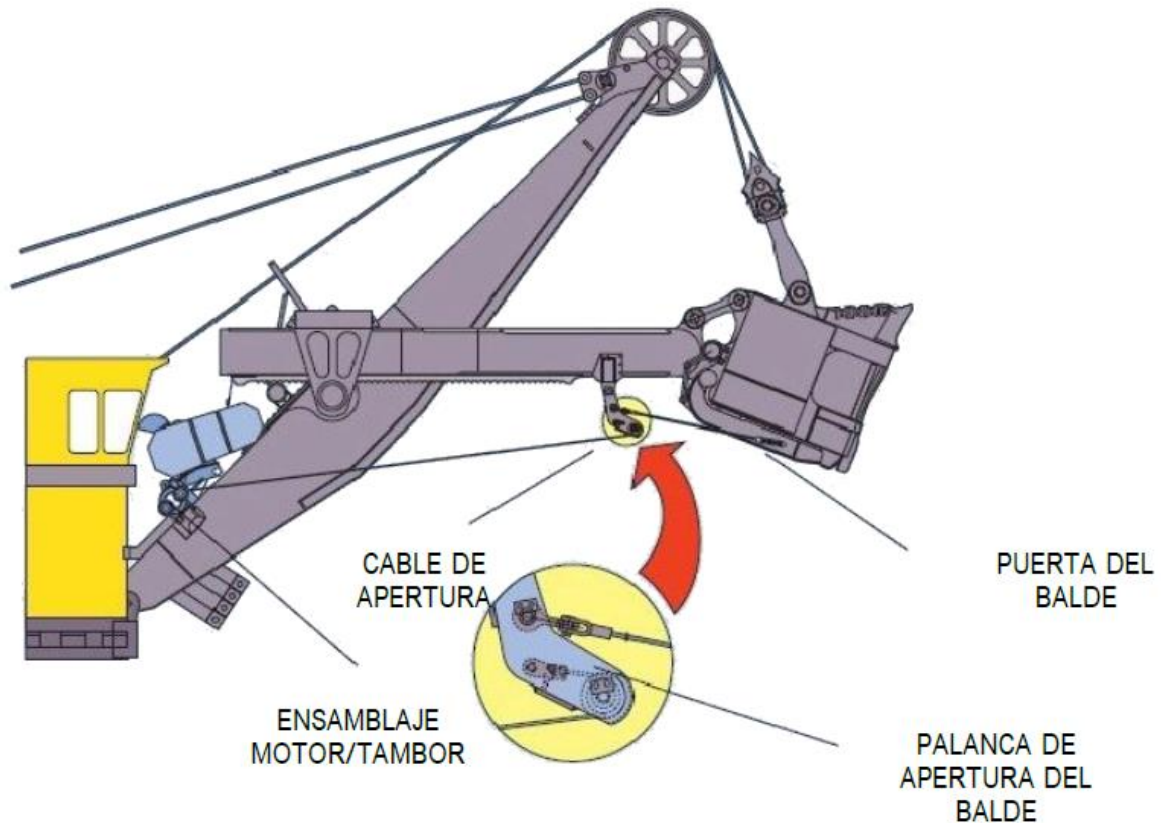


Figura 32. Gráfico de apertura de cucharón de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Maquinarias Pesadas (2020)

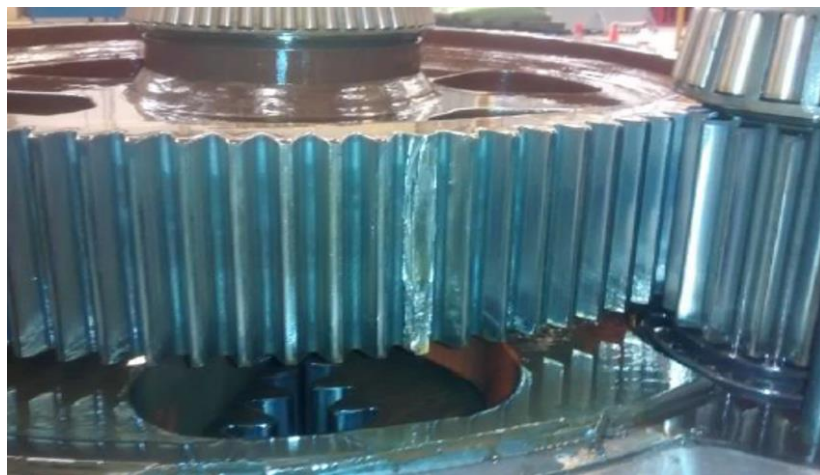
#### 2.2.2.2 Fallas Críticas en la Pala

La falla más crítica recurrente en estas palas se presenta en sistema de Izaje, donde encontramos:

- Un tambor de izaje de gran diámetro.
- Engranajes de izaje integral simple-helicoidal.
- Conjunto de motor y freno de izaje.

La transmisión de potencia del sistema de izaje se realiza mediante los dos motores eléctricos, que están acoplados directamente al eje del piñón de la primera reducción, que está conectado a un eje paralelo adicional, donde se ubica la segunda reducción. Ambos engranajes se comunican con el tambor principal, que mediante cables de acero se encarga de la elevación del cucharón (ver Anexo 1).

Las fuertes vibraciones que comienzan a producirse en las transmisiones debido a problemas de desalineamiento, holgura, deformación o falla de rodamientos causan fallas catastróficas del sistema de transmisión. El costo de la transmisión es de \$400,000 USD a los que debemos añadir, el costo de transporte, el tiempo de entrega, el tiempo de reemplazo del mecanismo y el tiempo que la pala deja de producir debido a esta parada no planificada, que tarda unos diez días. Por lo tanto, es muy importante conocer las diferentes características de la caja de transmisión y sus componentes para lograr establecer los puntos críticos donde se colocarán los respectivos sensores de vibración (Riquelme, M., 2013).



*Figura 33.* Falla catastrófica sistema de izaje de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Emerson Chile (2018)



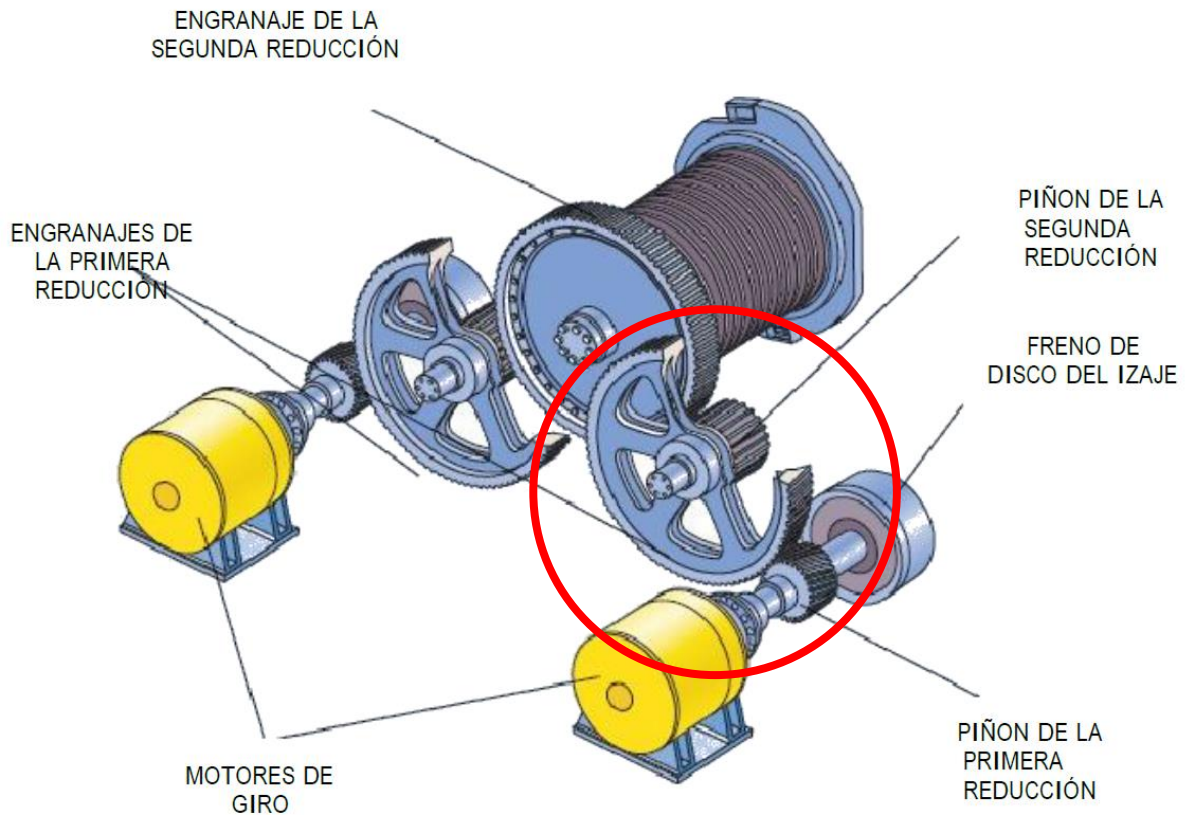


Figura 34. Detalle de sistema de izaje de la pala eléctrica P&H 4100. Fuente: Riquelme, M. (2020)

## 2.2.3 El Mantenimiento de los Equipos

### 2.2.3.1 Historia del Mantenimiento

A finales del siglo XVIII y principios del XIX, durante la revolución industrial, se iniciaron los trabajos de reparación de las primeras máquinas, así como los conceptos de competitividad, costos, entre otros. También, empezaron a tener en cuenta los fallos de las máquinas y empezaron a notar de que esto producía cortes de producción. Tal fue la necesidad de comenzar a registrar estas fallas que, en la década de 1920, comenzaron a surgir las primeras estadísticas sobre índices de fallas en motores y equipos de aeronáutica.

Por tanto, podemos deducir que la historia de mantenimiento va de la mano de perfeccionamiento técnico-industrial, ya que las primeras reparaciones comenzaron con las primeras máquinas. La mayoría de las fallas que ocurrieron en ese momento fueron consecuencia de grandes abusos o esfuerzos a los que fueron sometidas las máquinas, hasta que fue imposible seguir utilizando los equipos. Hasta 1914, el mantenimiento era de importancia secundaria y lo realizaba el mismo personal operativo y de producción.

Con la llegada de la Primera Guerra Mundial y el inicio de una producción en serie, las fábricas debieron instaurar cronogramas mínimos de producción para que comenzaran a considerar la necesidad de establecer equipos que realizaran el mantenimiento de las máquinas en la línea de producción en el mínimo tiempo posible. Así surgió un área subordinada a la operación, cuyo objetivo era realizar el mantenimiento ahora conocido como Mantenimiento Correctivo. Esta situación duró hasta la década de 1950.

No fue hasta 1950 que un conjunto de ingenieros japoneses inició un nuevo criterio de mantenimiento que estrictamente seguía las recomendaciones de los fabricantes de equipos referente a cómo cuidar la operación y mantenimiento de las máquinas y sus unidades. Esta nueva forma de mantenimiento se llama Mantenimiento Preventivo.

A partir de 1976, con el fortalecimiento de las asociaciones nacionales de mantenimiento fundadas al final del periodo anterior y el desarrollo de los instrumentos de protección y medición, la tecnología de mantenimiento comenzó a desarrollar criterios para predecir fallas y así visualizar el desempeño de optimización de los equipos de mantenimiento. Estos criterios se denominaron

Mantenimiento Predictivo y se asociaron con métodos de control y planificación de mantenimiento.

También se generaron otros tipos de mantenimiento como el Mantenimiento Productivo, que fue una nueva tendencia que determinó una perspectiva más profesional. Se asignó mayor responsabilidad a las personas relacionadas con el mantenimiento y se consideró la confiabilidad y el diseño de los equipos (Mantenimiento, 2018).

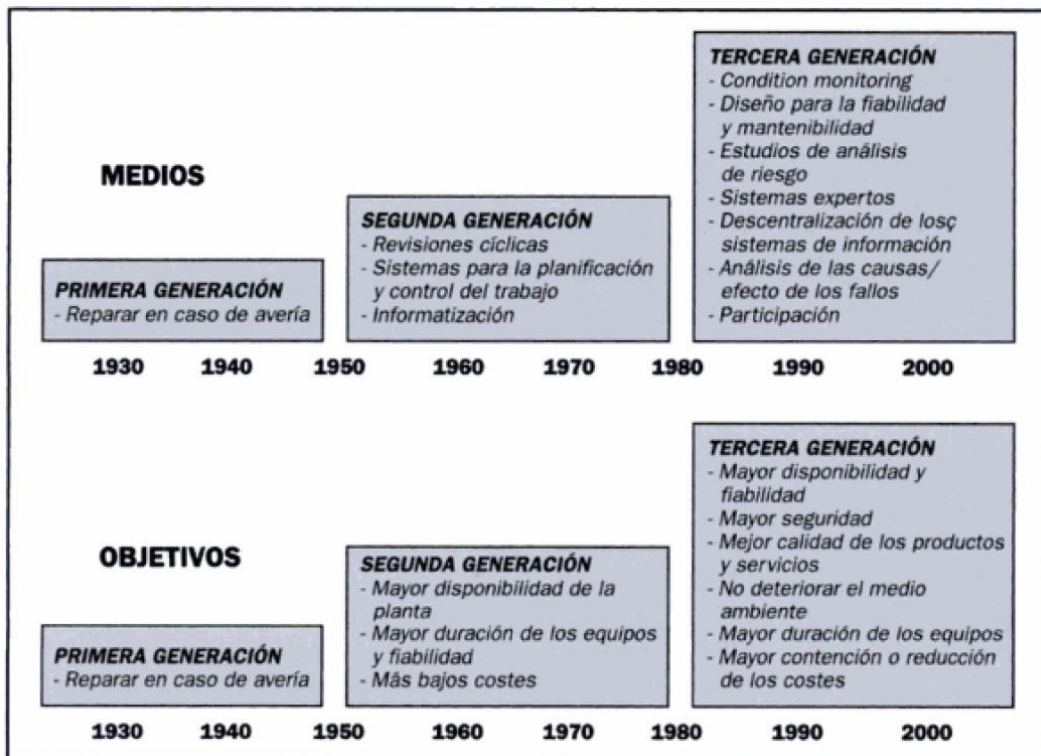


Figura 35. Evolución del mantenimiento. Fuente: Gonzales, F. (2005).

### 2.2.3.2 Tipos de Mantenimiento

#### **Mantenimiento Correctivo:**

Incluye el mantenimiento que se realiza para reparar fallas en equipos o maquinaria. Se clasifica en:

- **No planeado.** Es mantenimiento de emergencia. Debe realizarse con carácter de urgente, ya sea por un fallo imprevisto que deba ser compuesto lo antes posible, o por una condición imperativa a cumplir (problemas de seguridad, contaminación, aplicación de la normativa legal, etc.).
- **Planeado.** Se sabe de antemano qué hacer, de modo que cuando se para el equipo para ejecutar la reparación, se dispone de personal, repuestos y el expediente técnico necesario para realizarla correctamente (Mantenimiento, 2018).

#### **Mantenimiento Preventivo:**

Es el mantenimiento que se realiza para impedir que ocurran fallas. Se le llama mantenimiento preventivo o periódico, ya que sus actividades son cronometradas y basadas en la confiabilidad del equipo.

Este tipo de mantenimiento cuenta con metodologías y procedimientos que se pueden emplear en otras áreas. Por ejemplo, en la gestión de proyectos, siempre es mejor anticipar un error, prepararse antes de usar más dinero en imprevistos en el futuro (Mantenimiento, 2018).

#### **Mantenimiento Predictivo:**

Este mantenimiento se fundamenta en inspecciones periódicas para determinar el estado y condición de los equipos, mediante la comprensión de los parámetros del proceso que permiten reconocer el nivel de “salud” de sus componentes; esto



se hace a intervalos regulares para impedir fallas catastróficas, pero también le permite adquirir repuestos con anticipación, programar horas hombre y planificar varias reparaciones adicionales mientras el equipo se encuentra detenido.

Para este mantenimiento se deben reconocer las variables físicas (vibración, temperatura, etc.). Las desviaciones de estas variables indican cuando se está generando daño al equipo. El mantenimiento predictivo es el mantenimiento más técnico y especializado que requiere conocimientos analíticos y técnicos y cuya ejecución requiere equipos sofisticados. Por lo tanto, este método debe aplicarse a dispositivos críticos dentro del sistema de producción (Renovetec, 2018).

#### **2.2.4 Técnicas de Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo y el monitoreo de condición de la maquinaria siguen siendo un desafío para el área de mantenimiento. Existen muchas técnicas de mantenimiento predictivo que se aplican a una pala eléctrica. Entre las más importantes tenemos:

- a) Monitoreo de vibraciones
- b) Monitoreo de temperaturas
- c) Análisis de lubricantes
- d) Medición de espesores (componentes de desgaste)
- e) Entre otras.

De todas ellas, en esta investigación nos centraremos en el monitoreo de vibraciones dada su importancia para determinar el estado de la pala.

#### **2.2.5 Análisis de Vibraciones**

Las vibraciones se considera el mejor parámetro operativo para evaluar las condiciones dinámicas, los rodamientos y las fuerzas aplicadas a los componentes

(Tecsop, 2015). La principal ventaja del análisis de vibraciones es que puede identificar fallas en desarrollo con el propósito de que estas, no se vuelvan catastróficas y provoquen paradas imprevistas de los equipos. Esto es posible mediante el monitoreo de vibraciones programado o en línea

Muchos problemas en las máquinas se manifiestan por vibración, por ejemplo: solturas mecánicas, resonancia estructural, desalineación, flexión del eje, pérdida de álabes del rotor y muchos otros problemas pueden detectarse y evaluarse con medición de vibración (Tecsop, 2015).

### **2.2.5.1 Conceptos Básicos de Vibración**

#### **¿Qué es la Vibración?**

En su representación más sencilla, una vibración puede considerarse como la oscilación de un objeto o el movimiento repetido alrededor de una posición de equilibrio. La posición de equilibrio es la que alcanza cuando la fuerza que actúa sobre ella es nula. Este tipo de vibración se denomina vibración de cuerpo entero, lo que significa que todas las partes se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento (Wikipedia, 2021).

La vibración de un cuerpo es causada por una fuerza de excitación. Esta fuerza puede ejercerse externamente sobre el cuerpo o puede surgir dentro del cuerpo. La proporción y el tamaño de la oscilación están determinados por las fuerzas de excitación, su dirección y frecuencia. Por esta razón, un análisis de vibraciones puede determinar las fuerzas de excitación que actúan sobre una máquina. Estas fuerzas dependen del estado de la máquina y conocer sus propiedades e interacciones permite diagnosticar un problema (White, G., 2010).

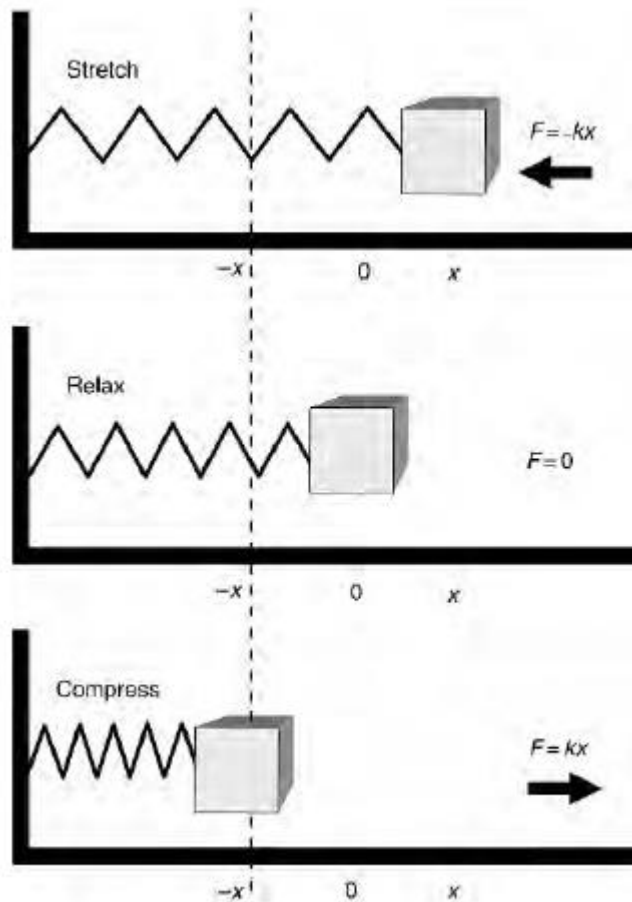


Figura 36. La naturaleza de la vibración. Fuente: Girdhar, P (2004).

### ¿Qué es la Frecuencia?

La frecuencia es el número de ciclos que ocurren en un segundo y sencillamente es la inversa del periodo. La unidad de frecuencia es el Hertz (Hz), donde 1 Hz es un evento que tiene lugar una vez por segundo (SKF, 2018).

### Tipos de Vibración

En términos generales, los tipos de vibración se pueden clasificar en sinusoidal y pulsante.

La vibración sinusoidal se caracteriza por una repetición regular en el tiempo, porque están formadas por determinadas frecuencias, que son siempre las mismas y no varían con el tiempo.

La vibración pulsante se define como señales que comienzan y terminan en un valor constante, generalmente cero, en el dominio del tiempo. Por ejemplo, las señales debidas a impactos (SKF, 2018).

### Parámetros Dinámicos

El **Desplazamiento** es el cambio en la distancia de un objeto a una referencia, habitualmente se mide en mils (milésimos de pulgada) y el valor pico a pico se usa por convención. Es el indicador del **Esfuerzo**.

La **Velocidad** es la razón de cambio del desplazamiento en el tiempo, generalmente medida en milímetros por segundo y la convención es de usar el valor RMS. Es el indicador de la **Fatiga**.

La **Aceleración** es la razón de cambio de la velocidad en el tiempo, se mide generalmente en G's. 1G es la aceleración debida a la gravedad en la superficie de la tierra. Es el indicador de **Fuerza** (SKF, 2018).

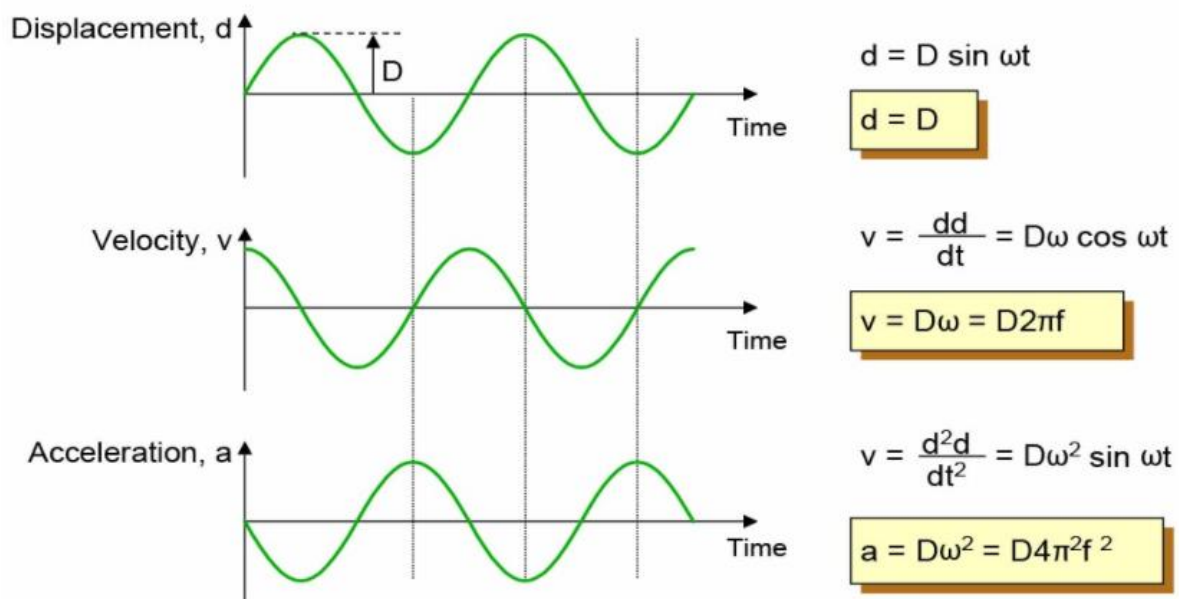


Figura 37. Parámetros dinámicos. Fuente: White, G. (2010)

### **Métodos de Detección**

Al comparar la vibración total de dos señales, ambas deben ser medidas en el mismo rango de frecuencia y con los mismos métodos de detección:

**Pico (Pk)** es la distancia máxima de la onda del punto cero o del punto de equilibrio.

**Pico a Pico (Pk-Pk)** es la distancia de una cresta negativa hasta una cresta positiva.

En el caso de una onda sinusoidal, el valor pico a pico es exactamente el doble del valor pico, ya que la forma de onda es simétrica.

**Raíz Media Cuadrática (RMS)** es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de la onda. En el caso de una onda sinusoidal, el valor RMS es igual a 0.707 del valor pico (White, G., 2010).

### **Ubicación de los Puntos de Medición**

En general, se debe medir la vibración en cada apoyo, es deseable ubicar el transductor lo más cerca posible del rodamiento, preferiblemente en la zona de carga, con metal sólido entre el rodamiento y el sensor. Debe evitarse la instalación del sensor sobre guardas, tapas, pernos y superficies que puedan producir lecturas falsas.

En cualquier programa de monitoreo de condición, es extremadamente esencial que los datos se capturen exactamente igual para cada medición. Esto es para certificar que los datos se puedan repetir y que se pueda ver una tendencia a lo largo del tiempo (White, G., 2010).

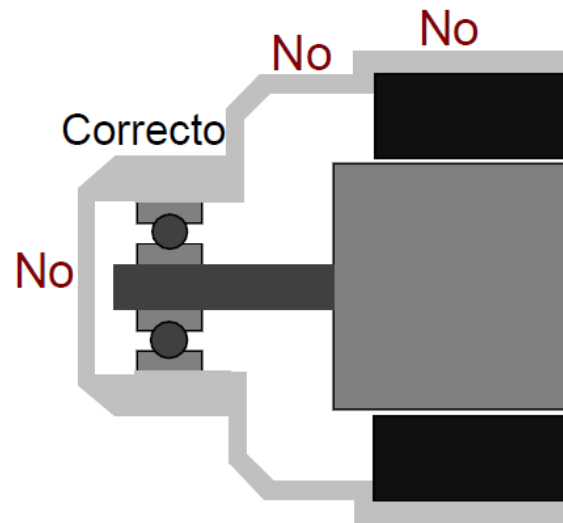


Figura 38. Ubicación de acelerómetro Fuente: White, G. (2010)

Para facilitar la detección de problemas en la máquina, es muy útil adquirir datos de vibración de cada punto de medición en tres direcciones. Estas direcciones se denominan **Horizontal, Vertical y Axial**.

