

# Daño en rodamientos en una pala eléctrica de cable

---

por

German Araya Valenzuela

*CMS Condition Monitoring Solutions Ltda, Distribuidor en Chile de SPM Instrument,*

y

Michel Tommasin

*SPM Instrument AB, Sweden*

Septiembre, 2021

---

## Contenidos

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Conclusión y resumen .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Descripción de la aplicación.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Configuración del sistema.....</b>	<b>10</b>
5.1	Equipo de medición.....	10
5.2	Técnicas de medición.....	10
5.3	Configuración de Condmaster .....	11
5.3.1	<i>SPM HD</i> .....	11
5.3.2	<i>Velocidad de vibración</i> .....	12
5.3.3	<i>Aceleración de vibración</i> .....	13
5.3.4	<i>Envolvente HD</i> .....	14
<b>6</b>	<b>Descripción del caso .....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Justificación económica .....</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>18</b>
8.4	Referencia local SPM .....	18
8.5	Referencia global SPM.....	18

---

# 1 Introducción

Este caso de estudio trata sobre la detección de daños en los rodamientos de una pala eléctrica de cable con tecnología HD.

El cliente es un importante contratista de mantenimiento de minería que trabaja con reparaciones de equipos de minería, como componentes de palas eléctricas de cable. Junto con el servicio de reparación de transmisión crowd, el equipo de mantenimiento del contratista sigue las especificaciones del fabricante con respecto a la adquisición de datos de vibración para evaluar la condición del equipo. Basándose en las mediciones anteriores y actuales de acuerdo con las instrucciones, un equipo de análisis dedicado determina si el crowd drive está lista para continuar durante otro período de tiempo.

Sin embargo, como muestra este caso de estudio, las mediciones de vibración recomendadas por el fabricante por sí solas no son suficientes para capturar todos los daños potenciales de los engranajes y rodamientos mientras se realiza el mantenimiento de la transmisión. Además, algunas de las recomendaciones del fabricante son difíciles de cumplir por razones de seguridad. Por lo tanto, existe el riesgo de que la transmisión crowd sea devuelta a la mina desde el servicio con daños o problemas no detectados. Eso, a su vez, puede, en efecto, acortar la vida útil esperada de la transmisión, provocando insatisfacción con el servicio de mantenimiento y, potencialmente, pérdidas económicas para todas las partes.

El transmisión crowd es un componente crítico para la funcionalidad de la pala de cable y el programa de producción de la empresa minera. Dado que generalmente no hay redundancia para esta máquina masiva, que cumple con el trabajo de varias excavadoras más pequeñas, una falla de la pala puede causar una parada completa de la producción.

*Imagen 1 Dependiendo de la marca y el modelo, las palas de cable pueden cargar hasta 138 m3 de material en una sola excavación.*



---

Un desafío en este tipo de maquinaria es su complejidad técnica, con ocho rodamientos y seis engranajes, todos ensamblados en un espacio reducido. Esto puede dificultar la distinción de las distintas señales entre sí. Además, la caja de engranajes es un reductor, por lo que la velocidad de rotación disminuye con cada etapa, pasando de 900 RPM en el eje de entrada a 23 RPM en el eje de salida.

Estos factores motivaron al contratista de mantenimiento a buscar una solución más completa para el control de calidad de sus servicios de mantenimiento, por lo que se contactó con el distribuidor de SPM en Chile, quien capacitó al personal relevante en tecnología de monitoreo de condición HD y normas ISO. Al aplicar impulso de choque y monitorización de vibraciones con tecnologías HD, el contratista obtiene resultados de medición muy claros y claras coincidencias de síntomas de falla, en comparación con confiar únicamente en las mediciones de vibración recomendadas por el fabricante. Como resultado, el contratista ahora puede justificar con confianza cualquier recomendación que le dé a su cliente minero, la confianza del cliente en ellos ha aumentado gracias a los diagnósticos más confiables, y el fabricante de la pala aprueba e incluso recomienda la medición con equipos y métodos de SPM.

*Imagen 2 Pala eléctrica de cable.*



---

## 2 Conclusión y resumen

En este caso de estudio, la conclusión es clara. La tecnología de monitoreo de condición HD supera los desafíos de determinar de manera confiable la condición mecánica de la transmisión crowd y detectar fallas en etapas muy tempranas a distintas RPM.

