



1



2

Presentación de una experiencia exitosa, caso de estudio o proyecto.

En la Sesión Brújula aprenderás de la experiencia compartida de una implementación exitosa que servirá de guía para iniciar o mejorar tus propios planes.

Soluciona problemas y mejora tu confiabilidad mediante la implementación de nuevas metodologías y tecnologías, conociendo el origen, análisis, plan de acción, paso a paso, logros, tropiezos y lecciones aprendidas que culminan con el caso de negocio.



BRÚJULA



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
CHILE

5^a
EDICIÓN



METODOLOGÍA DE MONITOREO DE ACTIVOS CON OPERACIÓN INTERMITENTE Y VELOCIDAD VARIABLE

Diego M. Ismirlian
CTO, MAPER Tecnología

3



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
CHILE

5^a
EDICIÓN

20~70%

de los activos **críticos** de una planta son difíciles de monitorear

¿Cómo medimos vibraciones?

4

Clasificación

Ciclo	Operación
Continuo	Estacionaria
Intermitente	Estacionaria
Continuo	Dinámica
Intermitente	Dinámica



5

Ejemplos



Intermitentes y de punto operación dinámico

Intermitentes de punto de operación estático

6

Desafíos para los sensores inalámbricos de vibración

- Por ejemplo, se configura un sensor para medir cada 15' tendencia y cada 4h espectro.
- El sensor está **99.8%** del tiempo “dormido”.
- Para un equipo que funciona 2' cada 1h:

$$P_{\text{medición correcta}} \approx 1 - \left(\frac{2}{60}\right)^4 \approx 12.65\%$$

$$T_{\text{entre mediciones de tendencia útiles}} \approx 8h$$

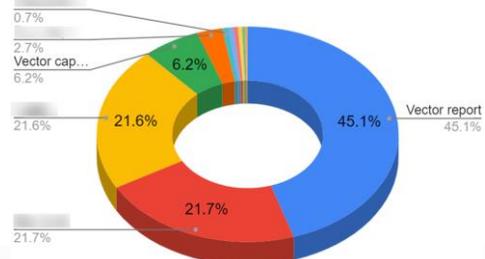
$$T_{\text{entre mediciones de espectro útiles}} \approx 32h$$

7

45%

de la batería se consume enviando **espectros**

El envío de espectros es el mayor contribuyente al consumo.



8

Desafíos wireless

La frecuencia de muestreo práctica es **mucho peor** que la que está configurada

El sensor **desperdicia** 43,5% de su batería tomando y enviando datos inútiles

El sistema que recibe los datos puede llegar a interpretarlos como datos correctos, y sacar **conclusiones equivocadas**

9

Impacto

Ya que las soluciones cableadas son 3~4x más costosas que las inalámbricas, **equipos críticos quedan sin monitoreo**

Aún con sensores cableados, la sincronización de la medición con el punto de operación sigue siendo un problema, y el **diagnóstico puede ser equivocado**

Si se complementa con sensorizado cableado, muchas veces se requiere tener dos **sistemas de distintos proveedores operando en paralelo**

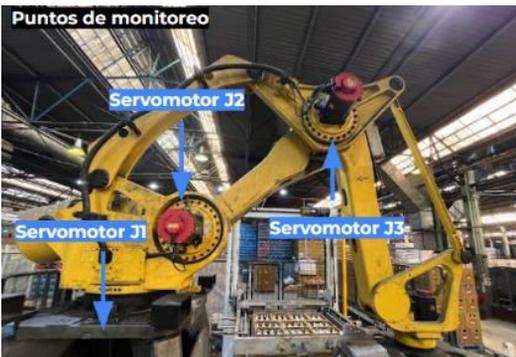
10



Solución propuesta: ejemplo brazo robótico

- **Crítico:** Equipo de fin de línea
- **Preventivo** programado: 1 vez por semana, 4h
- Downtime **imprevisto:** 6h cada 6 meses
- No se puede medir por ruta, no conviene cablear