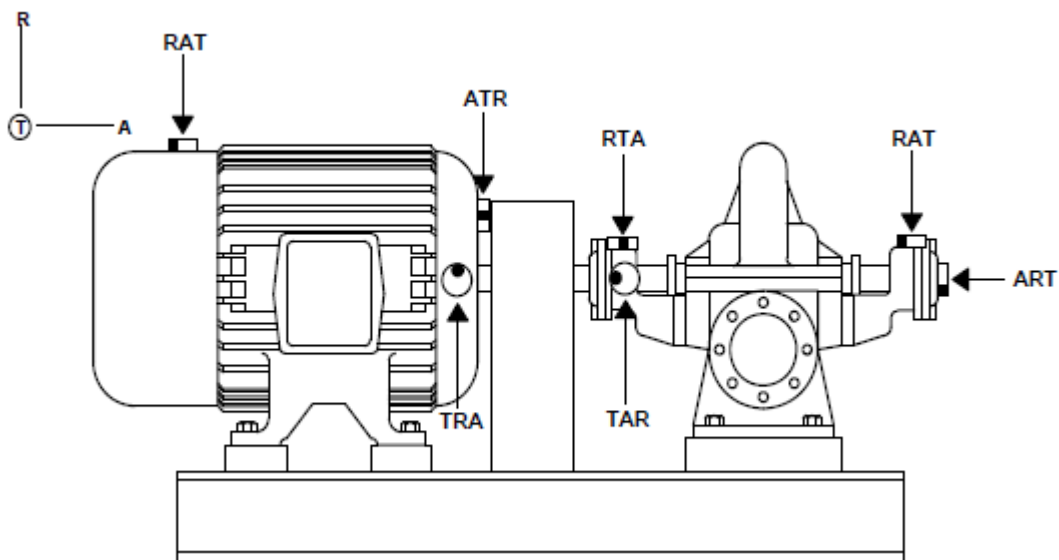


Figura 39. Ejemplos de medición de vibración Fuente: White, G. (2010)

### 2.2.5.2 Transductores de Vibración

El sensor de vibraciones es un dispositivo que produce señal eléctrica que es una réplica del movimiento vibratorio al que está expuesto. Un buen sensor no debe añadir falsos componentes a la señal y debería producir señales uniformes en todo el rango de frecuencias de interés.

Los diferentes tipos de sensores responden a diferentes parámetros de la fuente de vibración, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.

*Tipos de transductores de vibración*

<b>Nombre</b>	<b>Sensible a</b>
Sensor de Proximidad	Desplazamiento
Sensor de Velocidad	Velocidad
Acelerómetro	Aceleración

Fuente: Introducción al análisis de vibración, Glen White (2010)

#### **El Sensor de Proximidad**

El sensor de proximidad, también llamado "Sensor de Corriente de Eddy", o "Transductor de Desplazamiento" es una unidad de montaje permanente y necesita un amplificador que acondicione la señal para generar un voltaje de salida proporcional a la distancia entre el transductor y la superficie del eje. El transductor de desplazamiento generalmente se instala en turbomáquinas de altas velocidades, donde se usa para revelar fallas en los rodamientos y para detener la máquina antes que ocurra una falla catastrófica (White, G., 2010).

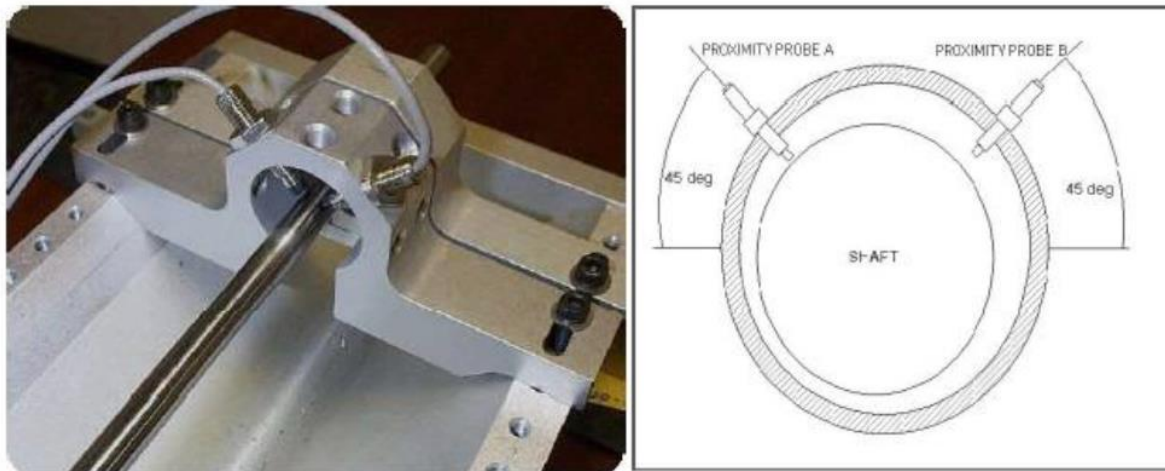


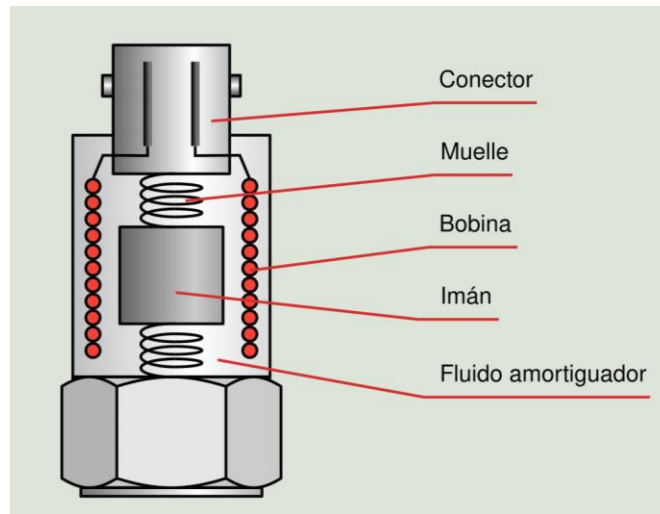
Figura 40. Sensor de proximidad. Fuente: SKF (2016).

### El Sensor de Velocidad

El sensor de velocidad fue uno de los primeros transductores de vibración construidos. Consiste en una bobina de alambre y un imán colocados de modo que, al mover la carcasa, el imán tiende a permanecer inmóvil. El movimiento relativo entre el campo magnético y la bobina induce una corriente proporcional a la velocidad del movimiento. De esta forma, la unidad produce una señal directamente proporcional a la velocidad de la vibración. Es autogenerado y no necesita dispositivos electrónicos de acondicionamiento para operar. Tiene una impedancia de salida eléctrica relativamente baja, lo que lo hace indiferente a la influencia de ruido.

Incluso con estas características, el sensor de velocidad tiene muchas desventajas, que lo vuelven casi obsoleto. Es relativamente pesado y complejo y, por lo tanto, es caro, y la respuesta de frecuencia de 10 Hz a 1000 Hz es baja (White, G., 2010).



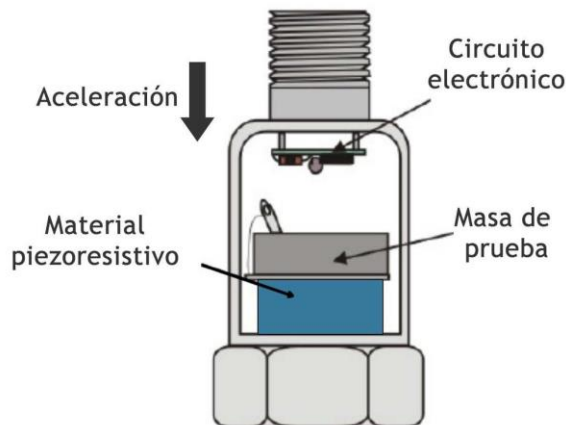


*Figura 41.* Sensor de velocidad de vibración. Fuente: Web Power - MI (2021)

### **El Acelerómetro**

El acelerómetro piezoeléctrico se puede considerar como un transductor estándar para medir la vibración en máquinas. Existen muchos materiales piezoeléctricos, pero el más usual es el cuarzo. Del mismo modo hay materiales piezoeléctricos sintéticos que funcionan bien y en algunos casos, pueden operar a temperaturas más altas que el cuarzo. Cuando el acelerómetro se mueve hacia arriba y hacia abajo, la fuerza sobre el cristal crea la señal de salida, que es proporcional a la aceleración del transductor. Los acelerómetros son lineales en términos de amplitud, lo que significa que tiene un rango dinámico muy amplio.

El rango de frecuencia del acelerómetro es bastante amplio y varía desde frecuencias muy bajas, generalmente 1Hz, hasta decenas de kilohertzios (30 KHz) (White, G., 2010).



*Figura 42.* Acelerómetro de vibración. Fuente: Artículo Universidad de Sevilla (2018)

### 2.2.5.3 Formas de Medir la Vibración

#### Vibración Global

Este análisis intenta dar a la vibración un valor único y cuantitativo. Para lograrlo se calcula el nivel de amplitud global de la señal de vibración, datos que evalúan la severidad de la vibración. El cálculo de estos valores globales permite seguir el desarrollo de los niveles de vibración. Por otro lado, no es posible determinar fluctuaciones de frecuencia de amplitud no dominante, ya que pasan desapercibidas.

Por consiguiente, el nivel global es un valor que aporta indicación general sobre el estado de la máquina, pero que en ocasiones puede resultar engañoso porque su medida puede ser estable y al mismo tiempo puede haber un peligroso incremento de vibraciones a una determinada frecuencia. Este aumento no se refleja a nivel global ya que se compensa con la disminución de energía en otra frecuencia. Parece claro que estos valores globales no permiten la utilización de técnicas de

diagnóstico, pero son muy útiles como parámetros de control o monitorización de la correcta operación de la máquina (Universidad de Sevilla, 2007)

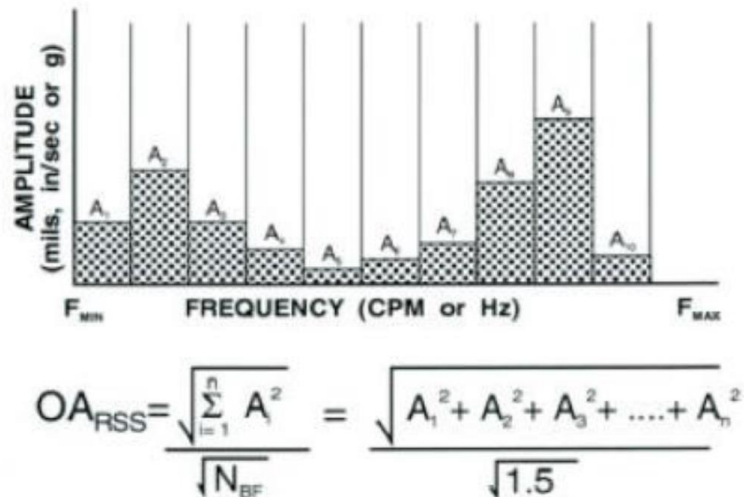


Figura 43. Cálculo de vibración global. Fuente: SKF (2016)

### Análisis de Dominio del Tiempo – Formas de Onda

La observación de la señal temporal consiste en la visualización de la señal captada por el sensor durante un cierto periodo de tiempo. Integrar esta señal a lo largo del tiempo nos daría el valor global mencionado anteriormente.

Las formas de onda muestran un corto intervalo de tiempo de la vibración bruta. Aunque no es tan versátil como las FFT, aún tiene aplicaciones específicas y pueden ofrecer pistas sobre el estado de una máquina que pueden no ser visibles en el espectro de frecuencias, como lograr observar señales de impacto.

La aplicación más frecuente de los datos de forma de onda, es comparar la firma de forma de onda de una máquina en condiciones óptimas, con una obtenida de una máquina similar con problemas (Universidad de Sevilla, 2007).

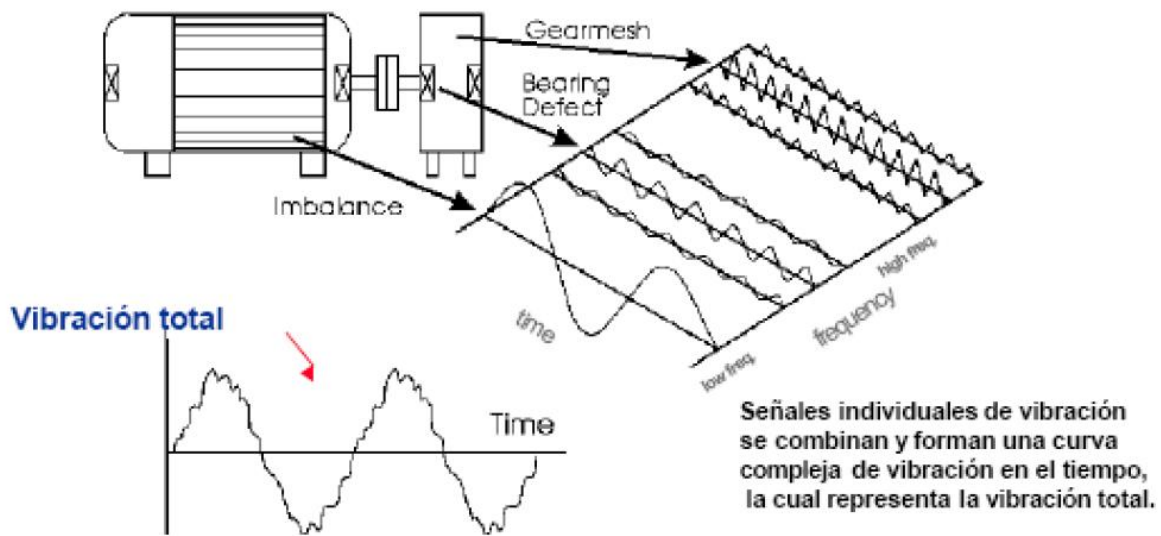


Figura 44. Forma de onda de vibración. Fuente: SKF (2016)

### Análisis de Espectro FFT

Cada onda sinusoidal resultante de la descomposición de una forma de onda compuesta aparece como una línea vertical, cuya altura representa su amplitud y cuya posición representa su frecuencia. Esta representación se llama espectro de señal. Los mecanismos de obtención de los espectros de frecuencia se pueden clasificar básicamente en analizadores de señales dinámicas. Su funcionamiento se basa en la Transformada Rápida de Fourier FFT, un algoritmo que transforma rápidamente los datos de la forma de onda y descompone en sus amplitudes específicas a diferentes frecuencias (Universidad de Sevilla, 2007).

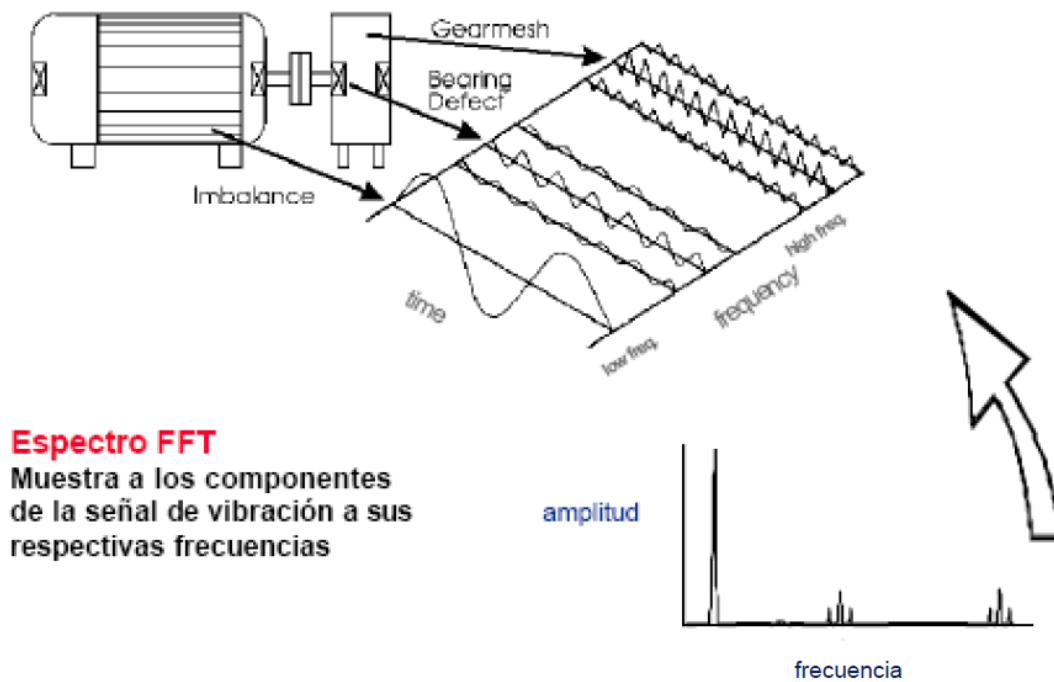


Figura 45. Espectro de vibración FFT. Fuente: SKF (2016)

#### 2.2.5.4 Ventajas del Análisis Vibracional

Un programa de análisis de vibraciones permite inspeccionar una máquina y sus componentes estudiando y calculando frecuencias en el espectro de vibraciones sin detenerla o desarmarla. Este análisis ayuda a detectar todos estos problemas antes de que ocurran fallas catastróficas, brindando los siguientes beneficios (Dimar, 2017):

- Reducción en los altos costos de mantenimiento no planificado.
- Considerables reducciones en inventario de partes de repuesto, debido a un mejor conocimiento sobre el estado de la maquinaria.
- Reducción en las órdenes de trabajo de emergencia y tiempo extra.
- Reparaciones más eficientes, porque los equipos reparados pueden ser cuidadosamente inspeccionado para asegurar la calidad de la reparación.

- Incremento en la capacidad de producción, debido a menos rechazos por fallas en el equipo ocasionadas por excesiva vibración.
- Mejores condiciones de seguridad, debido a que las máquinas no están condicionadas a trabajar hasta que fallen.

### 2.2.6 Formas de Monitoreo de Condición Vibración

Hay dos formas principales de monitoreo de vibraciones, que difieren según el método utilizado para la colecta de datos: Monitoreo portátil o Monitoreo en línea. Esto dependerá de la estrategia aplicada según el componente a monitorear.

- **Monitoreo Portátil**

Este tipo de monitoreo se realiza de modo rutinario en los activos semi críticos e importantes de la planta, a través de la utilización de un analizador portátil de vibraciones. La inversión de este tipo de monitoreo es mucho menor al de un sistema de monitoreo en línea.



Figura 46. Analizador de vibraciones AMS 2140 de Emerson. Fuente: Emerson (2021)

- **Sistema de Monitoreo en Línea**

Aplica principalmente a sistemas críticos. Al realizar un proyecto de monitoreo de vibraciones en línea, se logra una vigilancia permanente 24/7 de la condición de nuestros activos. Con esta información, el equipo de mantenimiento puede tomar decisiones importantes sobre el equipo.



*Figura 47.* Procesador de monitoreo de vibraciones en línea AMS 6500 de Emerson.

Fuente: Emerson (2021)

## 2.2.7 Estándares Internacionales

### Norma ISO 10816

Establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. El criterio general de evaluación se basa tanto en la monitorización operacional como en pruebas de validación que han sido

establecidas fundamentalmente con objeto de garantizar un funcionamiento fiable de la máquina a largo plazo. Esta norma reemplaza a las ISO 2372 e ISO 3945, que han sido objeto de revisión técnica. Este estándar consta de cinco partes (ISO 10816-3, 2009).:

**Parte 1:** Indicaciones generales.

**Parte 2:** Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.

**Parte 3:** Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.

**Parte 4:** Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.

**Parte 5:** Conjuntos de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo (únicamente disponible en inglés).

Los criterios de vibración de este estándar se aplican a un conjunto de máquinas con potencia superior a 15 kW y velocidad entre 120 RPM y 15.000 RPM. Los criterios son sólo aplicables para vibraciones producidas por la propia máquina y no para vibraciones que son transmitidas a la máquina desde fuentes externas. El valor eficaz (RMS) de la velocidad de la vibración se utiliza para determinar la condición de la máquina. Los puntos de medida típicamente son tres, dos puntos ortogonales en la dirección radial en cada caja de descanso y un punto en la medición axial.

Las mediciones deben realizarse cuando el rotor y los descansos principales han alcanzado sus temperaturas estacionarias de trabajo y con la máquina funcionando



bajo condiciones nominales o específicas (por ejemplo, de velocidad, voltaje, flujo, presión y carga) (ISO 10816-3, 2009).

En máquinas con velocidad o carga variable, las velocidades deben realizarse bajo todas las condiciones a las que se espera que la máquina trabaje durante períodos prolongados de tiempo. Los valores máximos medidos, bajo estas condiciones, serán considerados representativos de la vibración. Si la vibración es superior a lo que el criterio permite y se sospecha de excesiva vibración de fondo, las mediciones se deben realizar con la máquina detenida para determinar el grado de influencia de la vibración externa. Si con la máquina detenida excede el 25% de la vibración medida con la máquina operando, son necesarias acciones correctivas para reducir el efecto de la vibración de fondo (ISO 10816-3, 2009).

En algunos casos el efecto de la vibración de fondo se puede anular por análisis espectral o eliminando las fuentes externas que provocan las vibraciones de fondo.

La severidad de la vibración se clasifica conforme a los siguientes parámetros:

- Tipo de máquina.
- Potencia o altura de eje.
- Flexibilidad del soporte.

### **Clasificación de acuerdo con el tipo de máquina, potencia o altura de eje**

Las significativas diferencias en el diseño, tipos de descanso y estructuras soporte de la máquina, requieren una división en grupos. Las máquinas de estos grupos pueden tener eje horizontal, vertical o inclinado y además pueden estar montados en soportes rígidos o flexibles.

- **Grupo 1:** Máquinas rotatorias grandes con potencia superior 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje  $H \geq 315$  mm.
- **Grupo 2:** Máquinas rotatorias medianas con potencia entre 15 y 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje  $160 \leq H \leq 315$  mm.
- **Grupo 3:** Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW.
- **Grupo 4:** Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor integrado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW.

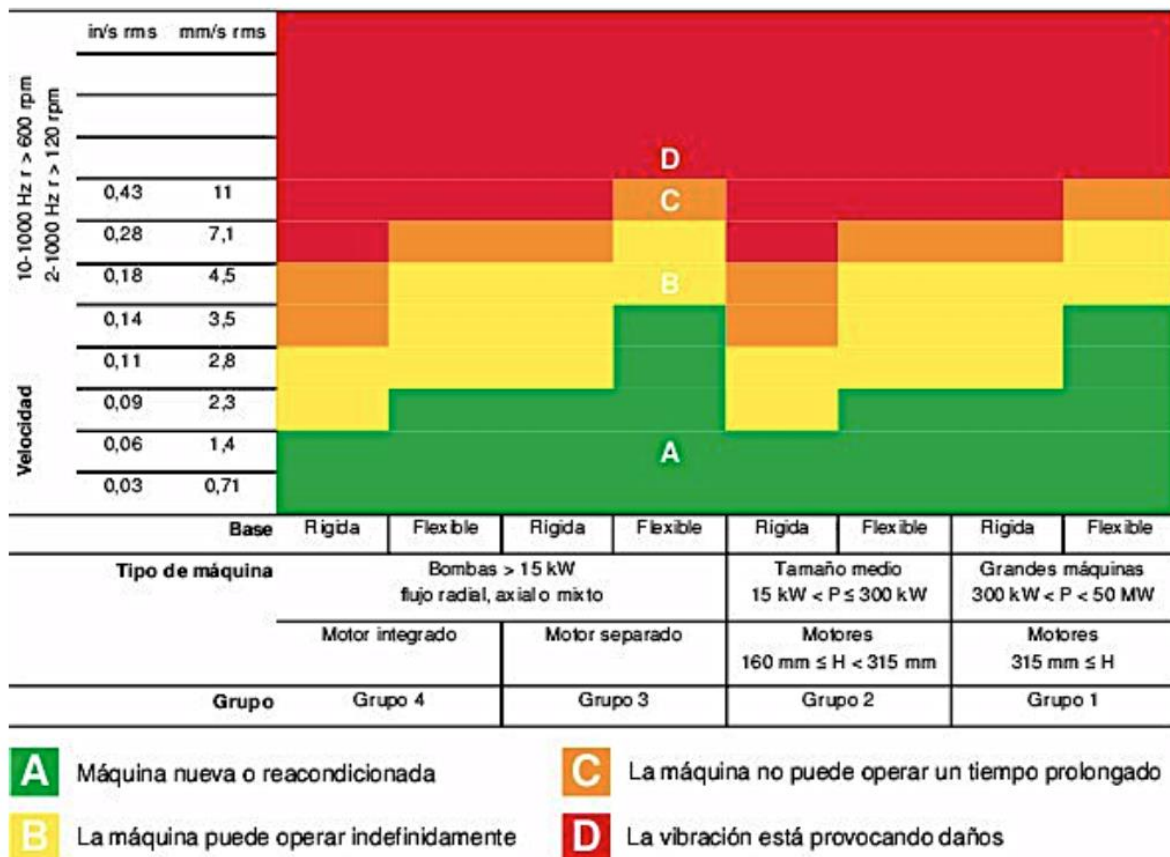


Figura 48. Valores de vibración tolerables por tipo de máquina y grupos. Fuente: ISO 10816-3 (2009).

## 2.2.8 Productividad

Según Lopez, R. (2018) indica que la productividad está relacionada con los resultados obtenidos en un proceso o un sistema, por lo que aumentar la productividad da mejores resultados considerando los recursos utilizados para generarlos. En general, la productividad se mide por el cociente formado por los resultados obtenidos y los recursos utilizados.

$$Productividad = Resultados\ logrados / Recursos\ empleados... \text{ (Ecuación 1)}$$

Para optimizar la productividad de una empresa, no basta con conseguir las metas programadas, si no lograrlas de la mejor forma posible. En el proceso productivo intervienen algunos factores que permiten su desarrollo.