La capacitación y el uso de las tecnologías HD hacen que el servicio y el control de calidad sean trazables, más eficientes y que los diagnósticos sean más precisos para el contratista de mantenimiento. También le facilita al contratista demostrar a todas las partes involucradas los beneficios de utilizar tecnologías complementarias, como permitir algunas reparaciones bajo garantía o como la detección de instalación defectuosa de engranajes y rodamientos.

## 3 Descripción de la aplicación

Las palas eléctricas de cable se utilizan para excavar y cargar tierra o roca fragmentada, y para la extracción de minerales a mayor escala. Las palas se encuentran entre los activos más críticos en las operaciones de minería a cielo abierto, a menudo con costos extremos de inactividad.

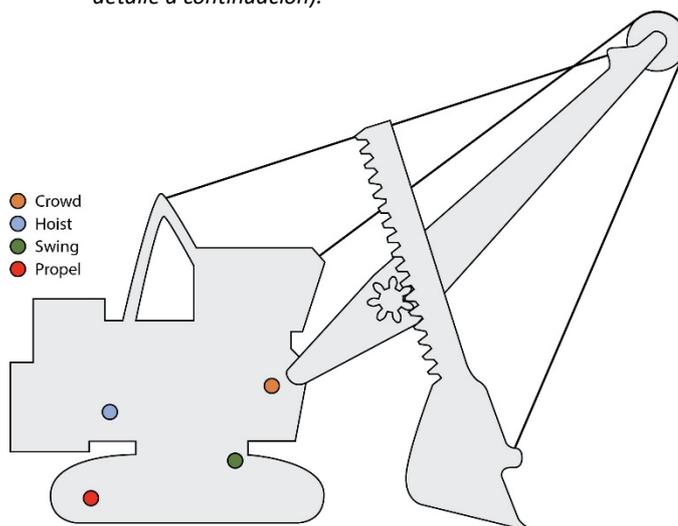
Impulsado por un motor eléctrico, la transmisión crowd controla el empuje o el levantamiento del balde. A través de un tren de engranajes, impulsa un tambor que enrolla los cables de acero que van al asiento del balde.

Los movimientos principales de la pala incluyen los siguientes:

- Hoisting (elevación), donde el balde se levanta a través del banco del material excavado
- Crowding (empuje), donde el mango del balde se mueve hacia adentro o hacia afuera para controlar la profundidad de excavación o posicionar el balde para la descarga
- Swinging (giro), donde la pala cambia entre excavación y descarga
- Propelling (impulsión), donde toda la máquina se mueve a una ubicación o posición de excavación diferente.

Ubicada dentro de la torreta, la transmisión crowd está conectado al engranaje del asiento del balde a través de cables. La transmisión hoist está en la parte trasera de la torreta, y en la base de la torreta está la transmisión swing, conectada a una corona dentada. La transmisión propel se encuentra en la parte inferior de la máquina, junto a la oruga.

**Figura 1** La ubicación de las distintas transmisiones (descritas con más detalle a continuación).



**Figura 2** Ejemplo de una pala eléctrica de cable.



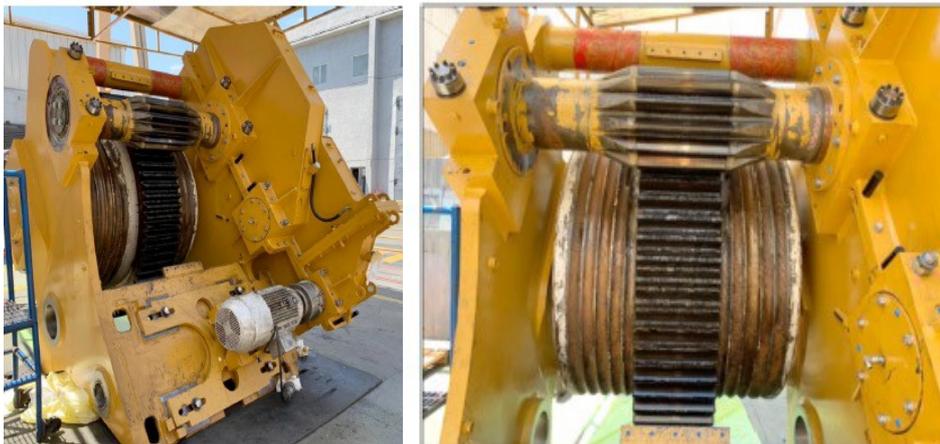
---

Cuatro fases componen el ciclo de trabajo/excavación de la pala:

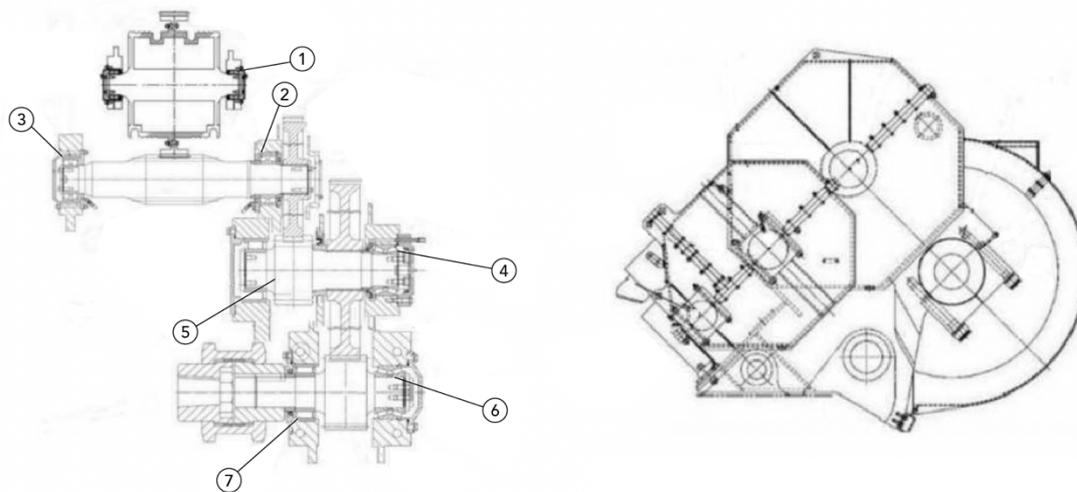
1. Excavación,
2. Giro,
3. Descarga,
4. Retorno.

Durante la excavación, el operador de la pala empuja el balde hacia el banco, lo levanta y luego retrae el balde lleno del banco. La fase de giro comienza tan pronto como el balde se aleja vertical y horizontalmente del banco. Para colocar el balde sobre la unidad de acarreo designada (por ejemplo, un camión), el operador lo controla a través de una trayectoria de giro planificada y una altura de descarga predefinida. Para descargar, la puerta del balde se abre manteniendo la altura de descarga correcta. En la fase de retorno, el balde se gira de regreso al banco y se baja. A continuación, se cierra la puerta del balde.

**Imagen 3** La aplicación crowd (izquierda) y engranajes (derecha). Imágenes: CMS Condition Monitoring Solutions Ltda.



**Figura 3** Vistas laterales y superiores del crowd drive. Las medidas se toman en las posiciones 1-7.



## 4 Antecedentes

La complejidad técnica la transmisión presenta algunos desafíos cuando se trata de obtener resultados de mediciones confiables. Cada etapa de reducción tiene un RPM diferente, y cada vez que se toma una nueva medición, la velocidad de rotación es menor que en la medición anterior. Por lo tanto, la configuración de medición debe ser diferente para cada eje. Los engranajes y los rodamientos están ensamblados en un espacio pequeño, por lo que pueden aparecer múltiples síntomas de falla, que se originan en los diversos componentes, y puede haber transmisión de vibraciones de las partes vecinas.

Este caso de estudio muestra cómo se utiliza la tecnología de monitoreo de condición HD para complementar las instrucciones del fabricante con respecto a las mediciones de vibración en una transmisión crowd en un banco de pruebas ubicado en el taller del contratista. Las medidas se tomaron después de una revisión y reparación. Cada componente de la transmisión, es decir, rodamientos y engranajes, fue inspeccionado y reparado, luego se tomaron las mediciones de vibración según las instrucciones como medio de control de calidad. Por lo tanto, todos los componentes de la transmisión estaban como nuevos o nuevos y las lecturas de vibración de acuerdo con las instrucciones no indicaron ningún síntoma de falla ni desviación.

Debido a la experiencia previa con componentes recién reparados que parecían saludables durante la medición de vibración recomendada pero que aún presentaban defectos antes de la próxima ocasión de mantenimiento planificada, el contratista decidió probar la medición con tecnología de SPM. Las mediciones de tecnología HD indicaron daños que las mediciones de vibración recomendadas por sí solas no capturaron.

El instrumento portátil Leonova Diamond se utilizó para medir el impulso de choque y los niveles de vibración, y Envolverte HD para verificar la calidad de la transmisión reparada.

La posición y configuración de los puntos de medición en el drive siguen las instrucciones del fabricante (principalmente medición de la velocidad de vibración en rangos de frecuencia específicos). Basado en los resultados que se muestran en este caso de estudio, recomendamos aplicar las técnicas SPM HD y HD ENV además de las instrucciones del fabricante sobre las mediciones de vibraciones.