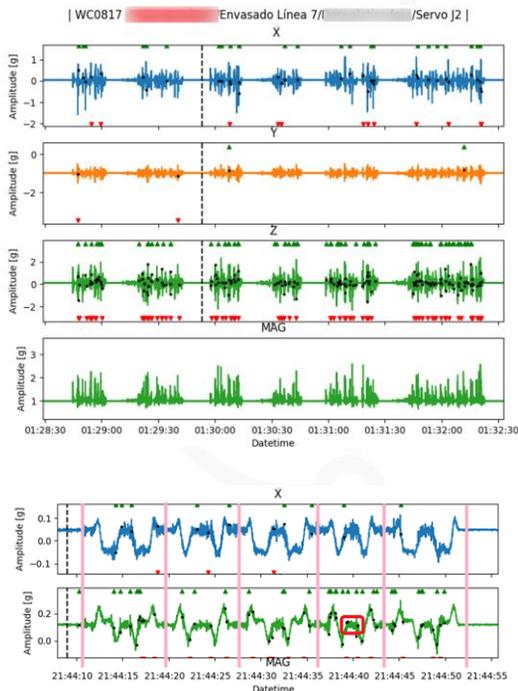
11



Paso 1: análisis

- Montamos sensores en articulaciones
- Capturamos la operación durante 3 días completos a **baja resolución y bajo consumo**
- Mantenimiento e Ingeniería (cliente + proveedor) analizamos los datos y decidimos **cuándo** hay que medir

12



Paso 1: análisis

- Trabaja en ciclos de 15s~40s, con “descansos” de entre 15s y 4h.
- Cada ciclo de operación hace un número entero de movimientos.
- Se decide capturar un espectro durante la fase de carga (las articulaciones hacen “más fuerza” y la velocidad es casi constante)
- Corresponde con un intervalo de 500ms para J2.

13

Paso 1: análisis

¿Qué pasa si configuramos un sensor de forma convencional?
(tendencia cada 15' y espectro cada 4h)

$$P_{\text{medición buena}} = \sim 8.4\% \text{ (1 de cada 12)}$$

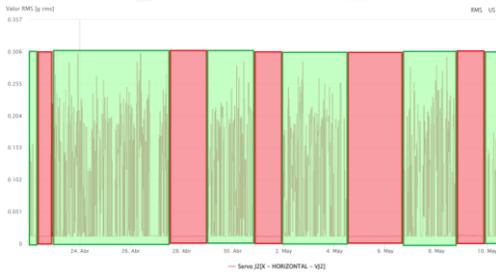
- El sistema de detección de anomalías “**se confunde**” → Falsos positivos o falsos negativos.
 - Un analista tiene que **filtrar** a mano 11 de cada 12 espectros y **entender cuál es el correcto** a analizar
- ⇒ No es viable técnicamente capturar datos **accionables**.

14

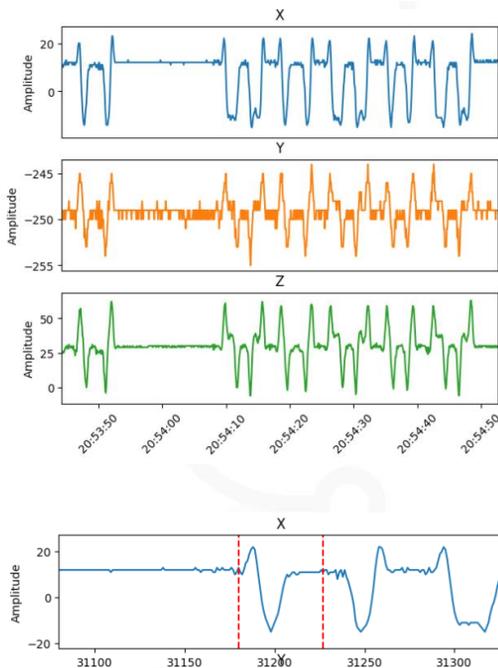


Paso 2: algoritmo de detección de estado

- El sensor evalúa **continuamente** si la máquina está en operación.
- Diferenciar entre los momentos de operación intermitente (**verde**) de estado completamente apagado (**rojo**)
- Requiere un sensor con **hardware especial**
- Evita el problema del sensor “ciego”