Los factores involucrados son:

- Factores Internos (no controlables)
- Factores Externos (controlables)

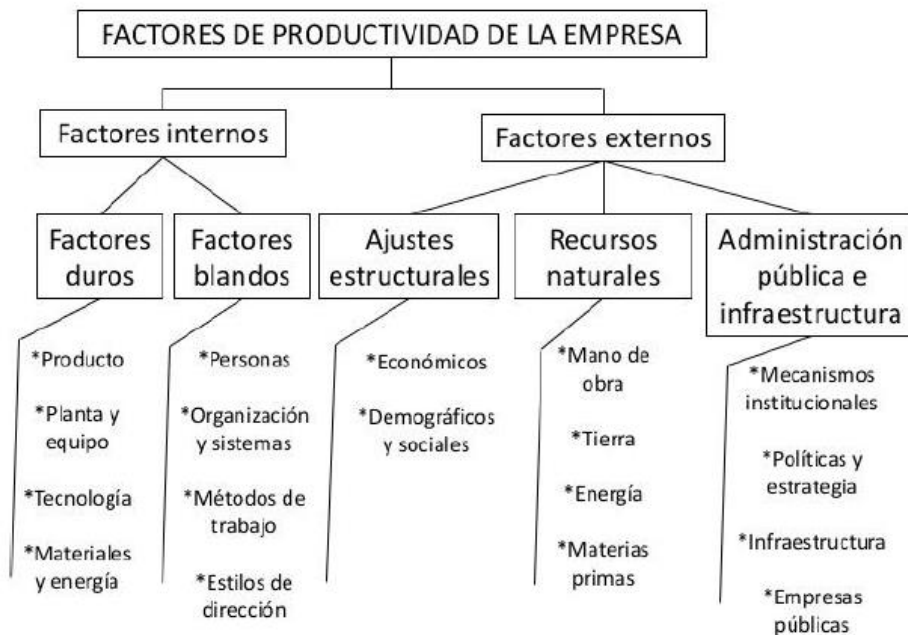


Figura 49. Factores de productividad. Fuente: Lopez, R. (2018).

### 2.2.9 Diagrama Causa Efecto

El Diagrama de Causa Efecto consiste en una representación gráfica que permite visualizar las causas que explican un problema en particular, convirtiéndola en una herramienta e gestión de calidad, ya que orienta la toma de decisiones abordando los conceptos básicos que determinan un mal desempeño. La estructura del gráfico de Ishikawa es intuitiva: identifica un problema o efecto y luego enumera un conjunto de causas que podrían explicar potencialmente este comportamiento. Este último es sutil en acciones correctivas porque es necesario actuar con precisión sobre el fenómeno que explica el comportamiento no deseado (Gestión de Operaciones, 2020).

En este contexto, una representación del Diagrama de Causa Efecto o Diagrama de Espina de Pescado tiene la siguiente forma:

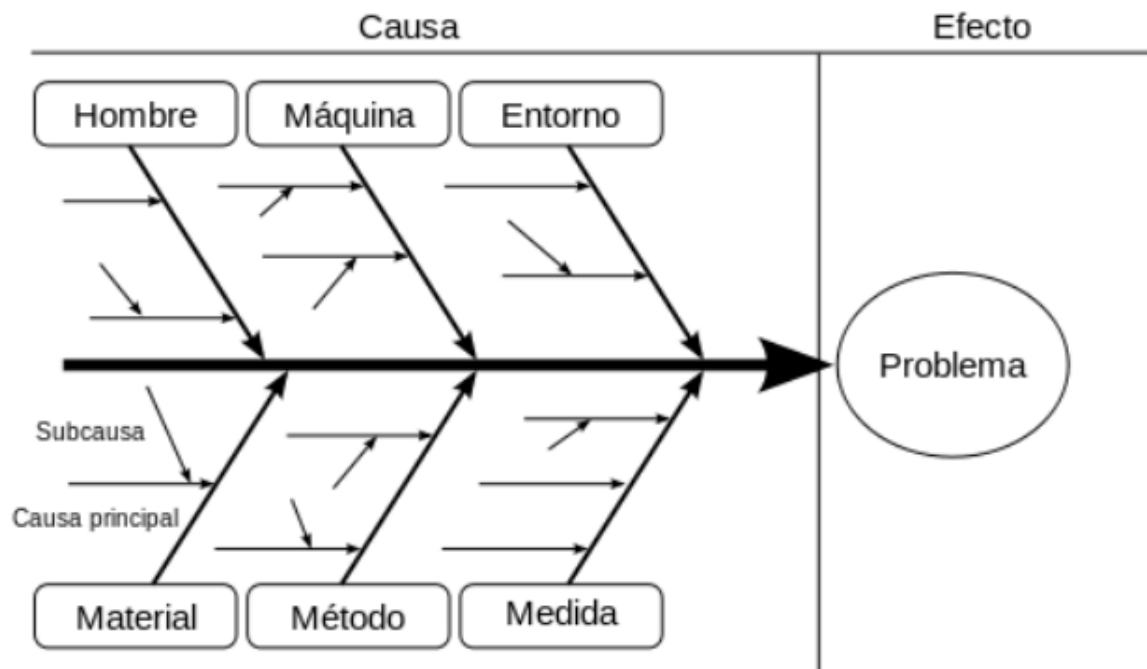


Figura 50. Diagrama Causa Efecto. Fuente: Gestión de Operaciones (2020).

### 2.2.10 Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto consiste en una representación gráfica de los datos obtenidos de un problema que es útil para identificar que cuestiones prioritarias deben tenerse en cuenta. En ese sentido, se espera el cumplimiento de la regla de Pareto, que indica que alrededor del 80% de los problemas se explican por alrededor del 20% de las causas (Gestión de Operaciones, 2020).

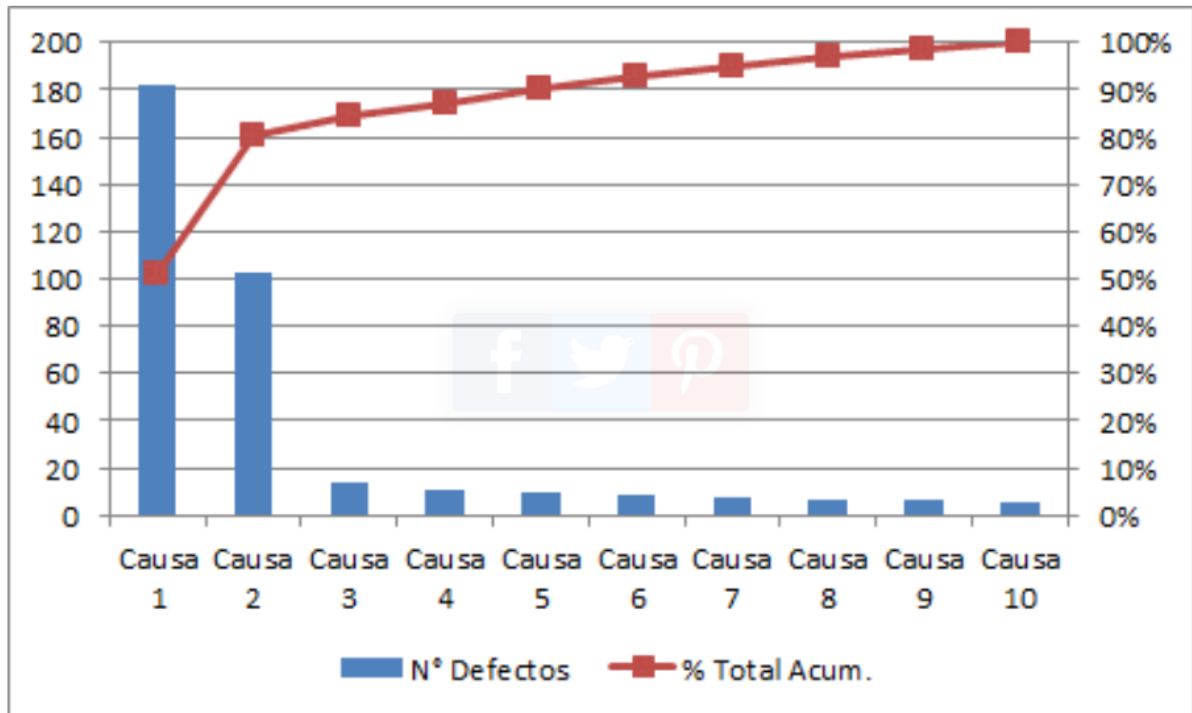


Figura 51. Diagrama de Pareto. Fuente: Gestión de Operaciones (2020).

### 2.2.11 Cálculo de Retorno de Inversión (ROI)

El ROI (abreviatura del término inglés Return on Investment) se encuentra dentro de los indicadores más populares para entender cuando la compañía ganó o perdió por medio de sus inversiones.

Para calcular el ROI es necesario conocer los ingresos totales, restar de estos los costos y, por último, dividir ese resultado por los costos totales.

$$ROI = \frac{GANANCIA - INVERSIÓN}{INVERSIÓN}$$

*Figura 52. Cómo calcular el ROI. RD Station (2021).*

Así, se puede entender cuáles inversiones valen la pena y la forma de mejorar aquellas que ya están andando para que tengan un desempeño aún mejor. Este indicador es importante porque permite evaluar cómo las inversiones contribuyen con los resultados de la compañía.

De esta manera, a través del ROI, es viable planificar metas fundamentadas en resultados tangibles y comprender si está valiendo la pena o no invertir (RD Station, 2021).

## CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

### 3.1 Antecedentes del Tesista

Como parte de mi experiencia académica, soy Técnico Profesional Titulado de Mantenimiento de Maquinaria Pesada del Instituto Tecsup, de donde egresé el año 2005.

En el año 2016, culminé los estudios de Ingeniería Industrial - Working Adult (WA) de la Universidad Privada del Norte – Sede Los Olivos. Cuento con estudios de Mantenimiento Predictivo con especialización y certificación internacional en diferentes técnicas, entre ellas: Análisis de Vibraciones Cat. II, Termografía Infrarroja Cat. I, Ultrasonido Acústico Cat. I, Análisis Dinámico y Estático de Motores Eléctricos Cat. I y he participado de diferentes entrenamientos relacionados con mi especialización en Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, México y USA. (ver Anexo 4)

Dentro de mi desarrollo profesional, he laborado en diferentes empresas relacionadas principalmente al sector industrial, entre ellas: Graña y Montero, Vamsac (Representante de Emerson, Año 2007), SKF del Perú, Minera Barrick Misquichilca, Predictivo Total (Representante de Emerson, Año 2015) y Emerson Process Management del Perú.

Desde el año 2018 hasta la actualidad, me desempeño como Líder de Unidad de Negocio de Soluciones de Confiabilidad en la empresa Emerson Process Management del Perú. Mis funciones son: ser el responsable del cumplimiento de las metas de ventas y de la comercialización de productos de la Unidad de Negocio de Soluciones de Confiabilidad de Emerson Perú, desarrollar nuevos proyectos/soluciones para monitoreo de condición en línea en activos críticos del sector minero, brindar soporte técnico comercial durante las diferentes etapas de los proyectos de monitoreo de condición en ejecución de la compañía. (ver Anexo 5).



## Líderes de Unidades de Negocio



- Liderar las actividades de Ventas y Marketing de Unidades de Negocio.
- Responsable por Objetivo de Ventas y Ordenes del FY
- Desarrollar la estrategia y el plan para cumplir con las ordenes, las ventas y %GP de la BU.
- Desarrollar, mantener el Pronóstico y Embudo de la BU. Incluyendo información detallada sobre grandes proyectos, así como las expectativas de MRO
- Entregar seminarios a los clientes.
- Promover nuevos productos y servicios.
- Proporcionar una solución técnica adecuada.
- Implementar las iniciativas corporativas de la BU.
- Enviar a la BU los informes periódicos de ventas y evolución de las iniciativas clave.
- Agregar valor a los clientes para fomentar su lealtad y asegurar su satisfacción.
- Realizar un contacto F2F con los clientes clave para establecer una relación sólida; Obtener información clave relacionada con ventas tempranas.

Figura 53. Funciones de Líderes de Unidades de Negocio. Fuente: Emerson (2020)

### 3.2 Área Donde se Realizó la Experiencia Profesional

La experiencia profesional se realizó en el Site Toquepala, de la Compañía Minera Southern Peru Cooper Corporation. El área responsable de la asignación de este proyecto corresponde a Mantenimiento Mina, a través del Jefe de Mantenimiento Predictivo y Confiabilidad, el Ing. Alex Cortez.

Tabla 4.

*Equipo profesional que realizó la implementación del proyecto de Implementación del Sistema de Monitoreo en Línea para Pala P&H 4100.*

Item	Compañía	Integrantes	Cargo	Función
1	Southern Perú	Ing. Alex Cortez	Jefe de Mantenimiento Predictivo y Confiabilidad	Dueño del proyecto del lado del cliente.
2	Emerson	Ing. Carlos Huayta	Líder de Unidad de Negocio Soluciones de Confiabilidad	Responsable técnico del proyecto.
3	Emerson	Ing. Manuel Chirinos	Líder de Cuentas Mineras	Responsable comercial del proyecto.
4	Emerson	Ing. Roldán Goicochea	Gerente de Proyecto	Gestionar y administrar el correcto desarrollo del proyecto en el tiempo establecido.
5	Emerson	Ing. Ewar Mamani	Ingeniero de Proyectos	Responsable de la supervisión de contratistas y ejecución del proyecto.
6	Emerson	Ing. Jorge Torres	Especialista de Soluciones de Confiabilidad	Responsable del comisionamiento, configuración puesta en marcha y entrenamiento del proyecto.
7	ICRT	Ing. Miguel Aucapoma	Ingeniero de Servicios	Contratista 1: Responsable de la integración del gabinete AMS 6500.
8	Controltek	Ing. Luis Ortega	Supervisor de Servicios	Contratista 2: Responsable de la instalación, tendido de tuberías y conexión del gabinete AMS 6500, sensores y accesorios.
9	TTM Perú	Ing. Fabián Rodríguez	Supervisor de Proyectos	Contratista 3: Responsable del suministro, instalación y configuración de los encoders.

Fuente: Elaboración propia (2020)

### 3.3 Situación Problemática Inicial

Este proyecto se enfoca principalmente a las Palas Eléctricas, que es el tipo de activo más crítico con el que cuenta el Área de Mantenimiento Mina de Southern Toquepala, principalmente por el alto costo económico del activo (\$20M-\$25M USD en promedio por Pala) y sus repuestos, así como el impacto que tienen estos equipos en la producción.

El criterio para asignar la criticidad a los activos, se basa en una matriz donde se evalúan diferentes aspectos, principalmente: operacionales, productividad, Costos, Seguridad y medio Ambiente.

Tabla 5.

*Matriz de evaluación de criticidad para activos del área mina.*

MATRIZ DE CRITICIDAD	PESO	VALORACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO				
		MUY BAJO = 1	BAJO = 3	MEDIO = 5	ALTO = 7	MUY ALTO = 9
<b>Frecuencia de Falla</b>	<b>1.0</b>	≥ 1 año	de 3 meses a 1 año	de 15 días a 3 meses	1 día a 15 días	1 día
<b>Impacto en Producción</b>	<b>0.3</b>	1 hora	6 horas	12 horas	1 día	≤ 3 días
<b>Costo de Reparación</b>	<b>0.1</b>	Gasto Irrelevante <1K\$	Gasto Bajo 1K\$-10K\$	Gasto Razonable 10K\$-50K\$	Gasto Importante 50K\$-100K\$	Gastos Altos >100K\$
<b>Impacto en la Seguridad</b>	<b>0.3</b>	No existe riesgo para las personas	Puede producir daños leves, que desaparecen con tratamiento	Puede producir daños graves, que desaparecen con tratamiento	Pueden producir daños muy graves que dejan secuela despues de un tratamiento	Riesgo de muerte inminente
<b>Impacto Ambiental y Social</b>	<b>0.3</b>	No provoca ningún daño	Produce daños medio ambientales reversibles	Produce daños medioambientales cuyos efectos no violan las normativas	Provoca daños medioambientales irreversibles dentro de la mina	Provoca daños medioambientales irreversibles fuera de la mina

Fuente: Southern Perú (2020)

En base a la matriz superior, se ha considerado para la evaluación:

*Criticidad del Equipo = Frecuencia de Falla\*(Impacto de Producción\*0.3 + Costos de Reparación\*0.1 + Impacto en la Seguridad\*0.3 + Impacto Ambiental\*0.3) ... (Ecuación*

2)

Tabla 6.

*Evaluación de criticidad de activos del área mina.*

Item	Descripción del Equipo	Modelo	Cantidad de Equipos	CRITERIOS DE CRITICIDAD					Criticidad del Equipo	Criticidad
				Frecuencia de	Impacto	Costo de	Impacto en la	Impacto		
				Falla	Operacional	Reparación	Seguridad	Ambiental		
				<b>1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>		
<b>1</b>	<b>Palas Eléctricas</b>	<b>P&amp;H/CAT</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>44.80</b>	<b>Crítico</b>
2	Camiones	CAT	26	7	7	5	5	5	39.20	Esencial
3	Cargadores	CAT	7	7	7	5	3	5	35.00	Esencial
4	Perforadoras	Sandivk	7	5	5	3	5	5	24.00	Importante
5	Bulldozers	Komatsu	9	5	5	3	3	5	21.00	Importante
6	Motoniveladoras	Komatsu	3	5	5	3	3	5	21.00	Importante

Fuente: Southern Perú (2020)

Mediante la evaluación de criticidad, se confirma que las Palas Eléctricas son los activos más importantes del área mina, con los que cuenta Southern Peru. Por tal motivo, se decide implementar el sistema de monitoreo de condición, seleccionado la Pala P&H modelo 4100.

### 3.3.1 Descripción Situación Actual

Para identificar la razón de la baja productividad de la Pala Eléctrica P&H 4100, se utilizó como herramienta el Diagrama de Ishikawa. Esta evaluación se realizó en forma conjunta con el Área de Confiabilidad de Southern y el equipo de Emerson. El resultado de este análisis fue el siguiente:

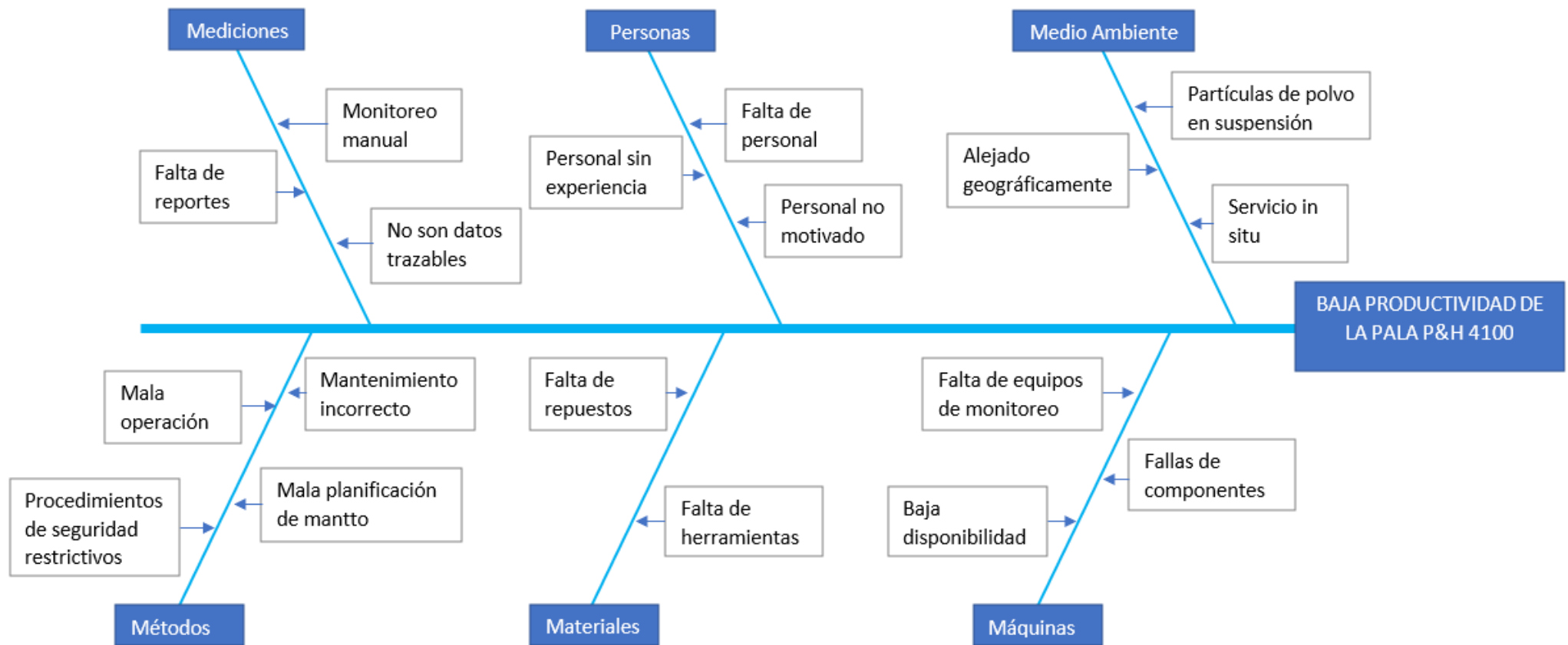


Figura 54. Diagrama Ishikawa de baja productividad de Pala P&H 4100. Fuente: Elaboración propia (2020)

### 3.3.2 Identificación del Problema: Disponibilidad Presupuesto Vs Producción Real

Se ha realizado el análisis de disponibilidad de la Pala P&H 4100 durante los últimos doce meses, desde febrero 2019 hasta enero 2020.

Realizando el promedio anual, se presupuesta un 85% de disponibilidad de la pala para el periodo indicado, sin embargo, se logra una disponibilidad real sólo de 81.95%.

En el siguiente gráfico, se muestra la comparación entre la disponibilidad real versus la disponibilidad presupuestada para la pala. En el gráfico se observa que siempre la disponibilidad real es menor a la disponibilidad presupuestada por Southern Perú, con un promedio de indisponibilidad de 3.05%.

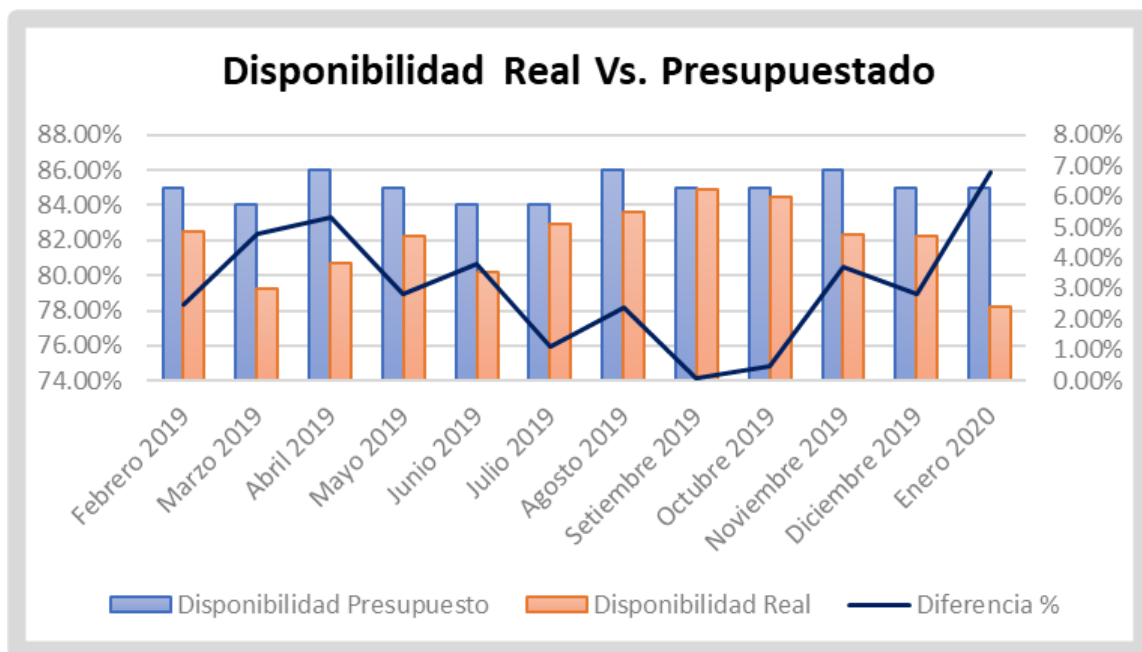


Figura 55. Gráfico de disponibilidad real versus disponibilidad presupuestada.

Fuente: Southern Perú (2020)

Utilizamos el promedio de indisponibilidad de 3.05% anual de la Pala P&H 4100, para calcular la cantidad de horas perdidas por mes, con la siguiente fórmula:

$$\text{Horas perdidas por mes} = (\text{Horas diarias}) \times (\text{N}^\circ \text{ días por mes}) \times (\text{indisponibilidad}) \dots \text{(Ecuación 3)}$$

$$= 24 \times 30 \times 3.05\% = 21.96 \text{ horas}$$

En conclusión, podemos afirmar que la Pala P&H 4100, presenta 21.96 horas mensuales por indisponibilidad.

Considerando que el costo de Producción por Hora de la Pala P&H 4100 es aproximadamente \$63K USD (Tabla N° 7), obtendríamos un monto perdido por indisponibilidad de la pala de \$1,38 MUSD mensuales.

Con este valor se realizará el cálculo ROI, para revisar si la solución de monitoreo de condición en línea de Emerson es viable.

**Tabla 7.**

*Cálculo de la producción de la Pala P&H 4100 (expresado en dólares americanos)*

Ítem	Descripción	Monto	Unidades
1	Horas operativas mensuales	600	Hr/Mes
2	Toneladas de mineral mensual	3200000	Ton Mineral/Mes
3	Toneladas de mineral por hora	5333.33	Ton Mineral/Hora
4	Ley de mineral promedio	1%	
5	Toneladas de cobre por hora	53.33	Ton Cu/Hora
6	Factor de recuperación de planta	84%	
7	Toneladas de cobre por hora	44.80	Ton Cu/Hora
8	Precio de cobre por tonelada	6900	USD
9	Dólares producidos por hora	309120	USD/Hora
10	Utilidad antes del impuesto	25%	
11	Dólares producidos por hora (antes de impuestos)	77280	USD/Hora
12	Impuesto a la renta	18%	
13	Dólares producidos por hora (después de impuestos)	63369.6	USD/Hora

**La Compañía Minera Southern Perú - Site Toquepala deja de percibir \$63K USD aprox. Por cada hora de pala detenida.**

Fuente: Elaboración propia (2020)



### 3.3.3 Causas más Frecuentes de Baja Productividad en Palas

Es importante indicar que cuando se analizan las detenciones de la pala, se presentan cuatro categorías: paradas por falla de operación, paradas no planificadas, paradas por incidente y paradas programadas.

En este caso, se analizaron los registros del sistema de dispatch mina, en relación con las paradas no planificadas en la Pala P&H 4100 desde febrero 2019 hasta febrero 2020.

En el siguiente gráfico, se muestra la cantidad de horas acumuladas en el año por tipo de falla.