*Imagen 4 Balde de pala eléctrica de cable.*



## 5 Configuración del sistema

### 5.1 Equipo de medición

Para medir todos los puntos de medición descritos anteriormente, se utilizó un instrumento portátil Leonova Diamond con todas sus funciones de vibración e impulso de choque activadas.

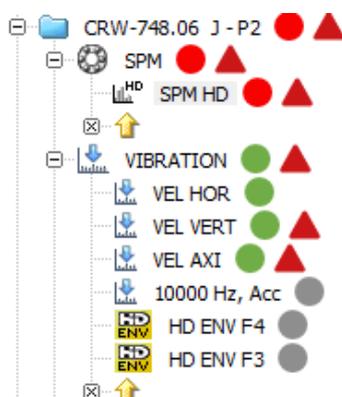
El sensor de vibración SLD144B-M8 y una base magnética se utilizaron para tomar todas las medidas de vibración. Se utilizó un transductor de impulso de choque con sonda para medir los pulsos de choque en cada rodamiento. En algunos casos se utilizó la función de estetoscopio. El sensor de RPM TTP10 se usó para medir la velocidad de rotación y la temperatura – en algunos casos solo para revisar y verificar.

### 5.2 Técnicas de medición

El equipo de mantenimiento del contratista sigue un procedimiento establecido por el fabricante de la transmisión, que indica que se debe realizar un conjunto de mediciones de velocidad tridireccional a 1000 Hz en todos los rodamientos. Las instrucciones también indican los niveles de alarma para ciertos rangos de frecuencia y los síntomas de falla que se deben buscar. Se puede utilizar la medición de la aceleración, así como otras técnicas de medición como el impulso de choque y la envolvente, aunque las instrucciones no recomiendan ningún método particular para esto ni rangos de frecuencia u otros datos de entrada.

Para cumplir con el procedimiento, se configuró la medición de la velocidad de vibración hasta 1000 Hz, junto con todas las alarmas de banda y síntomas de falla incluidos en las instrucciones. Además, también se configuraron aceleración, impulso de choque SPM HD y envolvente HD con un rango de frecuencia lo suficientemente alto para capturar 3,5 x GMF del eje de rotación más rápido.

**Imagen 5** Asignaciones de medición en el software Condmaster

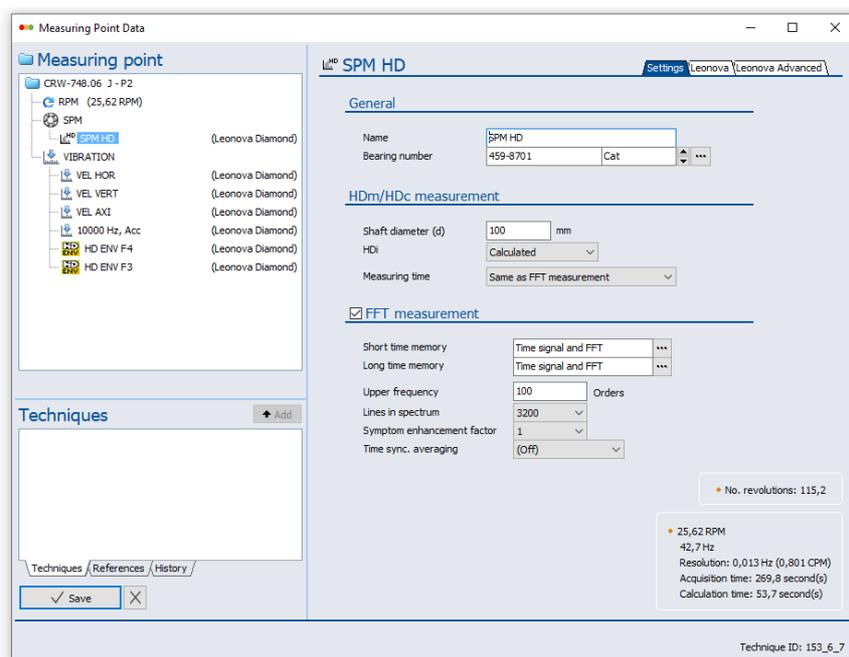


## 5.3 Configuración de Condmaster

### 5.3.1 SPM HD

La configuración estándar es de 100 órdenes y 1600 líneas. El factor de mejora de los síntomas (SEF) se estableció en 1. El objetivo de esta medición es capturar solo las señales relacionadas con el rodamiento para permitir un análisis y un diagnóstico en profundidad del estado del rodamiento.