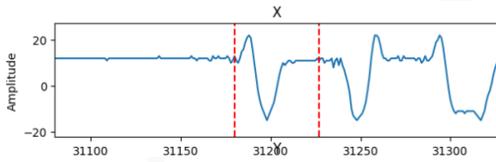
15



16

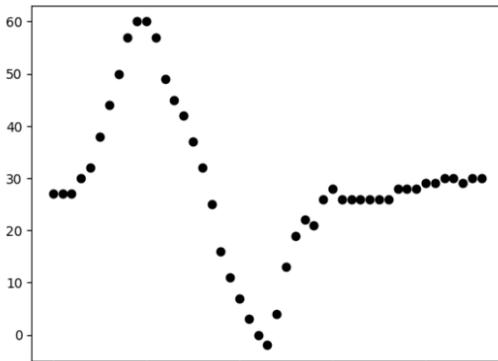
Paso 3: algoritmo de sincronización

- Objetivo: sincronizar la medición según el estado de **traslación** de los sensores.
- Se muestrea la **posición** dinámica de cada articulación con **bajo consumo**
- Se correlaciona la trayectoria de los últimos segundos con la trayectoria completa

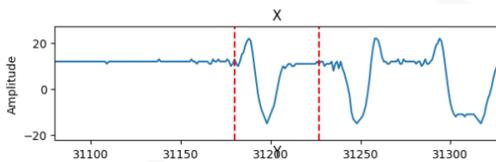


Paso 3: algoritmo de sincronización

- Cuando encuentra una sincronización, el sensor entiende en qué punto del movimiento está
- Así puede encontrar el punto exacto cuándo medir

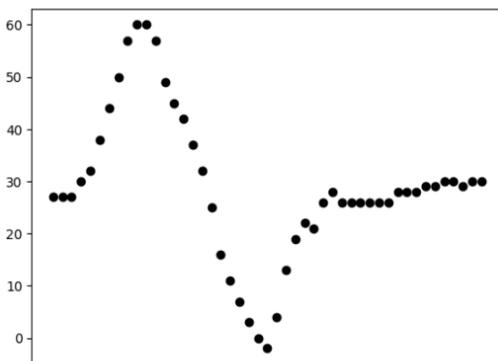


17



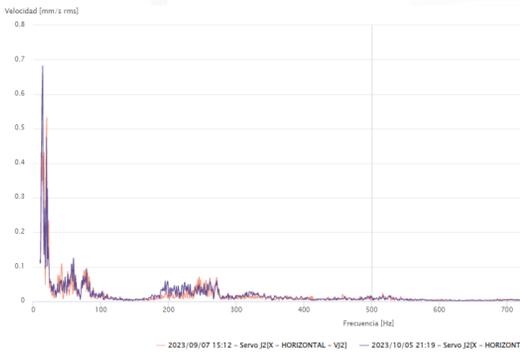
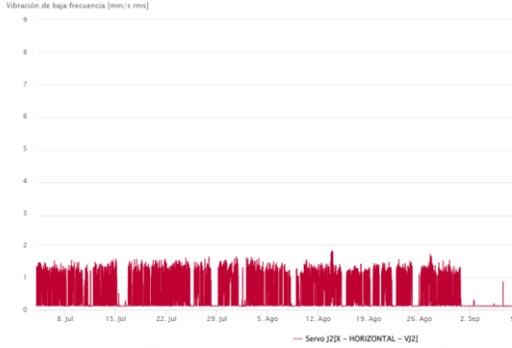
Paso 3: algoritmo de sincronización