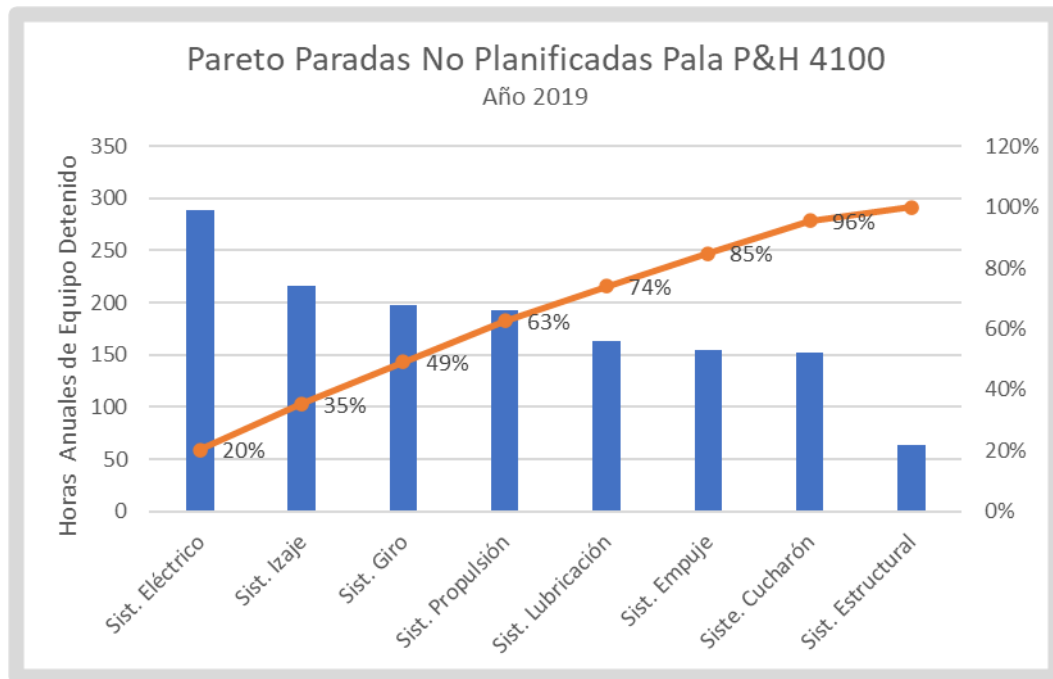


Figura 56. Gráfico de Pareto de paradas no planificadas en Pala P&H 4100. Fuente: Southern Perú (2020)

### **3.4 Implementación del Sistema de Monitoreo en Línea de Vibraciones**

La implementación de la solución del sistema de monitoreo en línea fue un proceso complejo, principalmente por que la solución de trabajo a medida, cumpliendo las exigencias de Southern y bajo las recomendaciones de Emerson. El tiempo de implementación desde la aceptación de nuestra propuesta por la solución, fue de aproximadamente de 06 meses. El detalle de la información la encontrarán en el Cronograma de Actividades (ver Anexo 11).

A continuación, se detallan los principales pasos de la implementación:

#### **3.4.1 Aceptación de la OC**

Una vez recepcionada la Orden de Compra por el Sistema de Monitoreo de Vibraciones en Línea para la Pala P&H por un monto de \$225K USD, Emerson activa todo el proyecto. Es importante mencionar que el proceso de aceptación de órdenes de compra de Emerson considera la revisión de acuerdos legales, términos y condiciones, revisión de los costos y márgenes asociados al proyecto, entre otros.

#### **3.4.2 Kick of Meeting**

Obedece a la reunión inicial donde el área comercial de Emerson realiza el traspase de información al área de operaciones de Emerson asignado a este proyecto. A partir de esta reunión, el Project Manager asignado tomará la responsabilidad del desarrollo del proyecto.

A la vez, se programa la reunión con los usuarios directos de Southern Perú, con la intención de brindar los términos generales sobre la realización de este proyecto y poder obtener el BV para continuar con el proceso.

### **3.4.3 Generación de las Compras**

Con el VB de los usuarios de Southern Perú, se activan todas las adquisiciones necesarias para el desarrollo del proyecto, donde se incluye productos y servicios. Entre ellos:

- Emerson USA: Hardware y Software de la solución.
- IMI PCB: Sensores y Cables.
- ICRT: Integración de Gabinetes AMS 6500 y Gabinete PC Industrial
- Controltek: Servicios de instalación, tendido de tuberías y conexionado.
- Emerson Chile: Servicios especializados de comisionamiento, configuración, puesta en marcha y entrenamiento de la solución.
- TTM Perú: Abastecimiento y servicios de instalación de encoders.

### **3.4.4 Ingeniería de la Solución**

En la reunión del KoM se acordó entre Southern Perú y Emerson, el desarrollo de la solución. En la etapa de ingeniería se considera la definición de puntos y la lista de señales de medición en los principales sistemas de las palas (ver Anexo 10), la arquitectura del sistema (ver Anexo 6), el listado de los equipos (ver Anexo 7) y los planos layouts de los gabinetes (ver Anexo 8 y Anexo 9),

### **3.4.5 Instalación de Sensorización y Gabinetes**

La instalación de sensores, gabinetes y el conexionado de los mismos es responsabilidad de la empresa contratista Controltek, bajo la supervisión de personal de Emerson. Por temas de disponibilidad de la pala, solo es posible que el personal ingrese a realizar los trabajos por 6 horas continuas cada 21 días, durante la parada programada de

la pala. El equipo está conformado por 10 técnicos, 01 supervisor operativo, 01 Supervisor de SSOMA y 01 Supervisor de Proyecto Emerson



Figura 57. Instalación de sensores. Fuente: Southern Perú (2020)



Figura 58. Instalación de gabinetes. Fuente: Southern Perú (2020)

### 3.4.6 Comisionamiento, Configuración, Puesta en Marcha y Entrenamiento de la Solución

Una vez el sistema se encuentra correctamente instalado, conexionado y energizado, es turno del ingreso de personal especialista de Emerson. Este equipo está conformado por 02 especialistas de la solución de Emerson Perú y 02 Especialista de Emerson Chile.

Las principales actividades en esta tarea son activar las diferentes señales de medición y asignarlas correctamente en el AMS 6500, realizar la configuración para todos los puntos de medición, iniciar el sistema y entrenar al equipo de Southern Perú en el correcto uso y manejo de la solución.



*Figura 59.* Comisionamiento de gabinetes. Fuente: Emerson Perú (2020)

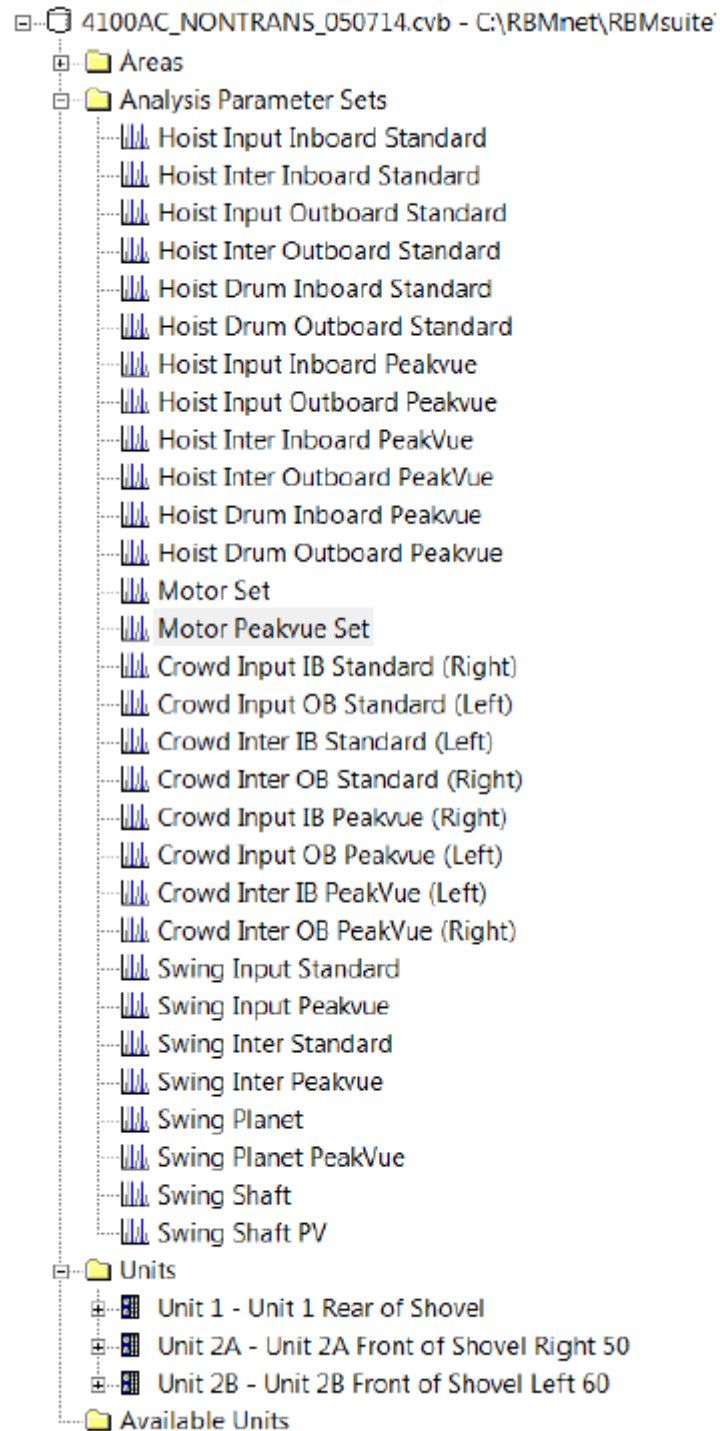


Figura 60. Configuración de puntos de medición de vibración de Pala P&H 4100 en Software AMS Machinery Manager. Fuente: Emerson Perú (2020)



### 3.5 Determinación de Costo/Beneficio – Post Implementación

#### 3.5.1 Costos de Implementación

En la siguiente tabla, se detalla los costos asociados al proyecto:

**Tabla 8.**

*Costo de la implementación del sistema de monitoreo en línea para Pala P&H 4100*

Item	Descripción	Proveedor	Cantidad	Precio Unit	Precio Total
<b>Productos</b>					
<b>Solución AMS 6500 para Pala P&amp;H 4100</b>					
1	AMS 6500 Prediction System for P&H 4100	Emerson	1	\$ 105,327	\$ 105,327
2	Sensores, Cables y Kit de Instalación	IMI PCB	1	\$ 22,164	\$ 22,164
<b>Servicios</b>					
3	Servicios de ingeniería, supervisión y gerenciamiento del proyecto	Emerson Perú	1	\$ 13,925	\$ 13,925
4	Servicios especializados de comisionamiento, configuración, puesta en marcha y entrenamiento de la solución	Emerson Chile	1	\$ 14,002	\$ 14,002
5	Integración de Gabinetes	ICRT	1	\$ 25,332	\$ 25,332
6	Instalación, tendido de tuberías y conexionado	Controltek	1	\$ 27,165	\$ 27,165
7	Servicio de instalación de encoders	TTM Perú	1	\$ 17,085	\$ 17,085
<b>Total (No incluye IGV)</b>					<b>\$ 225,000</b>

Fuente: Elaboración propia (2020)

#### 3.5.2 Costos de Producción

En la Tabla N° 7 se realizó el ejercicio del cálculo del valor de la producción por cada hora de la pala, llegando a la conclusión, que:

*El costo de producción por hora de pala detenida es de \$63,000 USD*



## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

A continuación, se plantean los resultados para cada objetivo específico planteado en el Capítulo 1

### 4.1 Desarrollo Objetivo Específico 1

**“Determinar el proceso actual para el monitoreo de vibraciones de las palas eléctricas en la empresa Southern Peru Cooper Corporation”.**

Con el desarrollo de este trabajo de suficiencia profesional, la importancia de implementar una estrategia de mantenimiento predictivo, basada principalmente en monitoreo de condición; esto es conocido por los especialistas de mantenimiento de las empresas mineras. En ese sentido, medir vibración en la pala es una tarea no negociable, considerando lo crítico de este activo para la operación.

Antes de la mejora, el monitoreo de vibraciones se realizaba de forma manual con analizadores de vibración portátil donde el especialista tiene que apersonarse a la pala para la medición, teniendo los siguientes desafíos:

- Recolección de datos manuales bajo programación (generalmente mensual).
- Requiere de 2 a 4 horas de inactividad.
- No permite realizar otras actividades de mantenimiento.
- Se requiere programar con frecuencia esta actividad.
- Alto involucramiento de la seguridad/integridad del personal.
- Complejidad en la obtención de trazabilidad en la tendencia de datos.
- Requiere de alta especialización del inspector/analista predictivo.

En conclusión, la forma como se viene colectando los datos de la pala no son nada eficientes y menos eficaces; por el contrario, afecta negativamente a la productividad de la pala y expone al personal ante el peligro inminente de atrapamiento por estar contacto con componentes rotativos y expuesto a la línea de fuego.

A continuación, podemos revisar el IPERC (Identificación de peligros y evaluación de riesgos y control) realizado por personal de Southern para esta tarea de colecta de datos manuales, donde se observa que el riesgo a sufrir un accidente es alto por exposición a componentes rotativos en la pala. Así mismo, como control de sustitución se sugiere la implementación de un sistema de monitoreo en línea.


 <b>SOUTHERN COPPER</b> SOUTHERN PERU		<b>IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS, EVALUACIÓN DE RIESGOS Y MEDIDAS DE CONTROL</b> <b>RG-SSA-002</b>																Fecha:	1/28/2019
																		Versión:	00
																		Página	1 de 1
PROCESO	ACTIVIDAD	TAREA	PELIGROS	RIESGOS	EVALUACIÓN DE RIESGOS				CONTROLES					REEVALUACIÓN				ACCIÓN DE MEJORA	RESPONSABLE
					PROBABILIDAD (P)	SEVERIDAD (S)	NIVEL DE RIESGO (P x S)	EVALUACIÓN	ELIMINACIÓN	SUSTITUCIÓN	CONTROLES DE INGENIERÍA	CONTROLES ADMINISTRATIVOS	EPP	PROBABILIDAD (P)	SEVERIDAD (S)	NIVEL DE RIESGO (P x S)	EVALUACIÓN		
MONITOREO DE CONDICIÓN DE SISTEMAS IZAJE, EMPUJE Y GIRO DE PALA P&H 4100	MONITOREO DE VIBRACIONES	COLECTA DE DATOS	Traslado a Tajo Abierto	* Volcadura * Choque * Despistes * Cuneteadas * Atropello	C	3	3C	MEDIO	N/A	N/A	N/A	* Verificar que el conductor este bien descansado * Respetar todas las señales de tránsito * No superar los límites de velocidad establecidos * Personal capacitado en manejo defensivo * Mantener distancia de los vehículos en movimiento * Ceder el paso a transeúntes	Uso de Epp Básico: casco, zapatos con punta de acero, chaleco con cintas reflectivas, barbiquejo, lentes, etc.	D	3	3D	ACEPTABLE	* Inspección (check list) de vehículo * Cumplir con el programa de mantenimiento de vehículos * Capacitación sobre manejo defensivo.	* Conductor * Inspector * Supervisor de operaciones * Supervisor de seguridad
			Componentes Rotativos en Movimiento	* Atrapamiento * Golpes * Muerte	A	1	1A	EXTREMO	N/A	Implementación de Sistema de Monitoreo en Línea	Señalítica en el Lugar	* Entrenamiento al personal para monitoreo en componentes rotativos * Mantener la distancia adecuada con partes rotativas del equipo * Trabajo entre 02 personas * Atención y concentración en la tarea	Uso de Epp Básico: casco, zapatos con punta de acero, chaleco con cintas reflectivas, barbiquejo, lentes, etc.	B	1	1B	ALTO	* Inspección preliminar antes de iniciar actividades * Sacar la pala de operación durante la actividad * Capacitación exposición a componentes rotativos	* Inspector * Supervisor de operaciones * Supervisor de seguridad
			Equipos Energizados	* Electrocuación * Paro cardio respiratorio	C	3	3C	MEDIO	N/A	N/A	N/A	* Entrenamiento al personal para monitoreo con equipos energizados * Entrenamiento al personal en peligros y riesgos de la electricidad * No estar en contacto con conectores o terminales eléctricos	Uso de Epp Básico: casco, zapatos dieléctricos, guantes con cintas reflectivas, barbiquejo, lentes, etc.	D	3	3D	ACEPTABLE	* Verificación de tensión en componentes eléctricos * Solicitar autorización de personal electricista previo al ingreso	* Inspector * Supervisor de operaciones * Supervisor de seguridad
			Factor Climático (lluvias, neblina, polución, rayos)	* Hipotermia * Quemaduras por temperaturas extremas * Electrocuación	C	3	3C	MEDIO	N/A	N/A	N/A	* Entrenamiento al personal en factores climáticos en la unidad minera * Entrenamiento al personal ante alerta roja * Estar alerta a cualquier anuncio de Centro de Control	Uso de Epp Básico: casco, zapatos dieléctricos, guantes con cintas reflectivas, barbiquejo, lentes, etc.	D	3	3D	ACEPTABLE	* Resguardo de personal ante cualquier aviso de alerta * Utilizar bloqueador solar	* Inspector * Supervisor de operaciones * Supervisor de seguridad

Figura 61. Matriz IPERC para la actividad de monitoreo de condición manual. Fuente: Southern Perú (2021)

## 4.2 Desarrollo Objetivo Específico 2

**“Determinar en cuanto la implementación del sistema de monitoreo en línea en la Pala P&H 4100 reducirá las horas por parada no planificada”.**

Como parte del desarrollo de este proyecto, se obtuvo como datos que la indisponibilidad mensual por paradas no programadas en la Pala P&H 4100 ascendía a 21.96 horas mensuales (Ecuación N° 3).

En forma conjunta entre los equipos de Emerson Perú y Southern Perú, se decidió evaluar los diferentes criterios para la implementación:

**Tabla 9.**

*Efectividad acordada del proyecto por el equipo multidisciplinario de Emerson y Southern Perú.*

<b>Item</b>	<b>Tipo de Criterio</b>	<b>Efectividad</b>
1	Criterio Pesimista	35%
2	Criterio Realista	55%
3	Criterio Optimista	70%

Fuente: Elaboración propia (2020)

Para términos de la evaluación del proyecto se decide en forma conjunta, considerar el **criterio pesimista** para la evaluación del proyecto. Una vez el proyecto se ponga en marcha, se podrán evaluar los valores reales de la implementación y su impacto con la disponibilidad y productividad de la pala P&H 4100.

Entonces, aplicando la efectividad el proyecto y como está afectaría a la disponibilidad del equipo en referencia a las Horas Mensuales de Paradas No Programadas, se tiene:

- Horas Mensuales: 21.96 Hr/mes (Antes del Proyecto)
- Efectividad del Proyecto: 35%
- Horas Mensuales: 14.27 Hr/mes (Posterior al Proyecto)

Esto significa que mensualmente, la Pala P&H producirá por 7.68 Hrs adicionales a través de la implementación del proyecto, lo que se convierte en un incremento de su productividad y generación de ingresos que asciende al monto de \$ 483,840 USD mensuales.

#### **4.3 Desarrollo Objetivo Específico 3**

**“Estimar el costo de la implementación del sistema de monitoreo en línea en la Pala P&H 4100 utilizando como método de cálculo el retorno de la inversión (ROI) en la Compañía Minera Southern Perú – Site Toquepala”.**

En la sección 3.3.2 de este trabajo de suficiencia profesional, se había calculado:

- Índice de Indisponibilidad anual por paradas no planificadas era de 3.05%
- La cantidad de horas perdidas por mes era de 21.96 horas.
- El monto perdido por indisponibilidad mensual asciende a \$1,38 MUSD.
- Considerando un criterio pesimista, se acuerda en forma conjunta entre Southern Perú y Emerson que la efectividad de la implementación del sistema de monitoreo en línea

es de 35%. Esto significa que el ahorro mensual que se lograría a través de esta implementación, reduciendo la indisponibilidad al 35% sería de \$ 483,840 USD.

- Calculando el ROI (Return On Investment):

$$\text{ROI} = \frac{483,840 - 225,000}{225,000} = 1,15$$

Con el ejercicio de cálculo de ROI, podemos identificar que el proyecto cuenta con una excelente ratio de retorno de inversión, por lo que la solución obtendría un retorno de inversión, en aproximadamente 26 días.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES

### 5.1 Conclusiones

Como resultado de la implementación del proyecto de monitoreo de condición en línea de la Pala P&H 4100 en la empresa Southern Perú, se ha obtenido un incremento en la disponibilidad y producción de 7.68 Hrs mensuales, con un incremento económico en la productividad que asciende a \$ 483,840 USD.

De acuerdo con los objetivos planteados, el desarrollo del presente trabajo de suficiencia concluye lo siguiente:

- Se demostró que la aplicación de la ingeniería de métodos a través de los análisis con los Diagramas de Causa Efecto y Pareto; sirven para identificar los problemas que se vienen presentando en el proceso productivo de extracción de mineral.
- Una vez de analizar esta información, se logró identificar que las palas es uno de los activos más críticos que existe en una compañía minera.
- Al momento de la implementación del proyecto de monitoreo en línea en la Pala P&H 4100, se logró reducir indisponibilidad de la pala por motivos de paradas no planificadas, en un 35%, de esta forma se logra incrementar automáticamente la disponibilidad y la productividad de pala en 7.68 Hrs adicionales de forma mensual.
- Identificando los problemas que generan las paradas no planificadas y relacionándolo con el costo por hora de una pala inoperativa, se obtuvo un incremento considerable en los niveles de disponibilidad de la pala, lo que se traduce en un incremento de la productividad del equipo.
- El costo beneficio como herramienta de decisión económica se materializo en el incremento de la productividad a causa de la implementación del proyecto.



## 5.2 Recomendaciones

En todos los procesos de producción existe cierto potencial de mejora. Para poder identificar estas oportunidades, es necesario analizar los indicadores de gestión que se cuenten en la compañía, ya que, a través de la identificación de los problemas, nos permite desarrollar ciertas estrategias de mejora, con la intención de hacer nuestro proceso más eficiente.

Por ese motivo, recomiendo:

- Aplicar lo aprendido en la etapa estudiantil en la UPN a nuestro campo laboral. En mi caso personal, el curso de Gestión de Mantenimiento fue de mucha utilidad, ya que me permitió poder contar con las herramientas adecuadas para la elaboración de este trabajo de suficiencia profesional.
- Identificar los equipos críticos de su planta, ya que ellos son los principales jugadores al momento de evaluar la productividad, seguridad, impacto al negocio, medio ambiente, etc.
- Mantener actualizados nuestros indicadores de gestión de los equipos críticos de la planta, con la intención de identificar los puntos de mejora para cada uno de los equipos seleccionados.
- Es importante poder establecer un equipo multidisciplinario interno y/o externo, que permita realizar una evaluación correcta del equipo e identificar las oportunidades de mejoras, a través de la utilización de las herramientas de gestión.
- Una vez identificadas las oportunidades de mejora, se debe evaluar a stakeholders que se alineen con el proyecto, que cuenten con experiencia en la solución requerida y de la misma forma se comprometan con los alcances y necesidades de la compañía.

## REFERENCIAS

- Allied Reliability Group (2013). *Pdm Secrets Revealed*. Recuperado el 16 de febrero de 2021 de:  
<https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2515281/Downloadable%20Content/Reports/PdM%20Secrets%20Revealed.pdf?t=1540871623464>
- A-Maq (2005). *Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico*. Recuperado el 12 de febrero de 2021 de:  
[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)
- Chacaltana, J. (2018). *Mejoras en el movimiento de tierras para reducir los costos operativos en la flota de carguío de minerales de una empresa minera* (Tesis para optar por el título profesional de ingeniero industrial). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.
- Darko, L. (2012). *Presentación Mantenimiento: Un proceso estratégico*. Chile: Komatsu Chile.
- Girdhar, P (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance*. USA: Elsevier.
- Dimar (2017), *Análisis de Vibración*. Recuperado el 21 de febrero de 2021 de:  
<http://dimarsa.com/analisis-de-vibracion/>
- Emerson (2013). *Vibration Monitoring System: Mining Shovels*. USA: Emerson Process Management.
- Gestión de Operaciones (2020), *Que es el diagrama de Ishikawa o diagrama de causa efecto*. Recuperado el 25 de febrero de 2021 de:  
<https://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-el-diagrama-de-ishikawa-o-diagrama-de-causa-efecto/>

- Gestión de Operaciones (2020), Como hacer un diagrama de Pareto con Excel 2010.

Recuperado el 25 de febrero de 2021 de:

<https://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/como-hacer-un-diagrama-de-pareto-con-excel-2010/>

- Gonzales, F. (2005). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. España: Fundación Confemetal.

- International Standard Organization – ISO 17359 (2003). Condition monitoring and diagnostic of machines – General guidelines.

- International Standard Organization – ISO 13379 (2003). Condition monitoring and diagnostic of machines – General guidelines on using performance parameters.

- International Standard Organization – ISO 10816-3 (2009). Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Industrial machines with nominal power above 15kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ.

- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2021). *Minería en el Perú: Resultados*. Recuperado el 03 de febrero de 2021 de:

<https://iimp.org.pe/mineria-en-el-peru/resultados>

- Komatsu (2019). *Palas eléctricas de cable*. Recuperado el 01 de febrero de 2021 de:

<https://mining.komatsu/es/miner%C3%ADa-de-superficie/palas-el%C3%A9ctricas-de-cable>

- Maquinarias Pesadas (2020). *Manual de Familiarización de Palas Eléctricas de Cable P&H*.