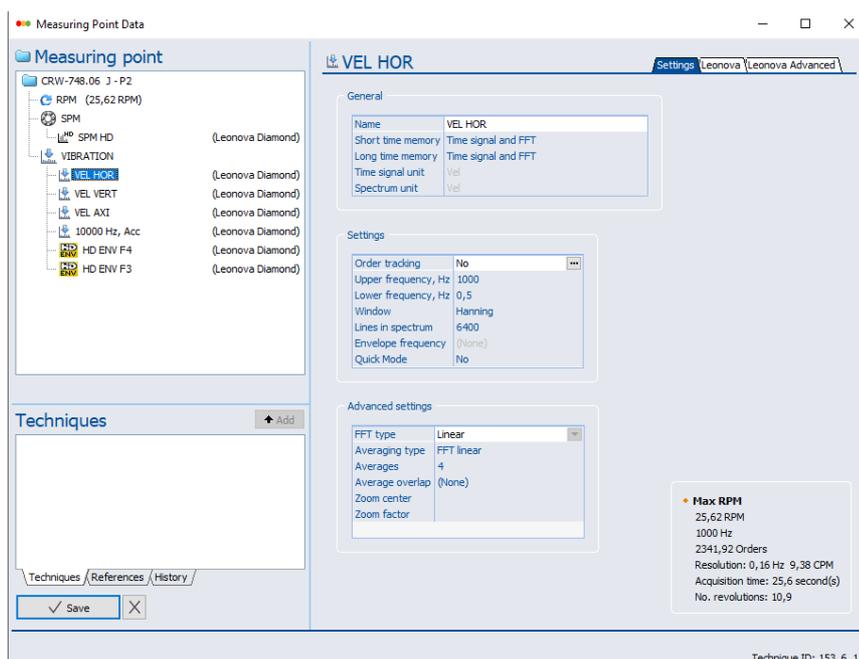
*Image 6 Configuración de asignación de medición SPM HD.*



### 5.3.2 Velocidad de vibración

Esta configuración se estableció en 1000 Hz, 6400 líneas, con un promedio de 4 líneas. El propósito de esta medición es capturar la condición de vibración general de la máquina, incluyendo engranajes y rodamientos y todos sus componentes, para cumplir con el procedimiento recomendado por el fabricante.

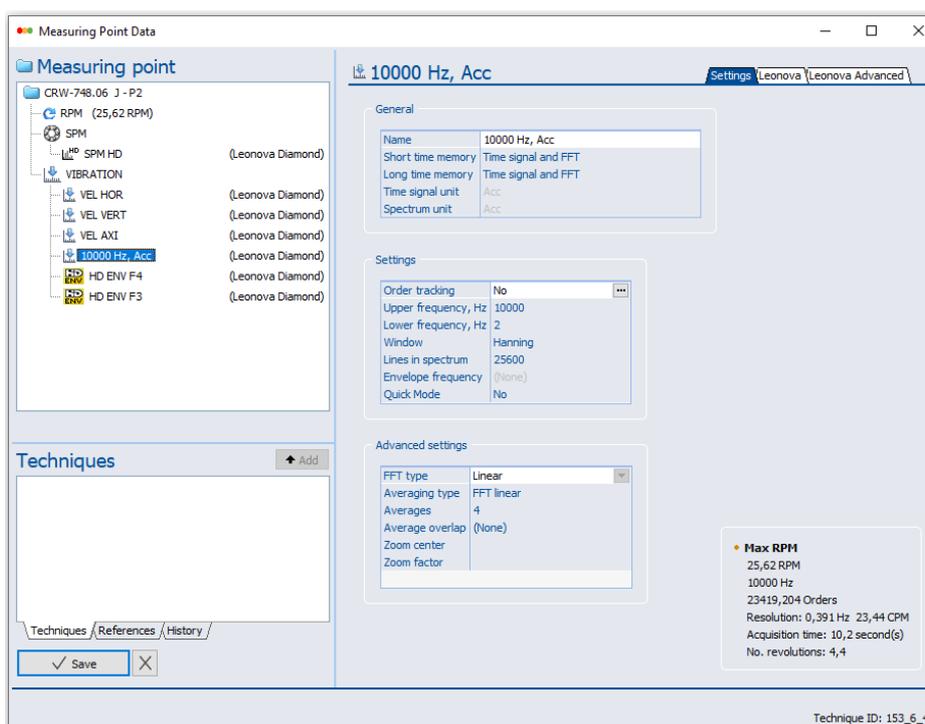
**Imagen 7** Configuración de la asignación de medición de la velocidad de vibración.