- Para esto, hace falta configurar el sensor para buscar un patrón
- Optimizamos el patrón usando algoritmos de IA (cuasi-óptimo pero complejo)
- Esto aumenta la complejidad de la configuración inicial



18

Resultados



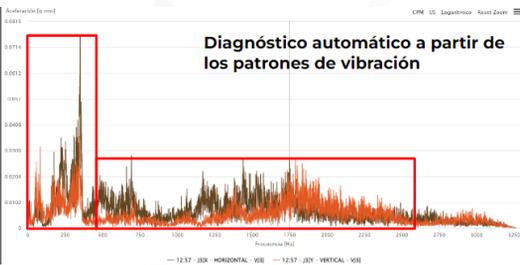
- Tendencias consistentes → **es posible** usar un sistema automático de **detección de anomalías**
- Espectros repetibles → **es posible** hacer **análisis espectral**

19



Caso de estudio

- Evitar 1h/mes de downtime
- Reducir 4h/mes de preventivo
- Reducción en un 70% del costo correctivo de servomotores al evitar la falla catastrófica
- Ahorro de 10hh/mes al priorizar las tareas en base a datos
- Ahorro total: USD 180.000 / año (planta entera)



20



Solución propuesta: ejemplo pala eléctrica

- Crítico
- Una falla en un reductor **para la operación de 6 a 9 meses**
- Un correctivo puede costar USD 0.9~1.2MM
- Equipo **altamente intermitente** y de velocidad variable.

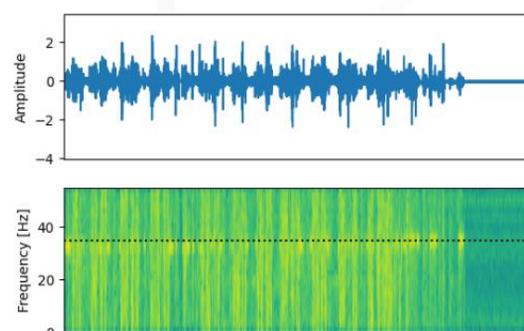
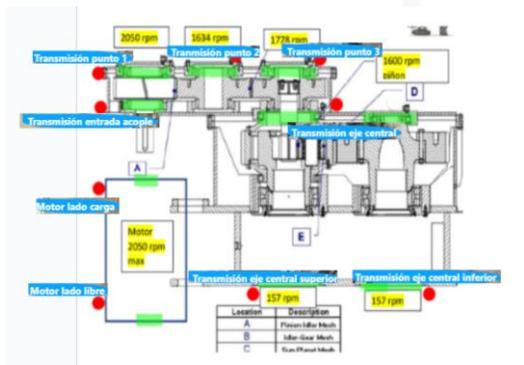
21



Pala eléctrica

- Tiene movimientos independientes: giro, ataque y levante (analizar por separado)
- Nos enfocamos en giro: trabaja en ciclos de 20s~60s, con “descansos” de entre 5s y varias horas.
- El cliente quiere tomar la medición cuando el motor pasa por 1000RPM.

22



23

Paso 1: análisis

- Montamos sensores en varios puntos
- Capturamos la operación durante 2 días completos a **baja resolución y bajo consumo**
- El operador de la pala acelera rápidamente hasta su velocidad de giro máxima, en < 3s. La pala a 2.5~3RPM y la velocidad del motor es ~2030RPM. El motor tiene velocidad estable durante 2~5s.

Paso 1: análisis

¿Qué pasa si configuramos un sensor de forma convencional?
(tendencia cada 15' y espectro cada 4h)

$$P_{\text{medición buena}} = \sim 16.6\% \text{ (1 de cada 6)}$$

- Ya que la velocidad es variable, el sistema de detección de anomalías **“se confunde”** → Falsos positivos o falsos negativos.
- Un analista tiene que **filtrar** a mano 5 de cada 6 espectros y **entender cuál es el correcto** a analizar

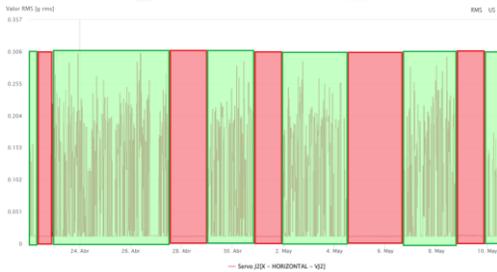
⇒ No es viable técnicamente capturar datos **accionables**.