Recuperado el 10 de febrero de 2021 de:

<https://www.maquinariaspesadas.org/blog/1239-manual-familiarizacion-palas-electricas-cable-pyh>

- Mantenimiento (2018). *Historia del mantenimiento industrial*. Recuperado el 12 de febrero de 2021 de:

<https://mantenimiento.win/historia-del-mantenimiento-industrial/>

- Matayoshi, G. & Crippa, G. (2017). *Propuesta de implementación de mantenimiento basado en confiabilidad en una empresa de servicios de mantenimiento de palas hidráulicas en una mina* (tesis para optar por el título profesional de ingeniero industrial). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

- Merma, J. (2018). *Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM2) en las palas hidráulicas PC4000-6 Komatsu para el incremento de la disponibilidad* (Tesis para optar por el título profesional de ingeniero mecánico electricista). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

- Ministerio de Energía y Minas (2021). *Perú: País Minero*. Recuperado el 03 de febrero de 2021 de:

<http://www.minem.gob.pe/detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159#:~:text=El%20Per%C3%BA%20es%20un%20pa%C3%ADs,principal%20fuente%20de%20recursos%20minerales.>

- RD Station (2021). *¿Qué es el ROI?*. Recuperado el 19 de febrero de 2021 de: <https://www.rdstation.com/es/blog/roi/>

- Renovetec (2018). *Tipos de mantenimiento*. Recuperado el 15 de febrero de 2021 de: <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

- Riquelme, M. (2013). *Proyecto en monitoreo de condiciones para mantenimiento predictivo de palas electromecánicas* (Tesis para optar por el título de ingeniero civil electricista). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

- Saavedra, P (2012). *Análisis de vibraciones de máquinas categoría II, ISO 18436-2*. Chile: Universidad de Concepción.
- Saavedra, P (2001). *Mantenimiento predictivo en palas electromecánicas de la minería*. Chile: Universidad de Concepción.
- SKF (2016). *Análisis Vibracional – Categoría I*. Perú: SKF del Perú.
- SKF (2018). *Análisis de vibraciones – Categoría II*. Perú: SKF del Perú.
- Tecsup (2015). *Mantenimiento Predictivo*. Perú: Tecsup.
- Tylor, J (2003). *The Vibration Analysis Handbook*. USA: Vibration Consultants.
- Universidad de Sevilla (2007), *Optimización de herramientas de monitorización para el mantenimiento predictivo de maquinaria lenta y de velocidad variable*. España: Universidad de Sevilla.
- White, G (2010). *Introducción al Análisis de Vibraciones*. USA: Azima DLI.
- Wikipedia (2021), *Vibración*. Recuperado el 18 de febrero de 2021 de:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Vibraci%C3%B3n>

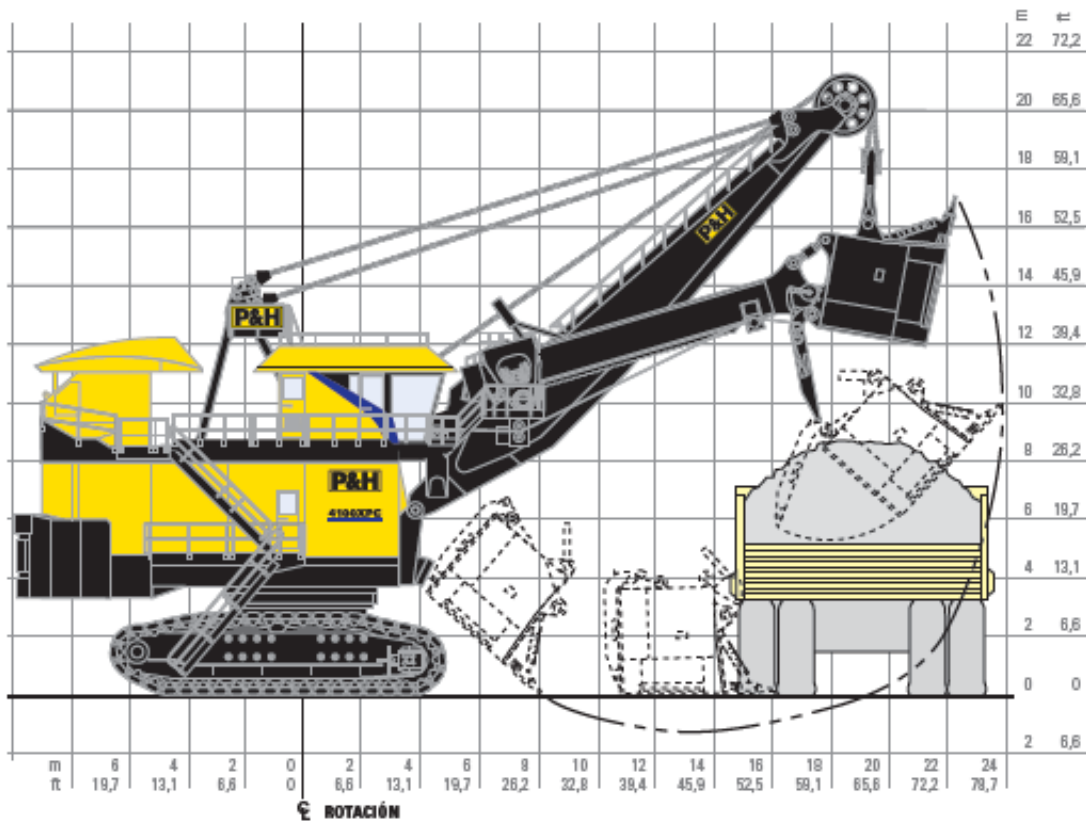
## ANEXOS

- ANEXO N° 1: Especificaciones Técnicas de la Pala P&H 4100.
- ANEXO N° 2: Especificaciones Técnicas de AMS 6500.
- ANEXO N° 3: Programación de cambio de componentes de Pala P&H 4100
- ANEXO N° 4: Principales Certificados del Tesista.
- ANEXO N° 5: Constancia de Trabajo (Emerson).
- ANEXO N° 6: Arquitectura del Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100.
- ANEXO N° 7: Listado de Equipos de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100.
- ANEXO N° 8: Plano Layout de Gabinete 1 AMS 6500 de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100.
- ANEXO N° 9: Plano Layout de Gabinete 2 PC Touch de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100.
- ANEXO N° 10: Listado de Señales de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100.
- ANEXO N° 11: Cronograma de implementación de Proyecto de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100.

ANEXO N° 1: Especificaciones Técnicas de la Pala P&H 4100



**4100XPC**  
Especificaciones generales  
de la pala eléctrica de minería



Rangos operacionales		
Altura de corte	16,8 m	55 ft 2 in
Radio de corte	23,9 m	78 ft 8 in
Altura de descarga* (puerta abierta)	9,5 m	31 ft
Radio a nivel del suelo	16,0 m	52 ft 6 in
Radio de giro de cola	9,8 m	32 ft 3 in
Nivel visual del operador	10,1 m	33 ft 1 in

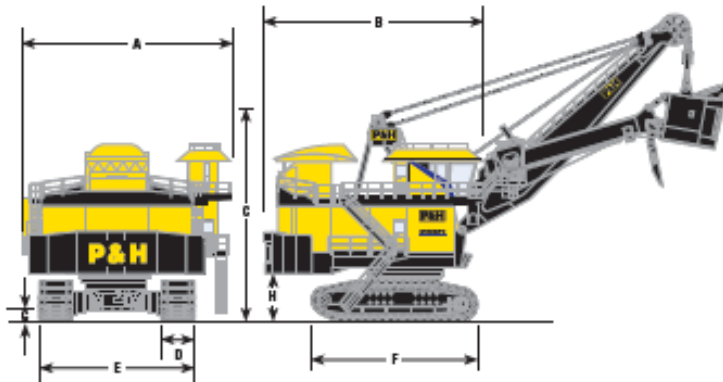
\*Se muestra la altura con un balde tipo oro. Las alturas son mayores para los baldes sin oro o compactos. La altura de descarga real puede ser mayor que la altura de la puerta.

Capacidad		
Carga útil nominal*	De 99,8 a 108,9 tm	120 tc
Capacidad nominal del balde rasante SAE	De 52,8 a 61,2 m <sup>3</sup>	De 69 a 82 yd <sup>3</sup>
SAE 2:1	de 58,3 a 67,6 m <sup>3</sup>	de 74,4 a 88,4 yd <sup>3</sup>
Carga suspendida nominal	195 tm	215 tc
Tamaño óptimo del camión (se muestra camión de 360 tm [400 tc])	De 218 a 363 tm	De 240 a 400 tc

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



## 2 Pala eléctrica de minería P&H 4100XPC



Dimensiones generales		
A Ancho	14,4 m	47 ft 1 in
B Longitud	15,0 m	49 ft 4 in
C Altura sobre pórtico	14,7 m	48 ft 3 in
D Ancho de zapatas	1.930 mm 2.210 mm	76 in 87 in
E Ancho de orugas (76")	10,2 m	33 ft 6 in
F Longitud de orugas	11,7 m	38 ft 6 in
G Distancia al suelo	0,7 m	2 ft 2 in
H Altura del suelo a la parte inferior de las placas de contrapeso	3,6 m	11 ft 10 in

Requisitos de potencia		
Voltaje de alimentación*	7.200 o 13.800 V trifásico, 60 Hz	6.000, 6.600, 7.200 u 11.000 trifásico, 50 Hz
Transformador de alimentación	(Mínimo) 3.750 kVA	
Cortocircuito VA mínimo disponible en la pala	30 MVA	

\*Voltaje según los requisitos del cliente

Giro	
Tres cajas de engranajes planetarios modulares P&H de diseño probado y un engranaje de giro forjado de una sola pieza transmiten el torque para obtener tiempos de ciclos rápidos.	
Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor.	
Sistema de filtración de la lubricación por salpicadura.	

Propulsión	
La propulsión a demanda permite una rápida transferencia al modo de propulsión. La transferencia rápida a su vez permite un reposicionamiento frecuente de la pala en el banco, lo que reduce en tiempos de ciclos más rápidos y mayor eficiencia de la excavación.	
Dos cajas de engranajes planetarios P&H robustas de diseño probado transmiten de forma independiente el torque a las ruedas dentadas motrices, generando la fuerza de tracción requerida para que la propulsión y las operaciones de posicionamiento se efectúen rápida y eficientemente.	
Sistema de propulsión de rueda dentada motriz de baja tensión Delta marca P&H con zapatas de orugas de fundición para trabajo pesado.	
Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor.	

Empuje	
Accionamiento por correa en V Powerband entre el motor y el engranaje absorbe las cargas de choque.	
Engranajes de primera y segunda reducción en carcasa cerrada para garantizar la lubricación por salpicadura, facilitar el mantenimiento y extender la vida útil de los componentes.	
El mango del balde de brazos dobles con cajón de torsión y accionamiento de piñón tiene una estabilidad inherente en el banco y ofrece una capacidad óptima de excavación.	
Freno de disco de aplicación por resorte y liberación neumática.	

Levante	
Todos los engranajes están alojados en cajas de engranajes enclaustradas individuales con aceite filtrado y refrigerado que lubrica todos los cojinetes, además de lubricación por salpicadura para obtener un funcionamiento confiable y facilitar el mantenimiento.	
Tambor de levante grande con diámetro de 68" para una vida útil más prolongada de flexión del cable. El sistema de estrobo de férula y el remolcador eléctrico doble se entregan de fábrica de forma estándar para un cambio eficiente del cable.	
Frenos de disco de aplicación por resorte y liberación neumática – uno por motor.	

**Komatsu Mining Corp. Group**  
mining.komatsu



Los diseños, las especificaciones y/o los datos de los productos en este documento se proporcionan solo para fines informativos y no representan una garantía de ningún tipo. Los diseños y/o las especificaciones pueden cambiar en cualquier momento sin previo aviso. Las únicas garantías que se aplican a la venta de nuestros productos y servicios son nuestros documentos de garantía estándar, que se suministrarán a pedido.

Komatsu, Joy, Montabert, P&H, Delta y otras marcas comerciales y de servicio que se utilizan aquí son propiedad de Komatsu Ltd., Komatsu Mining Corp., o de sus respectivos propietarios o licenciatarios.

© 2018 Komatsu Mining Corp. Todos los derechos reservados.

SP-4100XPCSPEC01-0518-V1

## ANEXO N° 2: Especificaciones Técnicas del AMS 6500

Reliability Solutions

Product Data Sheet

June 2019

# AMS 6500 and AMS 6500 ATG Balance of Plant Prediction Monitors



Flexible condition monitoring systems with PeakVue™ mechanical stress detection.



*Overland Mining Conveyor – Typically the conveyor drives and tension roll bearings are the components monitored. When one drive on this conveyor is down the whole mining operation is down.*

### Online Vibration and Process Monitoring

Every facility has assets and processes that fall into different reliability criticality categories, and most can be monitored using periodic manual data collection. For rotating assets, the most effective data collection is bearing and casing vibration readings with typical data collection once per month. But for some assets and the processes associated with them, this approach is insufficient to characterize the asset or the process health. Not knowing the moment-to-moment state of particular assets and processes could result in an unscheduled failure that brings the process to a halt, causing lost productivity.

Online monitoring provides frequent measurements 24/7 so you are “always aware” of asset health. Online monitoring is always in place and ready to collect data, especially during transitional states such as start-ups, during commissioning and coastdowns. Online measurements are collected from permanently installed sensors to provide more accurate, repeatable measurements.

AMS



## AMS 6500 and AMS 6500 ATG Balance of Plant Prediction Monitors

June 2019

Frequent data collection associated with online monitoring requires an applied intelligence in the system to know what data is meaningful and what data is not. To be relevant, the data must be collected correctly and grouped appropriately – for example; mixing data collected at different speeds can lead to inaccurate diagnosis. Data from different machine set points such as different running speeds and process loading should be segregated so the data makes sense. To address this issue, Emerson’s condition monitoring systems provides:

- Adaptive monitoring technology using state-based acquisition and state-tracked history
- Order tracking analysis
- Flexible prediction monitoring setup with a wide selection of analysis features



*Cooling Tower Fans – typically the fan motor and gearbox are candidates for monitoring. Loss of a cooling tower fan gearbox could limit available cooling and reduce production capacity.*

Online data should be collected frequently to allow analysis that includes details from every state the asset experiences. It is not enough to collect data every few hours, once a day or longer. Data should be collected every few minutes, or more frequently depending on the asset. The data should be vetted to determine if there is a notable change, and if no change has occurred only a predefined storage interval should be archived



*Vertical Water Pumps – pump drive and pump bearings are the components monitored. Loss of one pump could affect the ability to meet peak water demands.*

Data showing alarms or significant percent changes should be stored more often. Emerson condition monitoring systems address these challenges using:

- Fast data collection - each Emerson online system is equivalent in speed to the AMS 2140 route-based collector with all channels updated in as little as a few seconds
- Data vetted against multiple collection types:
  - Alert-based collection
  - Percent change-based collection
  - Periodic collection
  - State-based collection, such as speed
- Transient data collection such as the onboard DCR (Digital Condition Recorder) that acts as a “black box” with FIFO archiving of data, or permanent storage of short transient events based on alert, scheduled or manual selection.
- Live data mode for reviewing data in real time.

Online data collection should also be effective in describing the mechanical severity of the machine being monitored. An analyst should not have to wade through massive amounts of data to determine the asset health status and what assets are near failure. To simplify asset mechanical health analysis, Emerson provides:

- Transient data collection
- PeakVue™ technology for detecting mechanical failure using PeakVue values and waveforms.
- Exception Reporting



## AMS 6500 and AMS 6500 ATG Balance of Plant Prediction Monitors

June 2019

Emerson’s unique PeakVue technology was developed by in-house experts, and has been field-proven to be a most effective and reliable indicator of mechanical damage severity. Based on an easy to understand severity scaling, PeakVue technology provides the earliest indications of machine degradation.

An online system should be able to be deployed in a wide variety of applications. Emerson’s condition monitoring systems are able to be installed as:

- Traditional wall-mounted cabinets
- 19-inch rack-based cabinets
- Portable systems for temporary installations and trouble-shooting
- Modbus transmitter – based in the field
- Layered prediction on top of existing protection systems



*SAG and Ball mills at an ore processing facility – typically the mill drives, the mill gearbox and mill bearings are monitored. Loss of one SAG mill could result in a significant production shortfall.*

In addition, an online monitoring system should be able to deliver data in whatever format is required for analysis, such as:

- Single or double-integration for working between acceleration, velocity and displacement signals.
- Fast measured (seconds apart) and calculated values such as NX amplitude and phase over several orders of running speed and many other parameters.

Online monitoring systems should be able to withstand corrosive and extreme environments while meeting safe component standards. Emerson’s condition monitoring systems meet the following standards:

- CSA C1D2, ATEX/IECEX Z2, and Marine for AMS 6500 ATG
- CSA C1D2 and ATEX/IECEX Z2 for AMS 6500 Prediction
- RoHS/REACH compliance
- Conformal coated electronics
- Shock and Vibration capable



*Large Centrifugal Fan – typically the fan drive and fan bearings are the components monitored. This fan does not have a backup.*

### AMS 6500 ATG

Emerson’s AMS 6500 ATG introduces a new ground-breaking approach for machinery shutdown protection. The ATG release comes with an easy two card measurement card set, embedded OPC UA and Modbus RTU, Machine Studio advanced setup software, multiple agency approvals and basic prediction capabilities including PeakVue technology. Emerson expands on this basic prediction to full prediction capability with AMS Machine Works Version 1.5 or higher. Existing AMS 6500 ATG users will need to install an Emerson supplied prediction enablement kit to implement the full prediction capabilities.

This new ATG prediction application allows AMS Machine Works software to communicate directly over Ethernet to the ATG to provide full waveform and spectrum analysis as well as event-based transient data based on alert, schedule or demand. Protection measurement security is maintained by using Machine Studio as the sole configuration source.

## AMS 6500 and AMS 6500 ATG Balance of Plant Prediction Monitors

June 2019

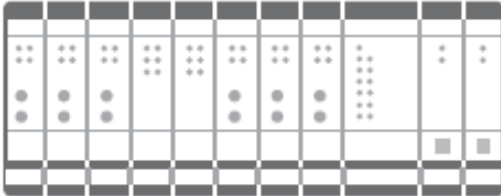

ATG prediction provides a rich trend, spectrum and waveform history for an analyst to evaluate machinery health status. The full functionality of AMS Machine Works is available including the transient Advanced Analysis Tools.

The AMS 6500 ATG is the perfect choice to deliver full prediction and shutdown protection to such BOP assets as ID and FD fans, and BFP (boiler feedwater pumps). The combination of the ATG and AMS Machine Works is ideal for more common BOP assets located in dangerous environments and therefore requiring agency approved monitoring solutions. And this combination can be part of a plant-wide reliability approach which includes AMS 6500 prediction, AMS 9420 wireless prediction and AMS 2140 portable route-based prediction.

### AMS 6500 ATG – the Bottom Line

AMS Machine Works reads the waveform and spectral data from the AMS 6500 ATG and handles it as it would data from any other Emerson vibration data collection device. The full capabilities of AMS Machine Works can be applied, including bearing and gear analysis, and all reporting capabilities.

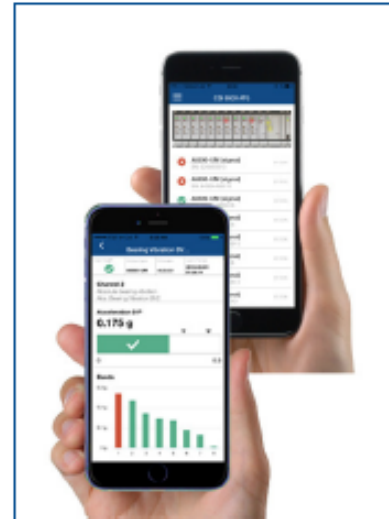
The AMS 6500 ATG is a versatile condition monitoring system with built in logic for special measurement setup, Modbus RTU and OPC UA communications, event transient data capture, multiple agency approvals and the ATG View mobile application. Whether deployed as a full online protection system or a full prediction system, the AMS 6500 ATG can deliver everything you need for asset or process protection and health analysis.

Select a Prediction System	
	
<b>Use AMS 6500 ATG Prediction for</b>	<b>Use AMS 6500 Prediction for</b>
Hazardous rated areas; CSA C1D2, ATEX/IECEX Z2 and Marine	Hazardous rated areas: CSA C1D2 and ATEX/IECEX Z2
API 670 critical turbomachinery protection	Prediction assets without critical shutdown criteria
Prediction on an ATG protection system	Prediction layered on top of existing protection
AMS 6500 ATG system expansion	AMS 6500 prediction system expansion
Event, scheduled or demand based transient	100 hour, Digital Condition recorder FIFO transient
Predicates	Adaptive Monitoring with Predicates
AMS Machine Works V1.5 or higher	AMS Machinery Manager, current release (same as AMS 2140)

**AMS 6500 and AMS 6500 ATG  
Balance of Plant Prediction Monitors**

June 2019

<b>AMS 6500 ATG General</b>	
Analog Channels	up to 44 (2 full ATG racks)
Tachometer Channels	Same as analog
Fmax / Sampling Rate	18.75kHz / 48k samples per second
ADC Resolution	24 bit
Data Available	Spectrum, Waveform, PeakVue Waveform
Lines of Resolution / Samples	up to 12800 LOR / 32768 samples
Voltage Input Type / Impedance	±24V AC+DC (A6500UM) / >100KΩ (diff)
Sensor Power (ICP) / Impedance	0 to 8ma at 25V / >100 KΩ (differential)
Channel Scan	All channels simultaneous
Units	English, Metric, Hz, CPM, order
Scaling	Linear and Log
High Frequency Detection	PeakVue Value and PeakVue Waveform
Hardware Communications	OPC UA, Modbus RTU & TCP/IP
Operating Temperature	-20°C to 70°C (-4°F to 158°F)
Vibration IEC60068-2-6 (operating)	2g @ 55-150Hz, 3 axes
Shock IEC60068-2-27 (operating)	10g, 4000 shocks per axis, 3 axes
Relative Humidity	5 to 95% non-condensing
Warranty	42 months from ship date
<b>Hazardous Area Approvals</b>	
CSA	Class I Division 2, Groups A, B, C, D, T4 Class 1, Zone 2 Ex/AEx nA nC IIC T4 Gc
ATEX/IECEx	II 3G - Ex nA nC IIC Gc
<b>AMS 6500 ATG Advanced Prediction and Transient (with AMS Machine Works V1.5)</b>	
Analog / Tachometer Channels	up to 44 (2 full ATG racks)
Fmax / Sampling Rate	37.5kHz / 96k samples per second
Lines of Resolution	200 up to 51200
GRAB Event Length	960k samples per channel
Channel Scan	All channels simultaneous
GRAB Prediction/Transient Trigger	Alert / Scheduled / Demand
GRAB Transient Trigger (alert)	Pre / Post configurable
GRAB Software Viewing Modes	Replay with speed control, up to 11 chan.
GRAB Software Analysis Tools	Bode / Nyquist and many more



AMS 6500 ATG features the ATG View mobile application, allowing you to be "always aware" of asset and online system health.



## AMS 6500 and AMS 6500 ATG Balance of Plant Prediction Monitors

June 2019

### AMS 6500


The AMS 6500 is a versatile condition monitoring system whether deployed as a standalone Modbus transmitter, a full online prediction system, or embedded or layered on top of an existing machinery protection system. The AMS 6500 delivers everything you need for asset prediction or process health analysis.


All AMS 6500 systems are available with optional Transient DCR 100-hour data recording. With the 100 hour DCR, you can see on Monday morning a replay of what happened at any time during the weekend. The AMS 6500 comes in a portable version - the AMS 2600. Many consultants find a AMS 2600 with Transient to be very useful for machinery and structural analysis. Transient files can be downloaded into ME'Scope Modal/ODS software to perform detailed cross channel modal analysis.

### The updated AMS 6500

The AMS 6500 has many improvements over prior releases. The AMS 6500 processor card has been completely redesigned around a modern FPGA processor which runs faster and cooler on less power. The new electronics are RoHS and REACH compliant. The new AMS 6500 is compatible with all prior versions of the monitoring system as long as they are all managed under AMS Machinery Manager v5.61 or higher with the latest patch. The A6560R processor card functions as a "monitoring" card and the A6560RT provides "transient" functionality by adding the transient hard drive and enabling the transient functionality in the firmware. The transient hard drive has evolved to SSD (solid state drive) mSATA technology, making it more compact and reliable. Emerson has made a significant investment to update the AMS 6500 technology to deliver on our AMS 6500 lifecycle commitment for many years to come.

Contact your local Emerson sales person to receive a demonstration of prediction capabilities or to get a quote for your condition monitoring requirements.

	<p>A6500MS-12 monitoring 12CH, PeakVue, Modbus A6500MS-24 monitoring 24CH, PeakVue, Modbus ALSO: A6500TS-12 Transient 12CH, PeakVue, Modbus A6500TS-24 Transient 24CH, PeakVue, Modbus</p> <p>Also available as CSA Class 1 Div 2, ATEX/IECEX Zone 2 by adding "-EX" to the rack part number</p> <p>Wall Mount Cabinet A6500MS-24-ENCL-IC (24" tall x 16" wide x 12" deep)</p>
---	--

	<p>A6500MR-12 monitoring 12CH, PeakVue, Modbus A6500MR-24 monitoring 24CH, PeakVue, Modbus A6500MR-36 monitoring 36CH, PeakVue, Modbus A6500MR-48 monitoring 48CH, PeakVue, Modbus</p> <p>Also available as "A6500TR" Transient versions</p> <p>Also available as CSA Class 1 Div 2, ATEX/IECEX Zone 2 by adding "-EX" to the rack part number</p> <p>Wall Mount Cabinet A6500PRE-SS-WM-IC (36" tall x 24" wide x 12" deep)</p>
---	---



## AMS 6500 and AMS 6500 ATG Balance of Plant Prediction Monitors

June 2019

AMS 6500 Prediction General	
Analog Channels	12 or 24 (1 or 2 A6510)
Tachometer Channels	2 or 4 (0.1-2kHz, or up to 60kHz divided to $\pm 2$ kHz), (0.5V to 24V)
Relay Channels	2 or 4 (SPDT 24V at 0.5A dry contact)
Fmax / Sampling Rate	10Hz to 40kHz / 102.4k samples per second
ADC Resolution/Dynamic Range	24 bit / 95 dB conservatively measured
Lines of Resolution	100 up to 6400
Voltage Input Type / Impedance	$\pm 24$ V AC + DC / 1 M $\Omega$ (differential)
Sensor Power / Impedance	4ma at 22V / 500 K $\Omega$ (single ended)
Channel Scan	2 Channel simultaneous
Channel Scan Rate Example	1 second; 2CH, 400 LOR, 400Hz, 1 average
Gross Scan	All channels continuous
Units	English, Metric, SI, Hz, CPM, Order
Scaling	Linear, Log and dB
Windows	Hanning, Uniform
Averaging	Summation, Exponential, Time Synchronous Averaging, Order Tracking
High Frequency Detection	PeakVue™
Hardware Communications	Modbus TCP
Operating Temperature	-20°C to 60°C (-4°F to 140°F) active cool above 49°C (120°F)
Vibration IEC60068-2-6 (operating)	5g @ 57-500Hz, 3 axes
Shock IEC60068-2-27 (operating)	30g @ 11ms, 3 axes
Shock IEC60068-2-27 (non-oper.)	50g @ 8ms, 3 axes
Relative Humidity	5 to 95% non-condensing
Warranty	42 months from ship date
Hazardous Area Approvals	
CSA	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D Class I, Zone 2, AEx / Ex ec nC IIC Gc -20°C $\leq$ Ta $\leq$ 60°C
ATEX/IECEx	II 3G - Ex ec nC IIC Gc -20°C $\leq$ Ta $\leq$ 60°C



AMS 2600  
Portable AMS 6500  
20.25" x 16" x 8.25", 30 LB



A 48-channel AMS 6500 deployed in a A6500PRE-SS-WM-IC wall mount enclosure, monitoring SAG and Ball mills at an ore processing facility.