### 5.3.3 Aceleración de vibración

Esta configuración se estableció en 10000 Hz, 25600 líneas y 4 líneas de promedio. Esta asignación de medición está diseñada para capturar la vibración de alta frecuencia que podría originarse en los rodamientos, engranajes, o por roce de componentes debido a un trabajo de instalación deficiente, o fabricación, por ejemplo.

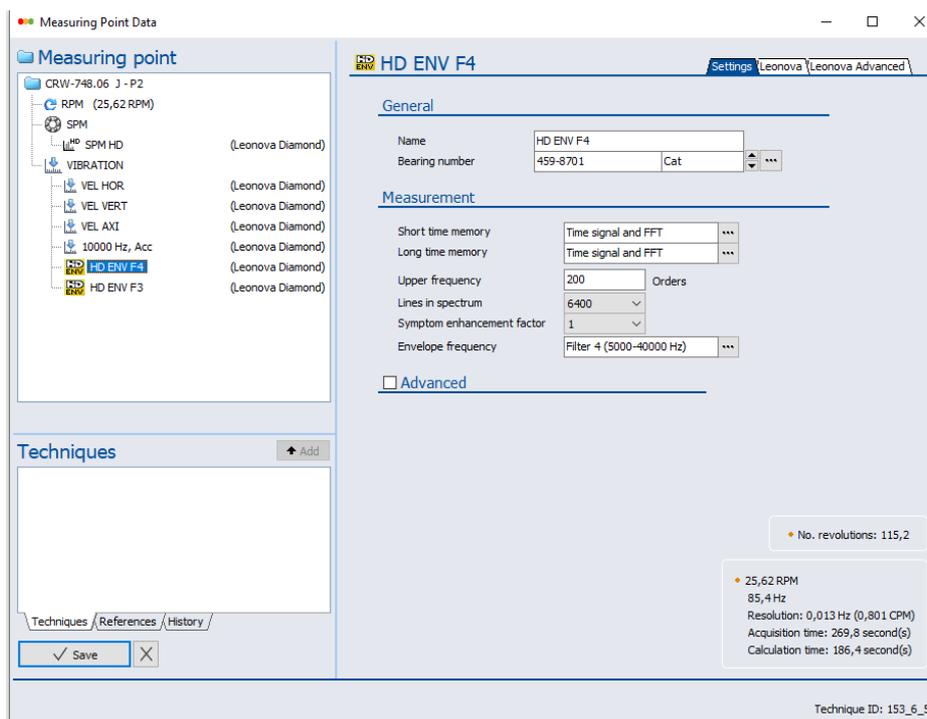
**Imagen 8** Configuración de la asignación de medición de la velocidad de vibración.



### 5.3.4 Envolverte HD

La configuración de medición HD ENV se estableció en 200 órdenes y 6400 líneas. El factor de mejora de síntomas (SEF) se estableció en 1 y los filtros 3 y 4. El propósito de esta medición es capturar todas las señales provenientes de los engranajes y rodamientos y hacer un análisis en profundidad de estos componentes.