24

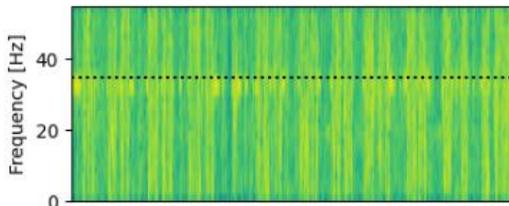


Paso 2: algoritmo de detección de estado

- Mismo algoritmo de antes.
- El sensor evalúa **continuamente** si la máquina está en operación.
- Diferenciar entre los momentos de operación intermitente (**verde**) de estado completamente apagado (**rojo**)
- Requiere un sensor con **hardware especial**
- Evita el problema del sensor “ciego”



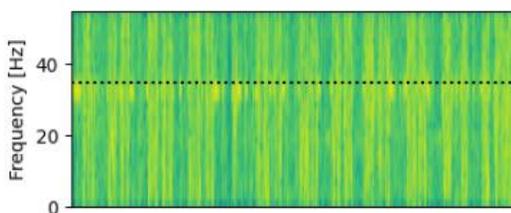
25



Paso 3: algoritmo de sincronización

- Objetivo: sincronizar la medición según la **velocidad** del motor
- Se muestrea la **vibración** del motor con **bajo consumo** y baja resolución
- Se extrae la componente principal de energía y **se infiere la velocidad**

26



Paso 3: algoritmo de sincronización

- Cuando encuentra la velocidad configurada, el sensor dispara la medición
- Hace falta configurar el sensor para inferir correctamente la velocidad a partir de la vibración
- Optimizamos este algoritmo offline. Esto aumenta la complejidad de la configuración inicial

27

Caso de estudio

- Anomalía en el mecanismo de levante
- El cliente está evaluando **extender el preventivo** de rutina 1 año más (cada 3 años en lugar de 2).
- El preventivo para cada pala cuesta USD 1MM
- Se puede generar un **ahorro anual de USD 167k por pala.**

28

Desafíos: no todo es bueno



- La puesta en marcha implica:
 - Capturar varias horas de operación continua de la máquina
 - Involucrar a los equipos de Mantenimiento e Ingeniería
 - Expertise de configuración
 - Acompañamiento del proveedor de la solución

29

Desafíos: no todo es bueno



- Además el hardware/firmware:
 - Tiene que ser pensado específicamente para esto
 - Tiene que implementar esto con bajo consumo
- Es valioso que el fabricante tenga voluntad y capacidad para **adaptar el firmware** de ser necesario

30

Próximos pasos



Agilizar

La puesta en marcha es el desafío más importante; hay que agilizarlo



Estandarizar

Nuevos equipos requieren I+D; la selección de algoritmos debe ser estandarizada



Ampliar

Hay otros tipos de equipos que se beneficiarían de las mismas técnicas

31

Conclusiones

Beneficios

Es posible monitorear activos “complicados” con tecnología Wireless, pero requiere una combinación de técnicas avanzadas

Estas técnicas desbloquean el uso de **sistemas automáticos de detección de anomalías**

Las tendencias y espectros se vuelven **consistentes**

32

Conclusiones

Desafíos



No todos los equipos se comportan igual; es importante **adaptar** estos mecanismos



La puesta en marcha es **compleja**



Es importante contar con sensores que tengan incorporados estos modos de funcionamiento **por diseño**

33

¡Gracias!

Diego M. Ismirlian
dismirlian@mapertech.com

34