## AMS 6500 and AMS 6500 ATG Balance of Plant Prediction Monitors

June 2019

AMS 6500 DCR (Digital Condition Recorder) Transient Option	
DCR Analog Channels	12 or 24 (1 or 2 A6510-T)
DCR Tachometer Channels	2 or 4
DCR Fmax / Sampling Rate	2kHz / 5120 samples per second
DCR ADC / Dynamic Range	16bit / >80dB
DCR Lines of Resolution	200 up to 51200
DCR Length	100 hours, all channels / FIFO
DCR Channel Scan	All channels simultaneous
DCR Transient Auto/Manual Archive	Up to 60min. from Alert/ Scheduled/Demand
DCR Viewing Modes	Replay with speed control, up to 11 chan.
DCR Advanced Analysis Tools	Bode / Nyquist, Shaft Centerline, Full Spectrum and many more

Emerson  
Reliability Solutions  
835 Innovation Drive  
Knoxville, TN 37932 USA  
☎ +1 865 675 2400

© [www.emerson.com/ams](http://www.emerson.com/ams)

©2019, Emerson. All rights reserved.

The Emerson logo is a trademark and service mark of Emerson Electric Co. The AMS logo is a mark of one of the Emerson family of companies. All other marks are the property of their respective owners.

The contents of this publication are presented for informational purposes only, and while diligent efforts were made to ensure their accuracy, they are not to be construed as warranties or guarantees, express or implied, regarding the products or services described herein or their use or applicability. All sales are governed by our terms and conditions, which are available on request. We reserve the right to modify or improve the designs or specifications of our products at any time without notice.

AMS



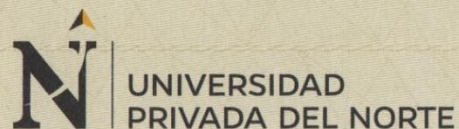
EMERSON

ANEXO N° 3: Programación de cambio de componentes de Pala P&H 4100

Periodo	Sistemas	Actividades	Tiempo, días
más de 96000	Giro	Cambio de pin central, tuerca y bujes	60
48000 a 54000	Giro	Cambio corona de giro, pistas, piñones de giro, buje pin central y revolving. Reparacion estructural y mecanizado apoyo de pista en revolving frame. Reparacion estructural carbody, mecanizar base apoyo pistas y corona de giro	60
	Levante	Cambio de corona y rodamientos tambor hoist. Reparación estructural tambor Chequeo dimensional y reparación estructural caja hoist. Cambio de bujes y pasadores de montaje.	
	Pluma	Cambio de bujes y pasadores de gantry y pluma, reparación estructural mayor	
	Alta tensión	Cambio seccionador caja inferior de alta tensión	
30000 a 36000	Propel	Cambio transmisiones de propulsión; pemos y acoplamientos nuevos.	30
	Levante	Girar corona y cambio rodamientos tambor hoist. Reparación estructural tambor Cambio de reducciones intermedias; ejes, coronas y rodamientos. Cambio ejes de primera reducción; ejes, acoplamientos y rodamientos.	
	Pluma	Cambio de bujes y pasadores. Reparacion estructural Cambio de planchas a cajones de desgaste	
	Crowd	Cambio shipper shaft, corona, bujes y gollillas de apoyo Cambio de eje intermedio, corona y rodamientos Cambio de eje de primera reducción y rodamientos Chequeo dimensional y reparación estructural caja crowd	
	Lubricación	Cambio de bombas de circulación de aceite de transmisiones; Crowd, Hoist y Swing	
	Alta tensión	Cambio seccionadores gabinete de alta tensión (Principal y Auxiliar) Cambio anillos colectores por unidad reparada	
	Sala Máquinas	Cambio ventiladores principales por unidades reparadas Cambio de huinchas para cambio de cables por unidades reparadas	
24000 a 30000	Propel	Cambio de polines, ruedas guías y ruedas tensoras del Rodado. Reparación estructural de bastidores	15
	Crowd / Pluma	Cambio de cables de suspensión por unidades nuevas Cambio de Dipper trip por unidad reparada	
	Giro	Cambio de transmisiones de giro; pemos y acoplamientos nuevos.	
18000 a 24000	Propel	Cambio de zapatas por unidades nuevas Cambio de ejes propel por conjuntos nuevos Cambio de tumblers por unidades nuevas	7
	Giro	Cambio de ejes y piñones de giro	
	Crowd / Pluma	Cambio de poleas de pluma por unidad reparada; preferencia aplicar up-grade.	
	Sala Máquinas	Cambio de ventiladores de gabinetes eléctricos por unidades reparadas	
12000 a 18000	Crowd / Pluma	Cambio de mango por unidad reacondicionada; cambio de cremalleras, bujes y pasadores Cambio de saddle blocks; cambio de bujes y placas desgaste Cambio de piñones de shipper shaft, en conjunto con instalacion de mango con cremalleras nuevas Cambio de ventilador motor C.C. Crowd	4
	Hoist	Cambio de ventilador motores C.C. Hoist	
	Giro	Cambio de Motores de C.C, ventiladores y Frenos de giro	
	Propel	Cambio de Motores de C.C, ventiladores y Frenos de propulsión	
	Propel	Cambiar pasadores y seguros a zapatas. Hacer trimming de flujo plástico.	
6000 a 12000	Aire Comprimido	Cambiar compresor de aire Cambiar válvulas relief, solenoides, direccionales y descarga rápida de aire comprimido	3
	Lubricación	Cambio de bombas, válvulas direccionales y relief de sistema central de grasa	
	Crowd / Pluma	Reparación estructural de mango (Cambio por Unidad Reacondicionada solo si necesario) Cambio de Motor de C.C.	
	Hoist	Cambio de Motores de C.C Cambio de Frenos de levante	
	Crowd / Pluma	Cambio de Frenos de Empuje (Crowd)	
	Propel	Cambiar pasadores y seguros a zapatas. Hacer trimming de flujo plástico.	
0 a 6000	Dipper	Cambio de Balde por unidad reacondicionada	2
	Dipper	Reparacion estructural, cambio bujes, cambio sistema cierre puerta	



ANEXO N° 4: Principales certificados del Tesista



En Nombre de la Nación, la Universidad Privada del Norte confiere el Grado de

**Bachiller en Ingeniería Industrial** a:

**CARLOS EDUARDO HUAYTA MENDOZA**

Quien optó por dicho **Grado** en la Facultad de Ingeniería, Carrera Profesional de **Ingeniería Industrial**; cumpliendo con los requisitos exigidos por las disposiciones legales vigentes. Por tanto, se expide el presente diploma a fin de que se le reconozca como tal.

Lima, 20 de octubre de 2017

Oscar M. Zevallos Ezcurre  
Decano

Andres R. J. Velarde Talleri  
Rector

Patricia C. Somocurcio Donet  
Secretaria General



Nº 124996

REPUBLICA DEL PERU  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN

A NOMBRE DE LA NACIÓN

POR CUANTO:

*El Ministro de Educación*

*Ha conferido el TÍTULO de*

PROFESIONAL TECNICO

EN MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA PESADA

A Don(ña)

CARLOS EDUARDO HUAYTA MENDOZA

TITULADO (A) en EL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO PRIVADO TECSUP N.º 01

POR TANTO:

*Se expide el presente TÍTULO para que se le reconozca como tal.*

Dado en LIMA a los 03 días del mes de Julio de 2009



INST. SUPERIOR TECNOLÓGICO PRIVADO  
TECSUP N.º 1

MARIO RIVERA DRAMS  
DIRECTOR GENERAL  
DE EDUCACIÓN SUPERIOR



MINISTERIO DE EDUCACIÓN  
GUILLERMO GARCÍA SAMAME  
Director Regional de Educación  
de Lima Metropolitana

INTERESADO





# Vibration Institute



A NOT-FOR PROFIT CORPORATION

*certifies that*

***Carlos E. Huayta Mendoza***

*has successfully completed the requirements for*

**VIBRATION ANALYST: CATEGORY II**

*in accordance with*

*the requirements stated in ISO 18436-2 Vibration Condition Monitoring and Diagnostics*

The Vibration Institute was established in 1972 for the dissemination of practical information on evaluating machinery behavior and condition.



11/2/07

*Date of Issue*

0711-4312A

*Certification Number*

12/31/12

*Expiration Date*

Ronald L. Eshleman

*Ronald L. Eshleman, President*

David Corelli

*David Corelli, Chairman of Certification*



# CERTIFICATE

## Level 1 Thermographer

THIS IS TO PROVIDE  
WRITTEN TESTIMONY THAT

*Carlos Huayta M.*

HAS DEMONSTRATED COMPETENCE AND  
SUCCESSFULLY FULFILLED THE CONDITIONS  
AND PROCEDURES SET FORTH, AND THEREBY SHOWS  
CONFORMANCE WITH CERTIFICATION  
REQUIREMENTS.

*November 9th, 2009*

DATE

A handwritten signature in black ink that reads 'Lisa West'.

ITC

**INFRARED TRAINING CENTER**

CERTIFIED ISO 9001 IN THE TRAINING, EDUCATION, AND CERTIFICATION OF  
PROFESSIONAL USERS OF THERMAL INFRARED SYSTEMS

STOCKHOLM, SWEDEN

CERTIFICATION NO. 2009PE60N012

THIS CERTIFICATION IS VALID UNTIL 10 YEARS FROM THE ABOVE DATE



WHERE QUALITY INSPECTORS ARE A MATTER OF COURSE



July 16, 2012

Carlos Huayta  
MINERA BARRICK MISQUICHILCA

Reference: Airborne UT Level I Class – Lima, Perú – June 18 to 22, 2012

Dear Carlos,

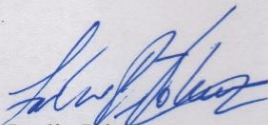
Thank you for participating in UE Training Systems Level I Examinations.

UEQ-TC-1A requires a minimum score of 70% and a composite score of 80% for certification.  
The following is the test score resulting from the examination:

TYPE	ID	DATE	LOCATION	SCORE	RESULTS
ABUT I	1006060971	06/18/2012	Lima, Perú	97%	Passed

Should have any questions, please do not hesitate to contact us via email or phone.

Sincerely,



Leslie Johnson  
UE Training Systems

14 Hayes Street, Elmsford, NY 10523

TELEPHONE  
914-592-1220

Email:  
[info@uesystems.com](mailto:info@uesystems.com)

24-HOUR FAX  
914-347-2181



## CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN

MEGA REPRESENTACIONES otorga la presente constancia a

**Carlos Huayta Mendoza**

De la Compañía **Minera Barrik Misquichilca**

Por haber participado en el **CURSO INTERNACIONAL DE ULTRASONIDO ACÚSTICO NIVEL I**, realizado Del 18 al 22 de Junio del 2012, en Hotel Libertador, San Isidro, Lima, Perú.

Lima, 22 de junio del 2012

Carlos Sáenz Freyre  
JEFE DE PRODUCTO, SERVICIO Y SOPORTE  
MEGA REPRESENTACIONES S.A.

Alejandro Gutiérrez Galarza  
SUPERVISOR DE CAPACITACIONES  
MEGA REPRESENTACIONES S.A.



ANEXO N° 5: Constancia de Trabajo (Emerson)



**Emerson Process Management del Perú S.A.C.**

Calle Juan Alfaro 227 | Urb. San Antonio – Miraflores

Lima 18 – Perú | Telf. +511 519-0130 | Fax +511 519-0131

[www.emersonprocess.com](http://www.emersonprocess.com)

## CONSTANCIA DE TRABAJO

**Sres. Universidad Privada del Norte,**

Mediante el presente dejamos constancia que el señor **CARLOS EDUARDO HUAYTA MENDOZA** identificado con **DNI N° 42663533** viene laborando en nuestra empresa desde el **01 de febrero 2018** bajo el cargo de:

**LIDER DE VENTAS RELIABILITY SOLUTIONS**

Expedimos la presente constancia a solicitud del interesado y para fines de estudios.

Lima, 12 de Noviembre del 2020.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Ursula Reyes Barraza".

---

Ursula Reyes Barraza  
Coordinadora RR.HH  
Emerson Process Management  
del Peru S.A.C.

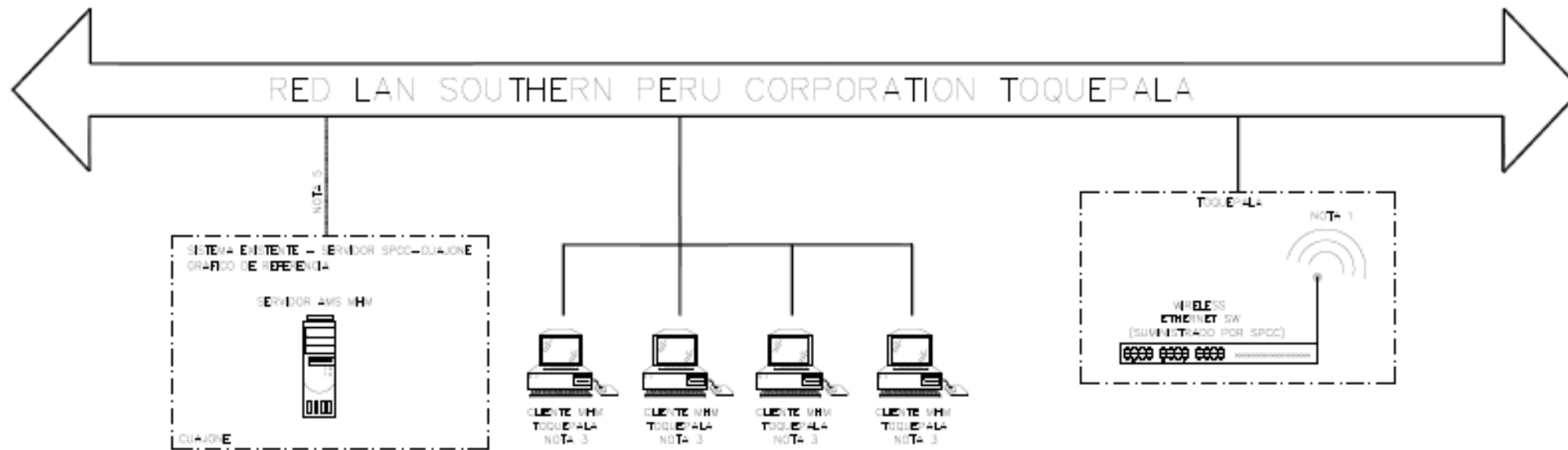
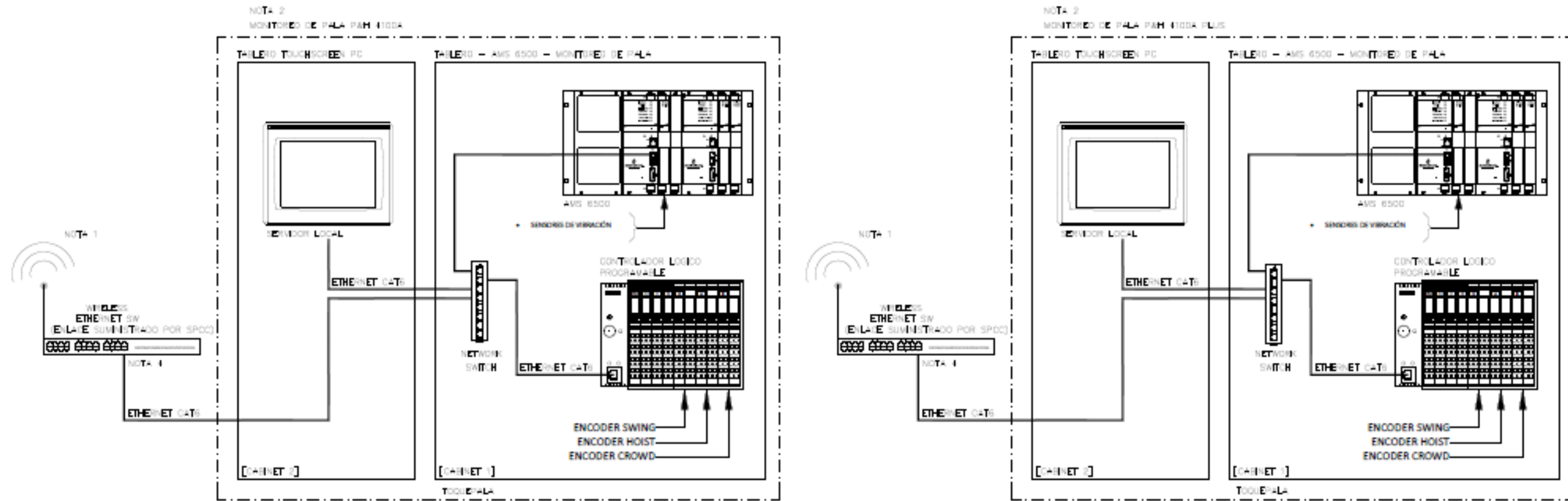
ANEXO N° 6: Arquitectura del Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100



3282220-RS-MHM-DSP-00001

TÍTULO DEL PROYECTO : SISTEMA DE MONITOREO ONLINE MHM PARA PALAS 1 Y 2 P&H1100  
 CLIENTE : SPCC  
 DESCRIPCIÓN : ARQUITECTURA DE SISTEMA ONLINE AMS6500  
 NUM DOC EMERSON : 3282220-RS-MHM-DSP-00001

REV	DESCRIPCIÓN	ELABORADO	APROBADO	FECHA	REVISIÓN	FECHA	PROYECTO	CLIENTE	NUMERO DE DOCUMENTO	FECHA DE EMISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	FECHA DE EMISIÓN
A	EMITIDO PARA APROBACIÓN	E.M.	R.G.	25/05/20	JP	22/06/20	Process Systems and Solutions Juan Alfaro 227 Miraflores, Lima Perú 15047	SOUTHERN PERU	3282220	22/06/20	22/06/20	22/06/20	22/06/20
B	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.	R.G.	22/06/20	EM	22/06/20		SOUTHERN PERU	3282220	22/06/20	22/06/20	22/06/20	22/06/20
					RG	22/06/20		SOUTHERN PERU	3282220	22/06/20	22/06/20	22/06/20	22/06/20



- NOTAS:
- La implementación de la comunicación inalámbrica de los equipos de la Pata con el sistema existente es responsabilidad de SPCC. La comunicación considerada para el monitoreo de la Pata es de tipo inalámbrica. El suministro y configuración de los equipos de comunicación es responsabilidad de SPCC.
  - El sistema a ser instalado dentro de la pata P&H 1100A.
  - El Servidor y los PC's cliente no son equipos de Emerson. SPCC debe indicar los equipos donde serán instalados el software de monitoreo (clientes).
  - Se requiere un Punto de Conexión Ethernet dentro de la Pata P&H1100 para la Comunicación entre el Servidor MMH de la Pata y el Servidor AMS-6500.
  - La implementación de comunicación hacia el servidor existente MMH en la unidad Cajón es responsabilidad de SPCC.

NO.	DESCRIPCIÓN	ELABORADO	APROBADO	FECHA	REVISIÓN	FECHA DEL PREVIOS	FECHA DEL PREVIOS	FECHA DEL PREVIOS	FECHA DEL PREVIOS
A	EMITIDO PARA APROBACIÓN	E.M.	R.G.	25/05/20		JP	22/06/20	SOUTHERN PERU	Arquitectura del Sistema Online AM86500 - SPCC Toquepala
0	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.	R.G.	22/06/20		EM	22/06/20	SOUTHERN PERU	NO. DEL SISTEMA
						RG	22/06/20	SOUTHERN PERU	3282220-RS-MHM-DSP-00001
									8/E
									0
									22/06/20
									H003

**EMERSON**  
Process Systems and Solutions  
Juan Añazo 227  
Miraflores, Lima Perú 15047

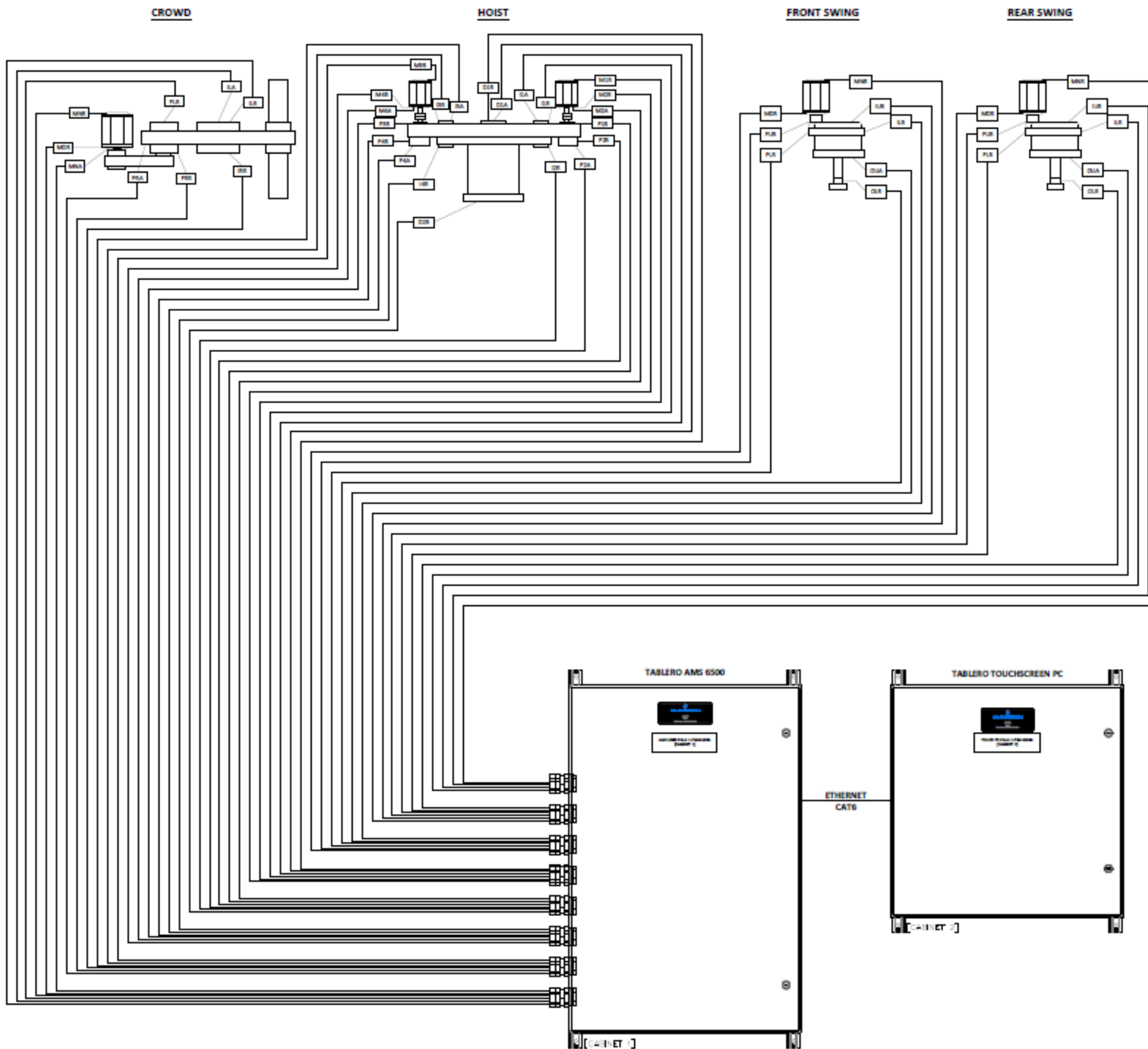
APROBADO Y FECHA  
JP 22/06/20

FECHA DEL PREVIOS  
SOUTHERN PERU  
SISTEMA ONLINE MMH -  
PAPA PALAS 1 Y 2 P&H4100

**SOUTHERN COPPER**  
SOUTHERN PERU

FECHA DEL PREVIOS  
3282220

DETALLE DE UBICACIÓN DE SENSORES DE VIBRACIÓN - PALA 1 - P&H4100A



N°	TAG #	DESCRIPCIÓN	EQUIPO
1	M1R	M1R - MOTOR NDE BRG	FRONT HOIST
2	M2R	M2R - MOTOR DE BRG	FRONT HOIST
3	M2A	M2A - MOTOR DE BRG	FRONT HOIST
4	P1R	P1R - 1ST RED. OUTBOARD BRG	FRONT HOIST
5	P2R	P2R - 1ST RED. INBOARD BRG	FRONT HOIST
6	P2A	P2A - 1ST RED. INBOARD BRG	FRONT HOIST
7	I1R	I1R - 2ND RED. OUTBOARD BRG	FRONT HOIST
8	I1A	I1A - 2ND RED. OUTBOARD BRG	FRONT HOIST
9	I2R	I2R - 2ND RED. INBOARD BRG	FRONT HOIST
10	D1R	D1R - OUTBOARD BRG	HOIST DRUM
11	D1A	D1A - OUTBOARD BRG	HOIST DRUM
12	D2R	D2R - INBOARD BRG	HOIST DRUM
13	IRR	IRR - 2ND RED. RIGHT SIDE BRG	CROWD
14	ILR	ILR - 2ND RED. LEFT SIDE BRG	CROWD
15	MNR	MNR - MOTOR NDE BRG	FRONT SWG
16	MDR	MDR - MOTOR DE BRG	FRONT SWG
17	PUR	PUR - INPUT PINION UPPER BRG	FRONT SWG
18	PLR	PLR - INPUT PINION LOWER BRG	FRONT SWG
19	OUA	OUA - SHAFT UPPER BRG	FRONT SWG
20	OLR	OLR - SHAFT LOWER BRG	FRONT SWG
21	IUR	IUR - 1ST RED. UPPER BRG	FRONT SWG
22	ILR	ILR - 1ST RED. LOWER BRG	FRONT SWG
23	ILA	ILA - 2ND RED. LEFT SIDE BRG	CROWD
24	-	No Connection	-
25	M3R	M3R - MOTOR NDE BRG	REAR HOIST
26	M4R	M4R - MOTOR DE BRG	REAR HOIST
27	M4A	M4A - MOTOR DE BRG	REAR HOIST
28	P3R	P3R - 1ST RED. OUTBOARD BRG	REAR HOIST
29	P4R	P4R - 1ST RED. INBOARD BRG	REAR HOIST
30	P4A	P4A - 1ST RED. INBOARD BRG	REAR HOIST
31	I3R	I3R - 2ND RED. OUTBOARD BRG	REAR HOIST
32	I3A	I3A - 2ND RED. OUTBOARD BRG	REAR HOIST
33	I4R	I4R - 2ND RED. INBOARD BRG	REAR HOIST
34	MNR	MNR - MOTOR NDE BRG	CROWD
35	MDR	MDR - MOTOR DE BRG	CROWD
36	MNA	MNA - MOTOR NDE BRG	CROWD
37	PRR	PRR - 1ST RED. RIGHT SIDE BRG	CROWD
38	PLR	PLR - 1ST RED. LEFT SIDE BRG	CROWD
39	PRA	PRA - 1ST RED. RIGHT SIDE BRG	CROWD
40	MNR	MNR - MOTOR NDE BRG	REAR SWG
41	MDR	MDR - MOTOR DE BRG	REAR SWG
42	PUR	PUR - INPUT PINION UPPER BRG	REAR SWG
43	PLR	PLR - INPUT PINION LOWER BRG	REAR SWG
44	OUA	OUA - SHAFT UPPER BRG	REAR SWG
45	OLR	OLR - SHAFT LOWER BRG	REAR SWG
46	IUR	IUR - 1ST RED. UPPER BRG	REAR SWG
47	ILR	ILR - 1ST RED. LOWER BRG	REAR SWG
48	-	No Connection	-

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORADO	REVISADO	APROBADO	OTROS
A	25/05/20	EMITIDO PARA APROBACIÓN	E.M.	R.G.		
0	22/06/20	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.	R.G.		