**Imagen 9** Configuración de asignación de medición de envolverte HD.



## 6 Descripción del caso

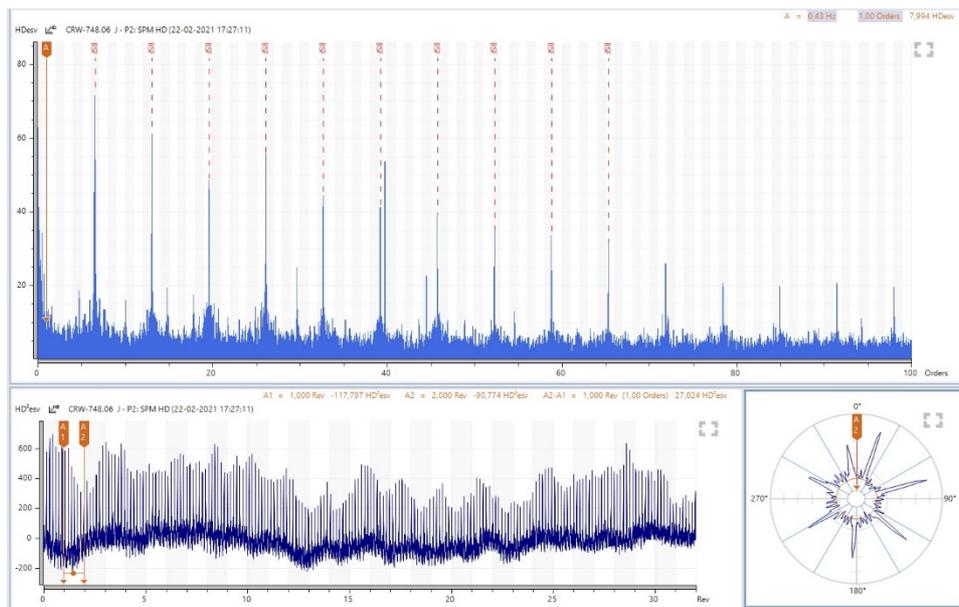
Aunque se diseñó para al menos 25.000 horas de trabajo, el crowd drive de una pala de minería había alcanzado solo las 7.000 horas cuando el personal de la mina detectó vibraciones en la base de la transmisión, lo que indica holgura. La empresa minera envió la transmisión crowd al contratista de servicio para su revisión e inspección. Después de restaurar, inspeccionar y cambiar varios componentes, el equipo de mantenimiento del contratista también realizó las mediciones de vibración recomendadas como parte del proceso de control de calidad.

Las mediciones complementarias con tecnología HD indicaron síntomas de daños en uno de los nuevos rodamientos. Fue particularmente evidente en las lecturas SPM HD y HD Envolvente en uno de los rodamientos del eje de baja velocidad. Los ingenieros de mantenimiento decidieron desmontar el la transmisión crowd para inspección, momento en el que confirmaron los daños en los rodamientos indicados en las mediciones de la tecnología HD.

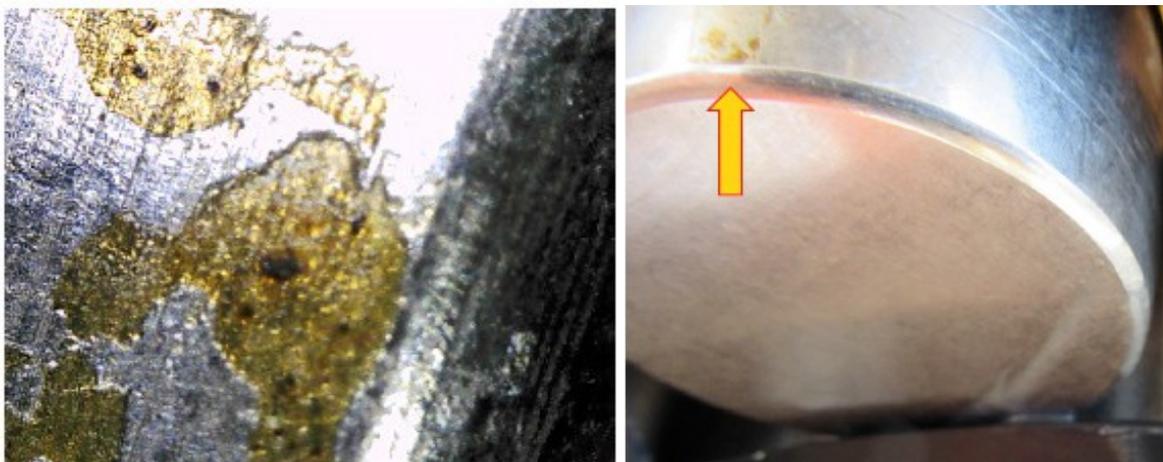
Se detectó BSF (Ball Spin Frequency) en el eje final a 23 RPM con SPM HD y HD ENV, filtros 3 y 4. La inspección mostró picaduras en los elementos rodantes donde se detectó la falla y algunos daños en el anillo exterior. Estas fallas no se podían ver a simple vista, pero eran claramente visibles cuando se usaba una cámara microscópica para evaluar la gravedad del daño.

Gracias al uso de tecnologías HD y la detección de este daño en una etapa muy temprana en un rodamiento nuevo, el contratista evitó costoso tiempo de inactividad para la mina. Además, el contratista ahora puede proporcionar análisis y diagnósticos más confiables en el futuro, aumentando así su reputación como socio de servicio confiable.