**Process Systems and Solutions**  
 Juan Alfaro 227  
 Miraflores, Lima Perú 15047

FECHA	ELABORADO / REVISADO	REVISADO
22/06/20	JF	
22/06/20	EM	
22/06/20	RG	

**SOUTHERN PERU**  
 SISTEMA ONLINE MHM -  
 PAPA PALAR 1 Y 2 P&H4100

3282220

3282220-RS-MHM-DSP-00001

22/06/20

H004



## ANEXO N° 7: Listado de Equipos de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100

Lista de Equipos AMS 6500 - Pala 1 - P&H4100A  
3282220-RS-MHM-LI-00003  
Revision 0 – 2020-Jun-22

Sistema de Monitoreo Online MHM para Palas 1 y 2 P&H4100  
3282220

# Lista de equipos AMS 6500 - Pala 1 - P&H4100A

## Southern Peru Cooper Corporation

**Cilente Final:** Southern Peru Cooper Corporation  
**Proyecto:** Sistema de Monitoreo Online MHM para  
Palas 1 y 2 P&H4100  
**Nombre de Archivo:** 3282220-RS-MHM-LI-00003 - 0 - Lista de equipos AMS 6500 -  
Pala 1 - P&H4100A.xlsx  
**Estado de Documento:** For Construction  
**Ubicación:** Unidad Minera Toquepala

### Authorizations

	Name	Function	Signature
Developed By:	Ewar Mamanl	Project Leader	EM
Reviewed By:	Roldan Golcochea	Project Manager	RG

### Distribution

Name	Company	Name	Company
Ricardo Vasquez	Southern Peru	Roldan Golcochea	Emerson
Alberti Diaz	Southern Peru	Ewar Mamanl	Emerson
Oscar Romero	Southern Peru	Carlos Huayta	Emerson
Juan Pizarro	Southern Peru	Edgard Bermejo	Emerson
David Qulspe	Southern Peru	-	-
Arquimedes Aguilar	Southern Peru	-	-

Lista de Equipos AMS 6500 - Pala 1 - P&H4100A  
3282220-RS-MHM-LI-00003  
Revision 0 – 2020-Jun-22

Sistema de Monitoreo Online MHM para Palas 1 y 2 P&H4100  
3282220

### Revision History

Rev	Status	Description	Date	Developed By	Reviewed By
A	For information	First Emission	2020-May-25	EM	RG
0	For construction	Second Emission	2020-Jun-22	EM	RG

© Emerson Process Management 2008. All rights reserved. Unauthorized duplication, in whole or in part, is prohibited. Trademarks identified in this document are owned by one of the Emerson Process Management group of companies. Unless otherwise agreed to in writing by the parties, any information provided in this document is confidential or proprietary and may not be used or disclosed without the expressed written permission of Emerson Process Management.

Emerson Process Management  
Process Systems and Solutions  
Juan Alfaro 227  
Miraflores  
Lima, Peru  
T +51 519 0130

[www.EmersonProcess.com](http://www.EmersonProcess.com)

Emerson Process Management 2008 - Confidential and Proprietary



Lista de Equipos AMS 6500 - Pala 1 - P&H4100A  
3282220-RS-MHM-LI-00003  
Revision 0 – 2020-Jun-22

Sistema de Monitoreo Online MHM para Palas 1 y 2 P&H4100  
3282220

**LISTA DE EQUIPOS AMS 6500 - PALA 1 - SPCC TOQUEPALA  
PALA 1 - P&H 4100A**

N°	Part Number	Description	QTY
<b>HARDWARE</b>			
1.00	<b>AMS Enclosure - [Cabinet 1]</b>		
1.01	GAB-48 - CSD362412SS	36X24X12 SS WM Enclosure, Wired and Tested with A6500 Prediction Rack with MHM-85774 (B65PH4100DC-MOD)	1
1.02	MHM-85877	8 Port Din Rail Mounted Network Switch with Fiber Uplink	1
1.03	MHM-93121	19 In Rack, 1U Fan, 24VDC	1
1.04	A6500MR-48	AMS 6500 Prediction, 48 Channels, Rear Termination, 19 In Rack	1
1.05	MHM-64028	PLC Incremental Encoder Input Module	3
1.06	MHM-64029	PLC, 4 Input, 8 Output, 24VDC Modbus Ethernet	1
2.00	<b>PC Touch Screen Enclosure - [Cabinet 2]</b>		
2.01	PCTS - CSD242412SS	24X24X12 SS WM Enclosure, Wired and Tested with PC Touchscreen Server	1
2.02	MHM-VE5123-PBF	Power Supply, Din-Rail Mountable - QUINT-PS/1AC/24DC/10A	1
2.03	MHM-64022	Touch panel with 3.5" IN TFT display	1
2.04	MHM-20052	TouchScreen PC, 15in w/Front USB, Built-In UPS SHUTOFF, WIN10	1
2.05	MHM-93385-PBF	Uninterruptible Power Supply, 24VDC Input, 24VDC Output	1
2.06	MHM-89041-PBF	Battery, Lithium-Ion, 24VDC, 120WH	1
2.07	MHM-93045	Power Conditioner, 120VAC, 20A	1
3.00	<b>Vibration Sensors</b>		
3.01	602M106A	Accelometer 100mV/G 10% Side Exit C5015 Connector 0.5-8KHz IP68 CE	48
3.02	M047AE030BZ-04	M047 2-socket connector w/environmental boot, SS ring, & adaptor (MIL-C-5015 compatible) to Blunt cut cable with Steel armored, polyurethane, 4 meters of armoring, total length 30 meters	48
3.03	081A40	Mounting Stud 1/4-28x0.438 LG SS Screw Hex Socket Brass Tip	48
3.04	080A118	Mounting Pad	48

Nota: Se consideran 48 señales a Monitorear, con lo cual 2 sensores son de Repuesto ("Spare").

ANEXO N° 8: Plano Layout de Gabinete 1 AMS 6500 de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100



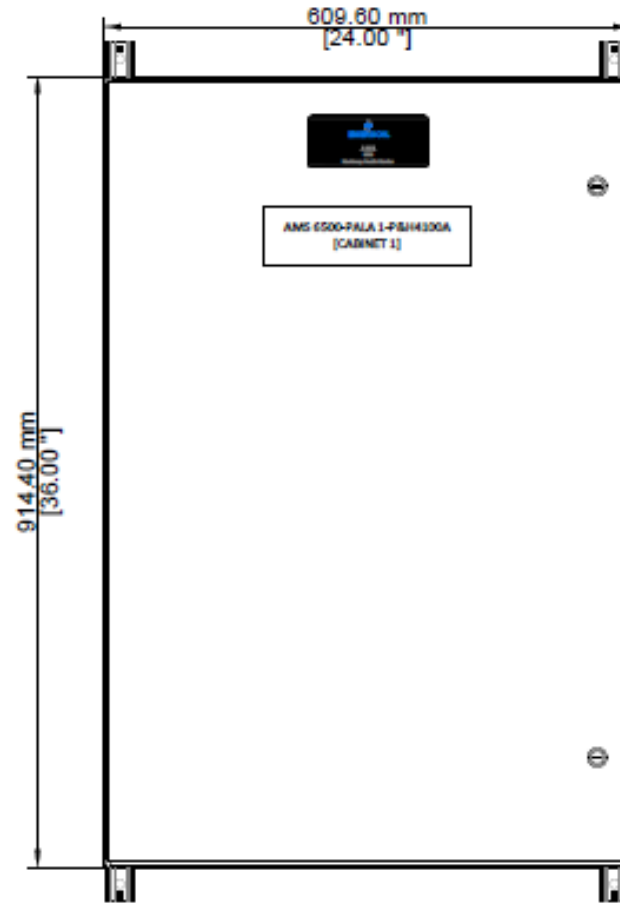
3282220-RS-MHM-DWG-00001

TÍTULO DEL PROYECTO : SISTEMA DE MONITOREO ONLINE MHM PARA PALAS 1 Y 2 P&H1100  
 CLIENTE : SPCC  
 DESCRIPCIÓN : PLANO LAYOUT DE TABLEROS AMS 6500 - PALA 1 - P&H1100A [CABINET 1]  
 NUM DOC EMERSON : 3282220-RS-MHM-DWG-00001

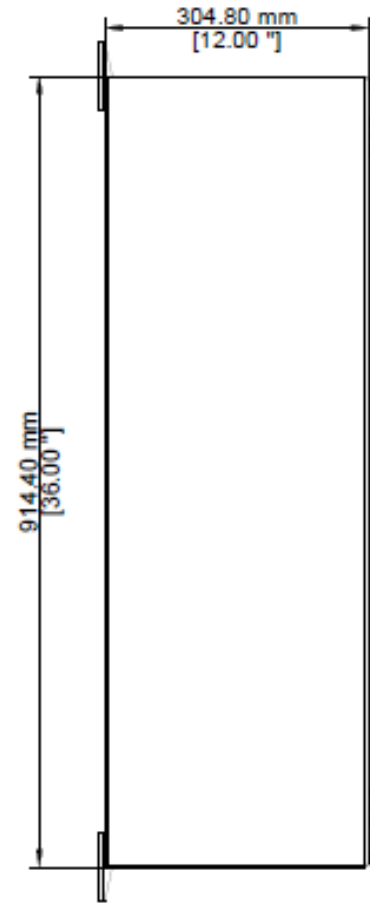
REV.	FECHA	ELABORADO	APROBADO	FECHA	DESCRIPCIÓN DE CAMBIOS	ELABORADO / FECHA	APROBADO / FECHA	PROYECTO	CLIENTE	NO. DE DIBUJO	FECHA DE IMPRESIÓN	HOJA
A	EMITIDO PARA APROBACIÓN	E.M.	R.G.	25/05/20	NO ESCALAR EL DIBUJO	JP	22/06/20	SOUTHERN PERU SISTEMA DE MONITOREO ONLINE MHM PARA PALAS 1 Y 2 P&H1100	Procecc Systems and Solutions Juan Añazo 227 Miraflores, Lima Perú 15047	3282220-RS-MHM-DWG-00001	22/06/20	0
0	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.	R.G.	22/06/20		EM	22/06/20					
						RG	22/06/20					

## LISTA DE MATERIALES

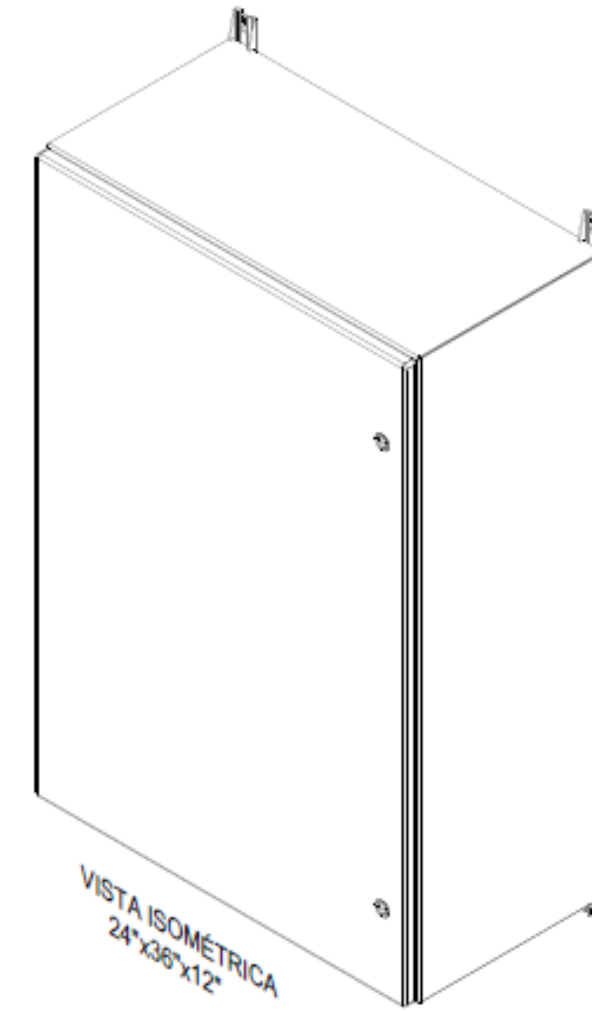
LISTA DE MATERIALES					
Item #	QTY	MHM Part #	Manuf Part#	Manufacturer	Description
1	1	V-purch	A9F74106	Schneider Electric	IC60N - miniature circuit breaker - 1P - 6A - C curve
2	7	V-purch	MDL-2	Bussmann	Fuse, Time Delay, MDL 250V Glass 2A, 1/4 X 1 1/4"
4	1	V-purch	801733	Phoenix Contact	Steel DIN Rail Perforated - NS 35/7.5 Perf 2000MM
5	1	MHM-64998	C1LG6	Panduit	Wiring Duct Cover, 1in (W) X 6FT (L), Gray
6	1	MHM-64994	F1X4LG6	Panduit	Wiring Duct, 1in (W) X 4in (D) X 6ft (L), Gray
7	1	A6500MR-48	A6500MR-48	Emerson	AMS 6500 PROTECTION, REAR TERMINATION, 48-8-8
8	1	MHM-60429	0203137	Phoenix Contact	Insertion Bridge, 10 position EB 10-1
9	4	MHM-60431	0203250	Phoenix Contact	Fixed Bridge, 10 position FBI 10- 6
10	5	MHM-60430	3044092	Phoenix Contact	Terminal Block - Ground modular terminal block - UT 2,5-PE
14	1	MHM-60436	3003020	Phoenix Contact	Single level End cover - D-UK 4/10
15	7	MHM-60425	3004171	Phoenix Contact	Fuse modular terminal block - UK 6,3-HESI
16	7	MHM-60424	3004362	Phoenix Contact	Terminal Block - 1 Level, Feed-through terminal block - UK 5 N
17	1	MHM-60438	3047248	Phoenix Contact	Terminal Block End cover - D-UT 2,5/10 YE
18	1	D25258	D25258	Emerson	6500 panel label
19	1	V-purch	A51032	Hoffman	Screw Package, Qty 20 per package
21	1	MHM-85747	AN1032	Hoffman	Clip Nut, Thread 10-32, Bag of 20
23	1	MHM-85877	943 958-111	Hirschmann	8 Port Din Rail Mounted Network Switch with Fiber UpLink
26	1	MHM-64996	C2LG6	Panduit	Wiring Duct Cover, 2in(W) X 6ft (L), GRAY
27	1	MHM-64995	F2X4LG6	Panduit	Wiring Duct , 2in (W) X 4in (D) X 6ft (L), GRAY
28	6	MHM-60434	1201442	Phoenix Contact	End Clamp - Single level - E/UK
31	2	V-purch	-	-	Ethernet Cable, 10ft, Blue, CAT5e
32	1	MHM-93121	10713-103	Emerson	Fan, 1U, 24VDC
34	72	MHM-60428	2715979	Phoenix Contact	Terminal Block - 3 Level Feed - DIKD 1,5 (3 Levels)
42	1	MHM-64028	2700973	Phoenix Contact	PLC, 4 Input, 8 Output, 24VDC, Modbus Ethernet
43	3	MHM-60435	2715937	Phoenix Contact	Insertion Bridge
44	3	MHM-64029	2861755	Phoenix Contact	PLC Incremental Encoder Input Module
A	1	V-purch	CMFKSS	Hoffman	Mounting Feet Kit, Stainless Steel
B	1	V-purch	CSF3624	Hoffman	Swing Frame for 36X24" Enclosure
C	1	V-purch	CSD362412SS	Hoffman	Enclosure Sub-panel/mounting Panel
P1	5	V-purch	1004348	Phoenix Contact	Terminal strip marker carrier - KLM-A.
P2	4	V-purch	0800886	Phoenix Contact	End clamp - E/NS 35 N
P3	-	V-purch	0828736	Phoenix Contact	Marker for terminal blocks - UCT-TM 6
P4	-	V-purch	0828734	Phoenix Contact	Marker for terminal blocks - UCT-TM 5
P5	-	V-purch	0818069	Phoenix Contact	Marker for terminal blocks - UCT-TM 10



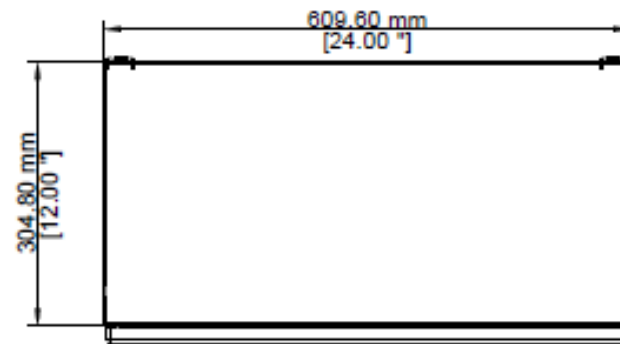
**VISTA FRONTAL**  
**PUERTA CERRADA**  
 24"x36"x12"



**VISTA LATERAL**  
**IZQUIERDA**  
 24"x36"x12"



**VISTA ISOMÉTRICA**  
 24"x36"x12"

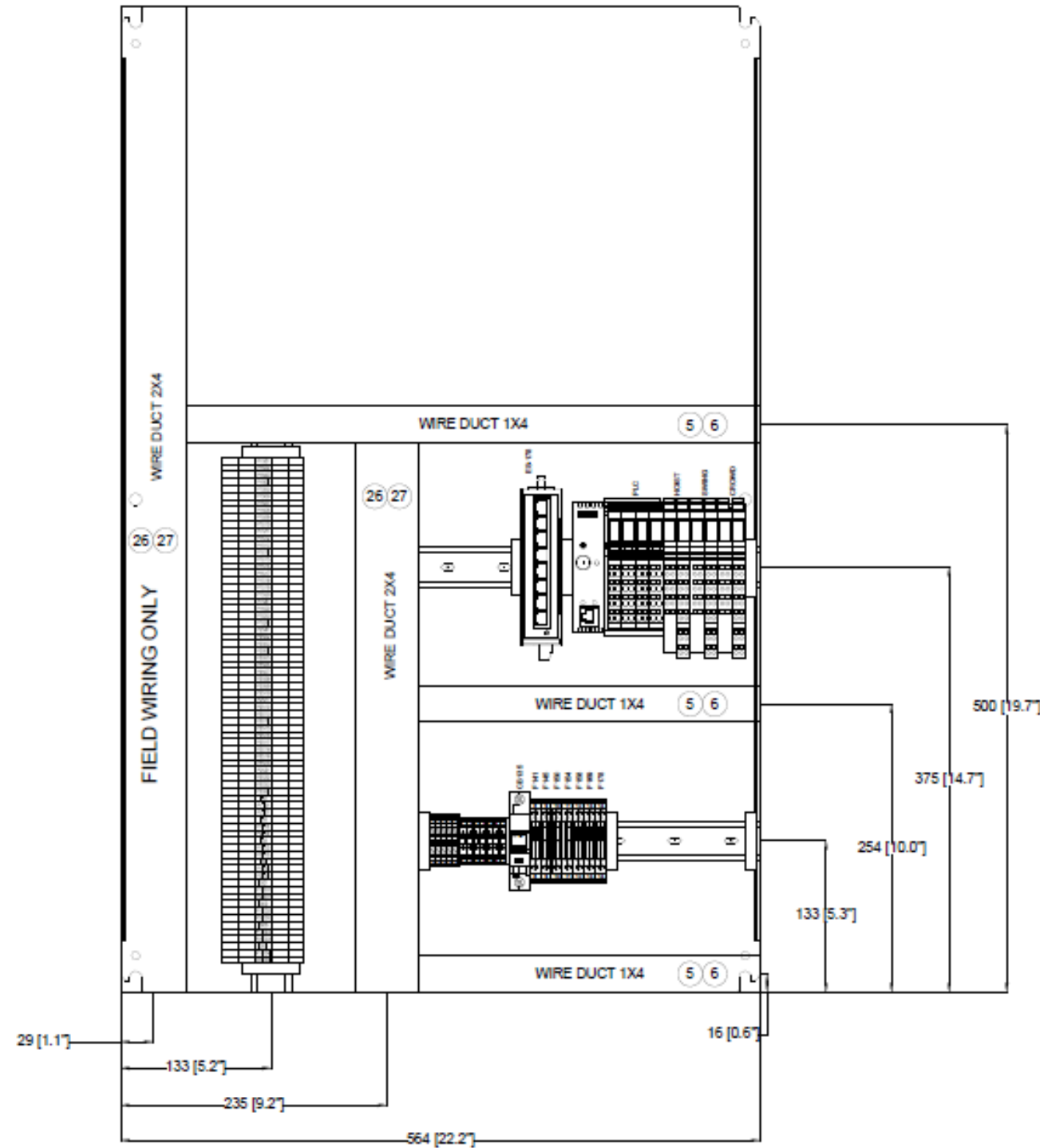


**VISTA SUPERIOR**  
 24"x36"x12"

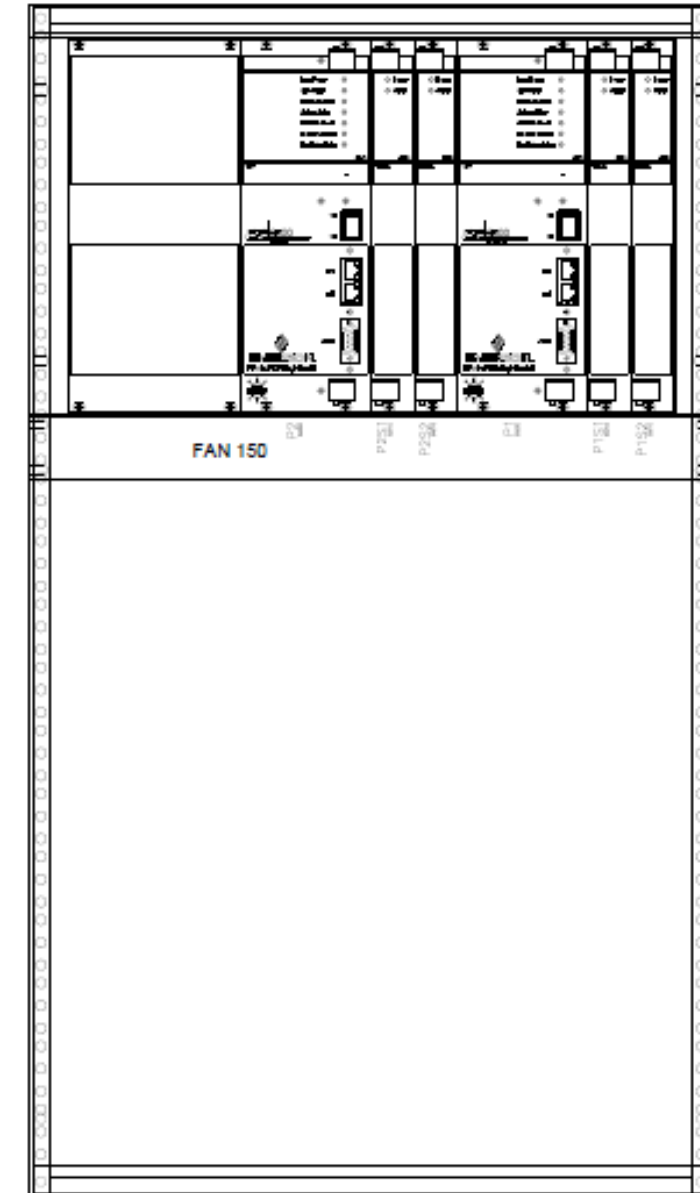
<table border="1"> <tr> <th>REV.</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>ELABORADO</th> <th>REVISADO</th> <th>FECHA</th> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EMITIDO PARA APROBACIÓN</td> <td>E.M.</td> <td>R.G.</td> <td>25/05/20</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN</td> <td>E.M.</td> <td>R.G.</td> <td>22/06/20</td> </tr> </table>	REV.	DESCRIPCIÓN	ELABORADO	REVISADO	FECHA	A	EMITIDO PARA APROBACIÓN	E.M.	R.G.	25/05/20	0	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.	R.G.	22/06/20	<p> <b>EMERSON</b>  <b>Process Systems and Solutions</b>            Juan Alfaro 227            Miraflores, Lima Perú 15047         </p>	<table border="1"> <tr> <td>ELABORADO / REVISADO</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>JP</td> <td>22/06/20</td> </tr> <tr> <td>EM</td> <td>22/06/20</td> </tr> <tr> <td>RG</td> <td>22/06/20</td> </tr> </table>	ELABORADO / REVISADO	FECHA	JP	22/06/20	EM	22/06/20	RG	22/06/20	<p> <b>SOUTHERN PERU</b>  <b>SISTEMA DE MONITOREO ONLINE MHM</b>  <b>PARA PALAS 1 Y 2 P&amp;H4100</b>            3282220         </p>	<p> <b>SOUTHERN COPPER</b>            SOUTHERN COPPER PERU         </p>	<p>           Dimensiones de Tablero - Externo (AMS 6500-Núm. 1-1N14100A)            3282220-RS-MHM-DWG-00001            S/E 0            22/06/20 H004         </p>
REV.	DESCRIPCIÓN	ELABORADO	REVISADO	FECHA																								
A	EMITIDO PARA APROBACIÓN	E.M.	R.G.	25/05/20																								
0	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.	R.G.	22/06/20																								
ELABORADO / REVISADO	FECHA																											
JP	22/06/20																											
EM	22/06/20																											
RG	22/06/20																											



LISTA DE MATERIALES					
Item #	QTY	MHM Part #	Manuf Part#	Manufacturer	Description
5	1	MHM-64998	CZLG6	Pandult	Wiring Duct Cover, 1in (W) X 6ft (L), Gray
6	1	MHM-64994	F2X4LG6	Pandult	Wiring Duct, 1in (W) X 4in (D) X 6ft (L), Gray
26	1	MHM-64996	CZLG6	Pandult	Wiring Duct Cover, 2in (W) X 6ft (L), GRAY
27	1	MHM-64995	F2X4LG6	Pandult	Wiring Duct, 2in (W) X 4in (D) X 6ft (L), GRAY



PANEL LAYOUT



SWING FRAME LAYOUT

<table border="1"> <tr> <td>ESTADO</td> <td>FECHA</td> <td>PROYECTO</td> <td>CLIENTE</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>25/05/20</td> <td>E.M. R.G.</td> <td>EMERSON</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>22/06/20</td> <td>E.M. R.G.</td> <td>EMERSON</td> </tr> </table>	ESTADO	FECHA	PROYECTO	CLIENTE	A	25/05/20	E.M. R.G.	EMERSON	O	22/06/20	E.M. R.G.	EMERSON	<p>NO ESCALAR EL DIBUJO</p>	<p>Process Systems and Solutions Juan Alfaro 227 Miraflores, Lima Perú 15047</p>	<table border="1"> <tr> <td>APROBADO / FECHA</td> <td>22/06/20</td> </tr> <tr> <td>REVISADO / FECHA</td> <td>22/06/20</td> </tr> <tr> <td>ELABORADO / FECHA</td> <td>22/06/20</td> </tr> </table>	APROBADO / FECHA	22/06/20	REVISADO / FECHA	22/06/20	ELABORADO / FECHA	22/06/20	<p>SOUTHERN PERU SISTEMA DE MONITOREO ONLINE MDM PARA PALAS 1 Y 2 PwH4100</p>	<p>SOUTHERN COPPER SOUTHERN PERU</p>	<p>3282220-RS-MHM-DWG-00001</p>	<table border="1"> <tr> <td>FECHA DE ACTUALIZACIÓN</td> <td>22/06/20</td> </tr> <tr> <td>FECHA DE EMISIÓN</td> <td>22/06/20</td> </tr> </table>	FECHA DE ACTUALIZACIÓN	22/06/20	FECHA DE EMISIÓN	22/06/20	<table border="1"> <tr> <td>FECHA DE EMISIÓN</td> <td>22/06/20</td> </tr> <tr> <td>FECHA DE ACTUALIZACIÓN</td> <td>22/06/20</td> </tr> </table>	FECHA DE EMISIÓN	22/06/20	FECHA DE ACTUALIZACIÓN	22/06/20
ESTADO	FECHA	PROYECTO	CLIENTE																															
A	25/05/20	E.M. R.G.	EMERSON																															
O	22/06/20	E.M. R.G.	EMERSON																															
APROBADO / FECHA	22/06/20																																	
REVISADO / FECHA	22/06/20																																	
ELABORADO / FECHA	22/06/20																																	
FECHA DE ACTUALIZACIÓN	22/06/20																																	
FECHA DE EMISIÓN	22/06/20																																	
FECHA DE EMISIÓN	22/06/20																																	
FECHA DE ACTUALIZACIÓN	22/06/20																																	

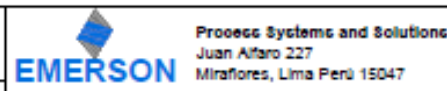
ANEXO N° 9: Plano Layout de Gabinete 2 PC Touch de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100



3282220-RS-MHM-DWG-00002

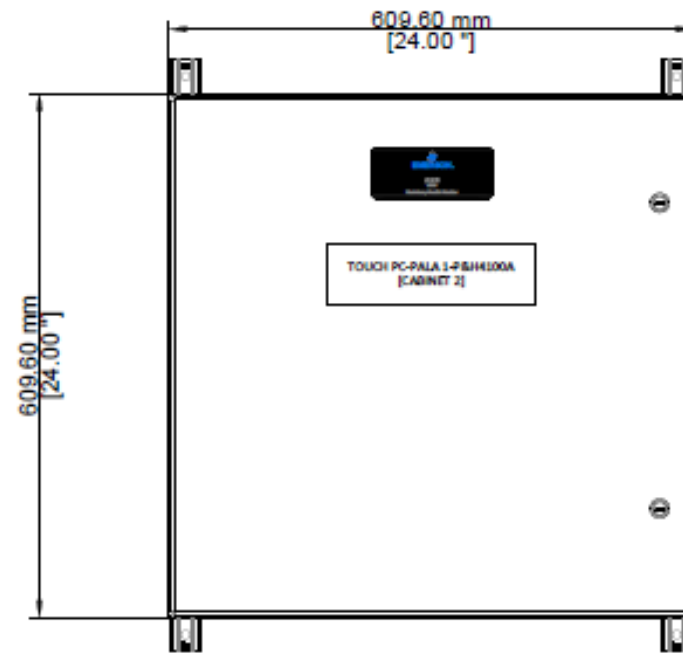
TÍTULO DEL PROYECTO : SISTEMA DE MONITOREO ONLINE MHM PARA PALAS 1 Y 2 P&H1100  
 CLIENTE : SPCC  
 DESCRIPCIÓN : PLANO LAYOUT DE TABLEROS AMS 6500 - PALA 1 - P&H1100A [CABINET 2]  
 NUM DOC EMERSON : 3282220-RS-MHM-DWG-00002

REV	DESCRIPCIÓN	ELABORADO	REVISADO	FECHA	NOTAS	PROCESO Y FECHA	PROYECTO	CLIENTE	FECHA DE EMISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	FECHA DE OTORGAMIENTO
A	EMITIDO PARA APROBACIÓN	E.M.	R.G.	25/05/20	REVISADO POR: R.G. / 25/05/20	JP	SOUTHERN PERU	Central	22/06/20	22/06/20	22/06/20
0	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.	R.G.	22/06/20	REVISADO POR: R.G. / 22/06/20	EM	SISTEMA DE MONITOREO ONLINE MHM PARA PALAS 1 Y 2 P&H1100	SPCC	22/06/20	22/06/20	22/06/20
					NO ESCALAR EL DIBUJO	RG	3282220				

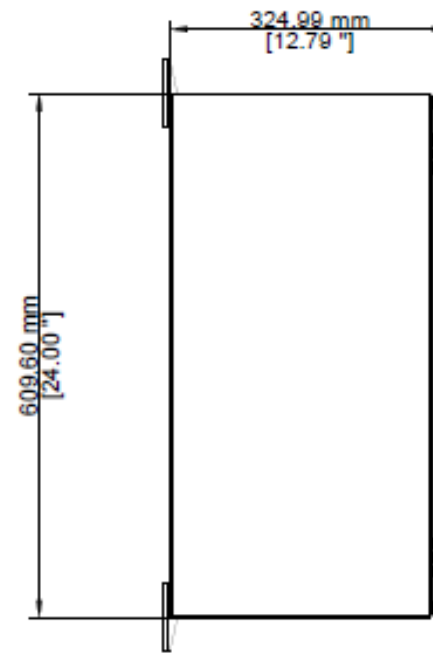


## LISTA DE MATERIALES

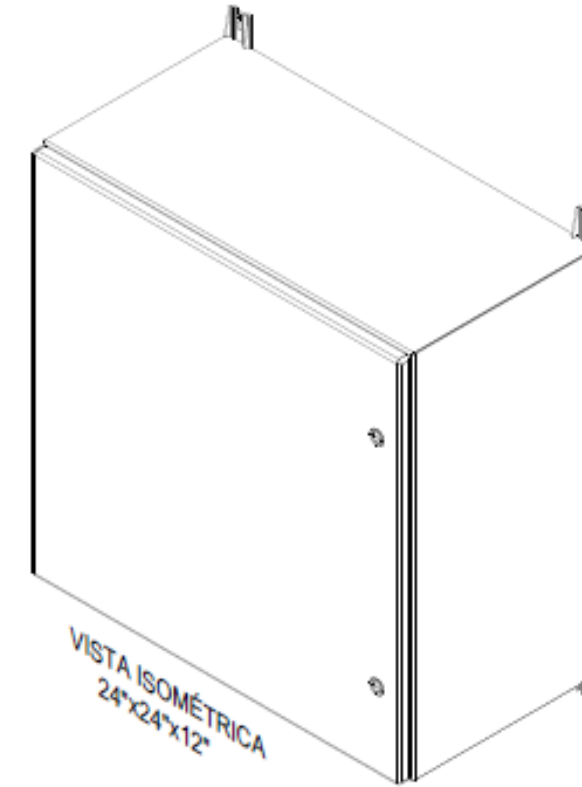
LISTA DE MATERIALES					
Item #	QTY	MHM Part #	Manuf Part#	Manufacturer	Description
2	1	V-purch	A9F74106	Schneider Electric	IC60N - miniature circuit breaker - 1P - 6A - C curve
4	1	MHM-85769	801733	Phoenix Contact	Steel DIN Rail Perforated - NS 35/7.5 Perf 2000MM
5	2	MHM-64998	C1LG6	Panduit	Wiring Duct Cover, 1in (W) X 6FT (L), Gray
6	2	MHM-64994	F1X4LG6	Panduit	Wiring Duct, 1in (W) X 4in (D) X 6ft (L), Gray
8	1	MHM-60429	0203137	Phoenix Contact	Insertion Bridge, 10 position EB 10-1
9	1	MHM-60431	0203250	Phoenix Contact	Fixed Bridge, 10 position FBI 10- 6
10	7	MHM60430	3044092	Phoenix Contact	Terminal Block - Ground modular terminal block - UT 2,5-PE
14	2	MHM-60436	3003020	Phoenix Contact	Single level End cover - D-UK 4/10
15	3	MHM-60425	3004171	Phoenix Contact	Fuse modular terminal block - UK 6,3-HESI
16	7	MHM-60424	3004362	Phoenix Contact	Terminal Block - 1 Level, Feed-through terminal block - UK 5 N
17	2	MHM-60438	3047248	Phoenix Contact	Terminal Block End cover - D-UT 2,5/10 YE
18	1	D25258	D25258	Emerson	CSI 6500 Product ID Label
21	4	MHM-85747	AN1032	Hoffman	Clip Nut, Thread 10-32, Bag of 20
28	5	MHM-60434	1201442	Phoenix Contact	End Clamp - Single level - E/UK
37	1	V-purch	-	-	Ethernet Cable, 10ft, Blue, CAT5e
40	1	MHM-85776-PBF	CP2424	Hoffman	Panel, 22.2 x 22.2
41	1	v-Purch	CSD242412SS	Hoffman	Enclosure, 24x24x12, 304 Stainless Steel
51	3	V-purch	MDL-10	Bussmann	Fuse, Time Delay, MDL 250V Glass 10A, 1/4 X 1 1/4"
52	1	MHM-93385-PBF	2320212	Phoenix Contact	Uninterruptible Power Supply, 24VDC Input, 24VDC Output
53	1	MHM-89041-PBF	2320351	Phoenix Contact	Battery, Lithium-ion, 24VDC, 120WH
54	1	MHM-65143-PBF	2320500	Phoenix Contact	IFS-USB Data Cable
55	1	MHM-20052	2400184	Phoenix Contact	Touchscreen PC, 15in W/Front USB, Built-In UPS Shutoff, Windows 10
56	1	MHM-94060-PBF	2701715	Phoenix Contact	19" PC Mount
57	1	MHM-93045	2859987	Phoenix Contact	Power Conditioner, 230VAC, 20A
58	1	V-purch	A9F74110	Schneider Electric	IC60N - miniature circuit breaker - 1P - 10A - C curve
71	1	MHM-VE5123-PBF	2866763	Phoenix Contact	Power supply unit - QUINT-PS/1AC/24DC/10
A	1	V-purch	CMFKSS	Hoffman	Mounting Feet Kit, Stainless Steel
B	1	V-purch	CSF2424	Hoffman	Swing Frame for 24x24" Enclosure
P1	5	V-purch	1004348	Phoenix Contact	Terminal strip marker carrier - KLM-A.
P2	4	V-purch	0800886	Phoenix Contact	End clamp - E/NS 35 N
P3	-	V-purch	0828736	Phoenix Contact	Marker for terminal blocks - UCT-TM 6
P4	-	V-purch	0828734	Phoenix Contact	Marker for terminal blocks - UCT-TM 5
P5	-	V-purch	0818069	Phoenix Contact	Marker for terminal blocks - UCT-TM 10



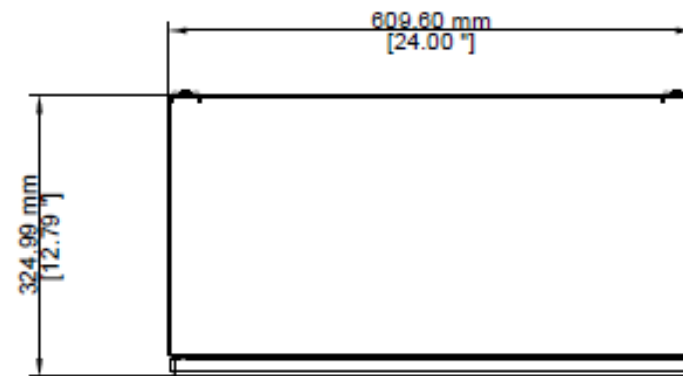
**VISTA FRONTAL  
 PUERTA CERRADA  
 24"x24"x12"**



**VISTA LATERAL  
 IZQUIERDA  
 24"x24"x12"**



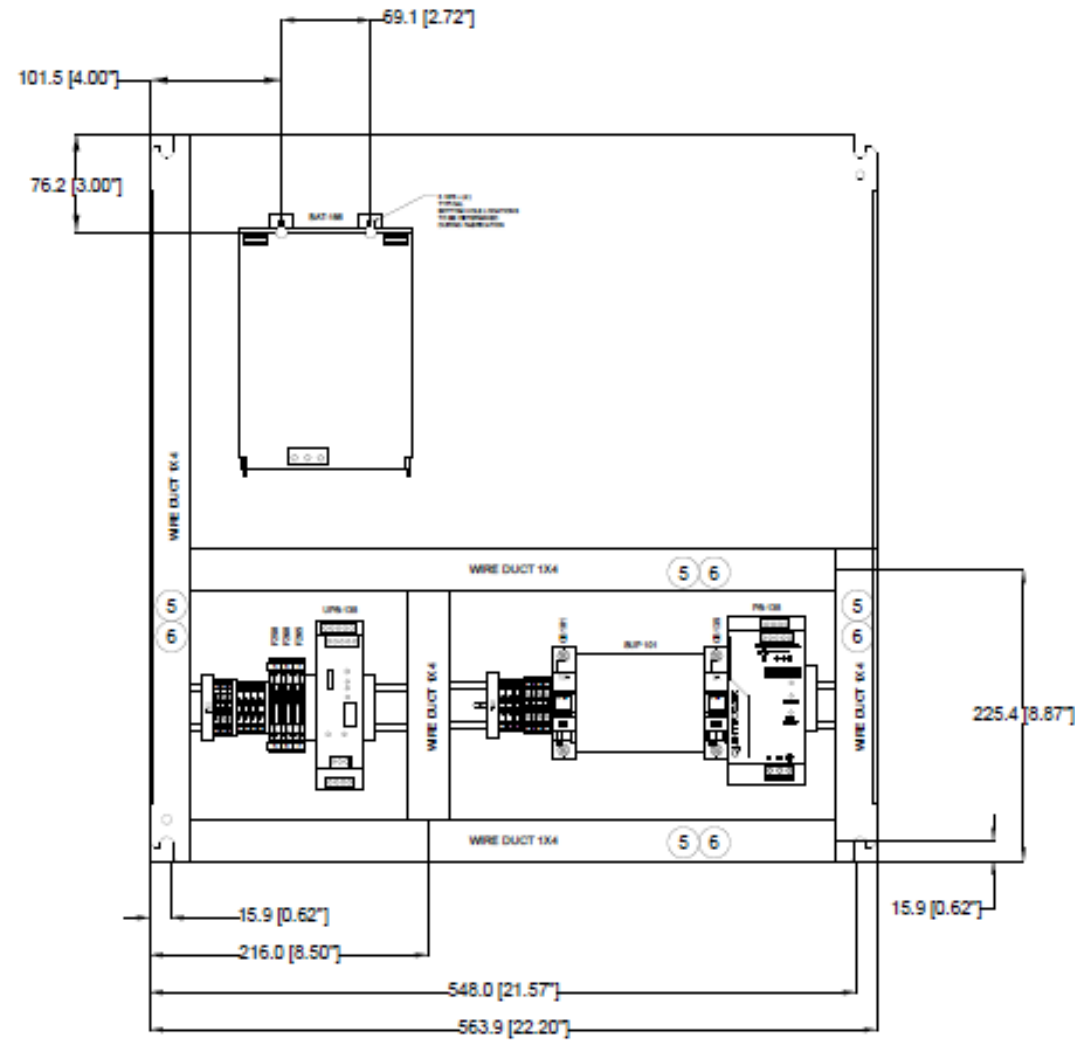
**VISTA ISOMÉTRICA  
 24"x24"x12"**



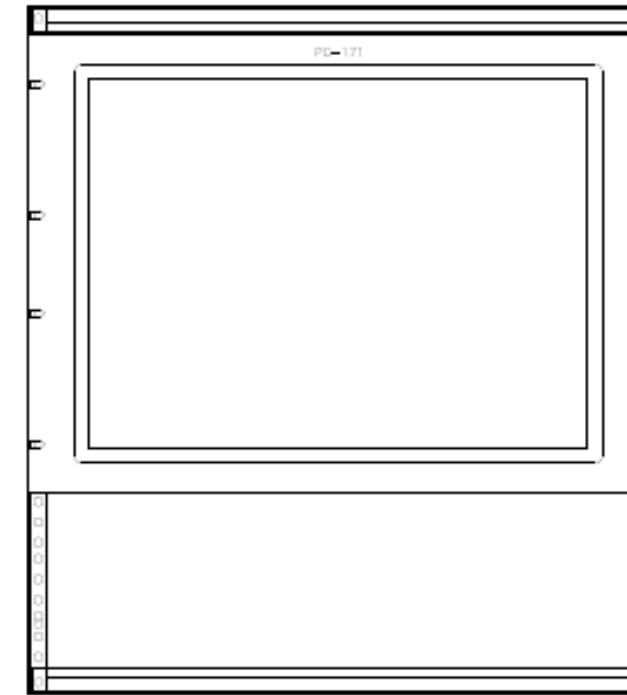
**VISTA SUPERIOR  
 24"x24"x12"**

REV.	DESCRIPCIÓN	ELABORADO	APROBADO	FECHA	OTROS COMENTARIOS	ELABORADO / FECHA	APROBADO / FECHA	PROYECTO	CLIENTE	FECHA DE APROBACIÓN	FECHA DE EMISIÓN
A	EMITIDO PARA APROBACIÓN	E.M.	R.G.	25/05/20		JP	22/06/20	SOUTHERN PERU	SOUTHERN PERU	22/06/20	22/06/20
O	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.	R.G.	22/06/20		EM	22/06/20	SISTEMA DE MONITOREO ONLINE MDM PARA PALAS 1 Y 2 P&H4100	SOUTHERN COPPER	22/06/20	22/06/20
						RG	22/06/20				

LISTA DE MATERIALES					
Item #	QTY	MHM Part #	Manuf Part#	Manufacturer	Description
5	2	MHM-64998	C11G6	Fandul	Wire Duct Cover, 1in (W) X 6FT (L), Gray
6	2	MHM-64994	F1X41G6	Fandul	Wire Duct, 1in (W) X 4in (D) X 6ft (L), Gray



PANEL LAYOUT



SWING FRAME LAYOUT



## ANEXO N° 10: Listado de Señales de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100

Lista de señales AMS 6500 - Pala 1 - P&H4100A  
3282220-RS-MHM-LI-00001  
Revision 0 – 2020-Jun-22

Sistema de Monitoreo Online MHM para Palas 1 y 2 P&H4100  
3282220

# Lista de señales AMS 6500 - Pala 1 - P&H4100A

## Southern Peru Cooper Corporation

**Cilente Final:** Southern Peru Cooper Corporation  
**Proyecto:** Sistema de Monitoreo Online MHM para  
Palas 1 y 2 P&H4100  
**Nombre de Archivo:** 3282220-RS-MHM-LI-00001 - 0 - Lista de señales AMS 6500 -  
Pala 1 - P&H4100A.xlsx  
**Estado de Documento:** For Construction  
**Ubicación:** Unidad Minera Toquepala

### Authorizations

	Name	Function	Signature
Developed By:	Ewar Mamani	Project Leader	EM
Reviewed By:	Roldan Golcochea	Project Manager	RG

### Distribution

Name	Company	Name	Company
Ricardo Vasquez	Southern Peru	Roldan Golcochea	Emerson
Alberti Díaz	Southern Peru	Ewar Mamani	Emerson
Oscar Romero	Southern Peru	Carlos Huayta	Emerson
Juan Pizarro	Southern Peru	Edgard Bermejo	Emerson
David Qulspe	Southern Peru	-	-
Arquimedes Aguilar	Southern Peru	-	-



**LISTA DE SEÑALES AMS 6500 - PALA 1 - SPCC TOQUEPALA  
 PALA 1 - P&H 4100A**

Nº	PROCESADOR #	AMS 6500 CANAL #	TABLERO #	TAG NAME #	PALA	TAG #	DESCRIPCIÓN	EQUIPO
1	P1	P1S01	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	M1R	M1R - MOTOR NDE BRG	FRONT HOIST
2	P1	P1S02	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	M2R	M2R - MOTOR DE BRG	FRONT HOIST
3	P1	P1S03	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	M2A	M2A - MOTOR DE BRG	FRONT HOIST
4	P1	P1S04	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	P1R	P1R - 1ST RED. OUTBOARD BRG	FRONT HOIST
5	P1	P1S05	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	P2R	P2R - 1ST RED. INBOARD BRG	FRONT HOIST
6	P1	P1S06	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	P2A	P2A - 1ST RED. INBOARD BRG	FRONT HOIST
7	P1	P1S07	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	I1R	I1R - 2ND RED. OUTBOARD BRG	FRONT HOIST
8	P1	P1S08	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	I1A	I1A - 2ND RED. OUTBOARD BRG	FRONT HOIST
9	P1	P1S09	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	I2R	I2R - 2ND RED. INBOARD BRG	FRONT HOIST
10	P1	P1S10	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	D1R	D1R - OUTBOARD BRG	HOIST DRUM
11	P1	P1S11	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	D1A	D1A - OUTBOARD BRG	HOIST DRUM
12	P1	P1S12	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	D2R	D2R - INBOARD BRG	HOIST DRUM
13	P1	P1S13	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	IRR	IRR - 2ND RED. RIGHT SIDE BRG	CROWD
14	P1	P1S14	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	ILR	ILR - 2ND RED. LEFT SIDE BRG	CROWD
15	P1	P1S15	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	MNR	MNR - MOTOR NDE BRG	FRONT SWG
16	P1	P1S16	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	MDR	MDR - MOTOR DE BRG	FRONT SWG
17	P1	P1S17	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	PUR	PUR - INPUT PINION UPPER BRG	FRONT SWG
18	P1	P1S18	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	PLR	PLR - INPUT PINION LOWER BRG	FRONT SWG
19	P1	P1S19	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	OUA	OUA - SHAFT UPPER BRG	FRONT SWG
20	P1	P1S20	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	OLR	OLR - SHAFT LOWER BRG	FRONT SWG
21	P1	P1S21	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	IUR	IUR - 1ST RED. UPPER BRG	FRONT SWG
22	P1	P1S22	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	ILR	ILR - 1ST RED. LOWER BRG	FRONT SWG
23	P1	P1S23	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	ILA	ILA - 2ND RED. LEFT SIDE BRG	CROWD
24	P1	P1S24	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 1]	Pala 1-P&H4100A	-	Spare - No Connection	-

**LISTA DE SEÑALES AMS 6500 - PALA 1 - SPCC TOQUEPALA  
 PALA 1 - P&H 4100A**

Nº	PROCESADOR #	AMS 6500 CANAL #	TABLERO #	TAG NAME #	PALA	TAG #	DESCRIPCIÓN	EQUIPO
25	P2	P2S01	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	M3R	M3R - MOTOR NDE BRG	REAR HOIST
26	P2	P2S02	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	M4R	M4R - MOTOR DE BRG	REAR HOIST
27	P2	P2S03	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	M4A	M4A - MOTOR DE BRG	REAR HOIST
28	P2	P2S04	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	P3R	P3R - 1ST RED. OUTBOARD BRG	REAR HOIST
29	P2	P2S05	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	P4R	P4R - 1ST RED. INBOARD BRG	REAR HOIST
30	P2	P2S06	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	P4A	P4A - 1ST RED. INBOARD BRG	REAR HOIST
31	P2	P2S07	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	I3R	I3R - 2ND RED. OUTBOARD BRG	REAR HOIST
32	P2	P2S08	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	I3A	I3A - 2ND RED. OUTBOARD BRG	REAR HOIST
33	P2	P2S09	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	I4R	I4R - 2ND RED. INBOARD BRG	REAR HOIST
34	P2	P2S10	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	MNR	MNR - MOTOR NDE BRG	CROWD
35	P2	P2S11	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	MDR	MDR - MOTOR DE BRG	CROWD
36	P2	P2S12	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	MNA	MNA - MOTOR NDE BRG	CROWD
37	P2	P2S13	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	PRR	PRR - 1ST RED. RIGHT SIDE BRG	CROWD
38	P2	P2S14	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	PLR	PLR - 1ST RED. LEFT SIDE BRG	CROWD
39	P2	P2S15	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	PRA	PRA - 1ST RED. RIGHT SIDE BRG	CROWD
40	P2	P2S16	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	MNR	MNR - MOTOR NDE BRG	REAR SWG
41	P2	P2S17	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	MDR	MDR - MOTOR DE BRG	REAR SWG
42	P2	P2S18	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	PUR	PUR - INPUT PINION UPPER BRG	REAR SWG
43	P2	P2S19	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	PLR	PLR - INPUT PINION LOWER BRG	REAR SWG
44	P2	P2S20	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	OUA	OUA - SHAFT UPPER BRG	REAR SWG
45	P2	P2S21	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	OLR	OLR - SHAFT LOWER BRG	REAR SWG
46	P2	P2S22	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	IUR	IUR - 1ST RED. UPPER BRG	REAR SWG
47	P2	P2S23	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	ILR	ILR - 1ST RED. LOWER BRG	REAR SWG
48	P2	P2S24	AMS 6500-Pala 1-P&H4100A	[CABINET 2]	Pala 1-P&H4100A	-	Spare - No Connection	-

ANEXO N° 11: Cronograma de implementación de Proyecto de Sistema de Monitoreo en Línea de Pala P&H 4100