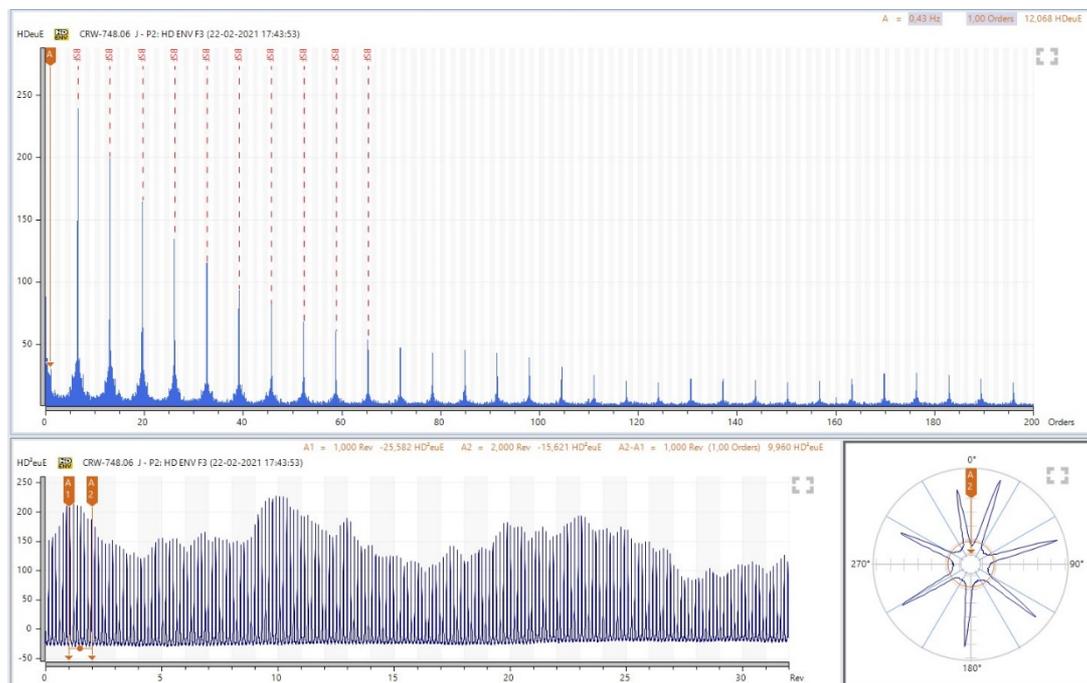
**Imagen 10** Detección de la frecuencia de giro de la bola/elemento rodante, como se puede ver en la Imagen 11 (SPM HD).



**Imagen 11** BSF/daño por picaduras, como se describe arriba. Imágenes: CMS Condition Monitoring Solutions Ltda.



**Image 12** BSF/daño por picaduras como se ve con HD Env, filtro 3.



---

## 7 Justificación económica

La garantía del contratista para la empresa minera sobre el trabajo de la pala y todos sus componentes garantiza que la maquinaria funcionará durante 25.000 horas y/o unos tres años. La empresa minera paga al contratista alrededor de 600.000 USD cada seis meses para asegurar el cumplimiento de las horas de trabajo.

La transmisión crowd falló a las 7.000 horas y se envió de vuelta al contratista para su reparación. Se cambiaron todos los componentes y se llevó a cabo el mantenimiento y reacondicionamiento. En el proceso de control de calidad, las tecnologías de monitoreo de condición HD SPM HD y HD ENV detectaron daños en los elementos rodantes de un rodamiento. Gracias a estas mediciones de condición complementarias, el contratista evitó el riesgo de enviar una unidad defectuosa de regreso a la mina, en cuyo caso podría haber tenido que ser devuelta para servicio nuevamente antes de que transcurrieran los seis meses o, en el peor de los casos - la unidad podría haber causado una falla catastrófica.

En este caso de beneficio mutuo, la inversión en monitoreo de condiciones se amortizó después de una sola instancia de detección de daños.

---

## 8 Referencias

### 8.4 Referencia local SPM

**German Araya Valenzuela**

Ingeniero Civil Mecánico

Gerente Técnico, CMS Condition Monitoring Solutions Ltda.

Analista de vibraciones ISO CAT III

Mobius Institute (M-138655-01) Avenida Antihue 1202 OF. 406

1271973 Antofagasta, Chile

Teléfono: +56 55 2716677

Celular: +56 9 96410658

URL: [www.cmsonline.cl](http://www.cmsonline.cl)

E-mail: [garaya@cmsonline.cl](mailto:garaya@cmsonline.cl)

### 8.5 Referencia global SPM

**Michel Tommasin**

Gerente de Ventas de Área Global

SPM Instrument AB

[michel.tommasin@spminstrument.se](mailto:michel.tommasin@spminstrument.se) Te-

léfono: +46(0)15222579

Celular: +46(0)703308985

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