



# **BRÚJULA**

sesión

1



# **BRÚJULA**

sesión

## **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.

2



**BRÚJULA**



# METODOLOGÍA DE MONITOREO DE ACTIVOS CON OPERACIÓN INTERMITENTE Y VELOCIDAD VARIABLE

**Diego M. Ismirlian**  
CTO, MAPER Tecnología

3



**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 de 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:

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

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

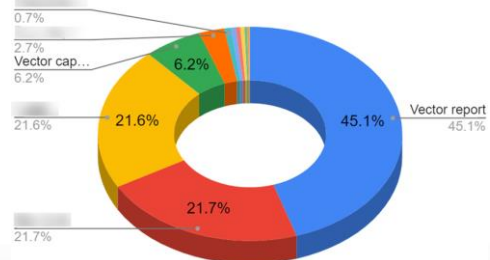
$$T_{\text{entre mediciones de espectro útiles}} \approx 32h$$

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**

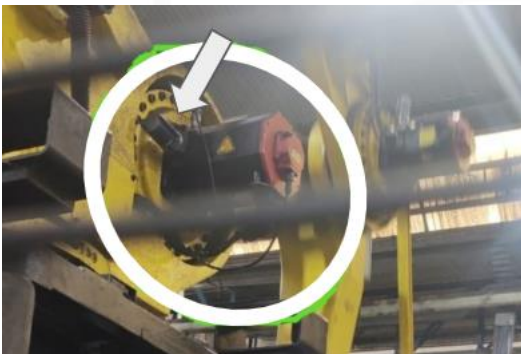
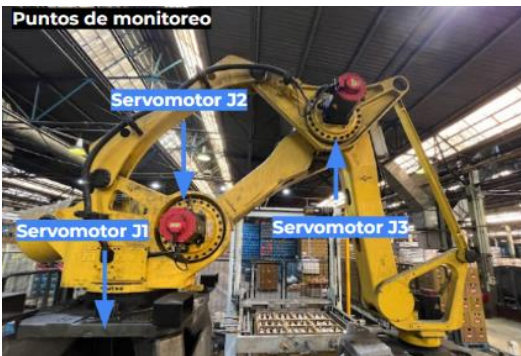
10



## 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

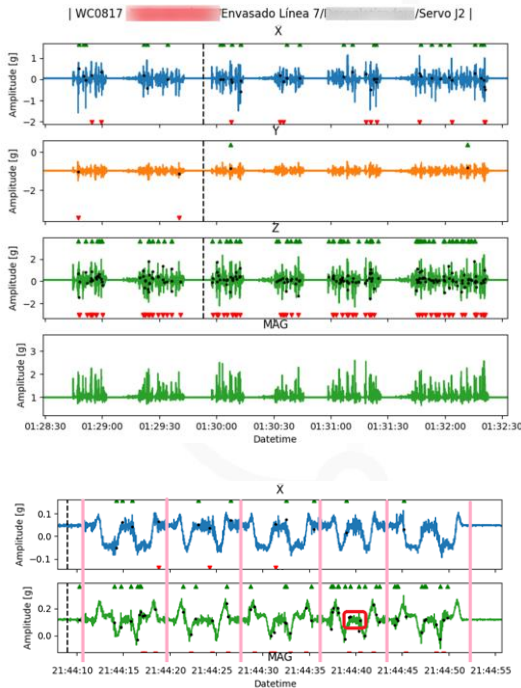
11



12

## 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



## 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

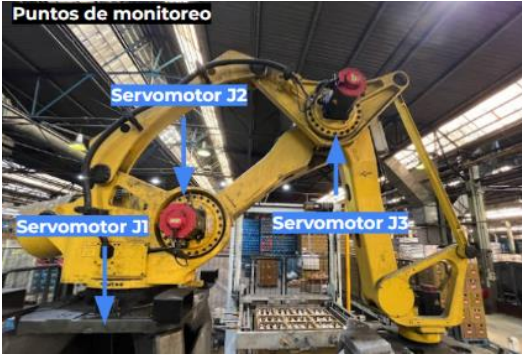
## Paso 1: análisis

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

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

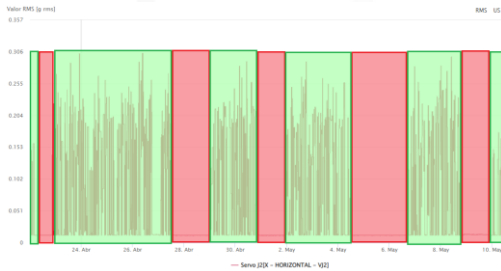
- El sistema de detección de anomalías “**se confunde**” → Falsos positivos o falsos negativos.
  - Un analista tiene que **filtrar** a mano 11 de cada 12 espectros y **entender cuál es el correcto** a analizar
- ⇒ No es viable técnicamente capturar datos **accionables**.

14

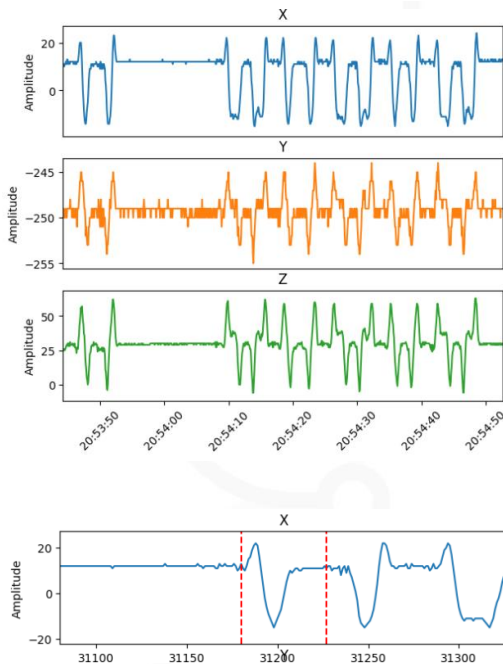


## Paso 2: algoritmo de detección de estado

- 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

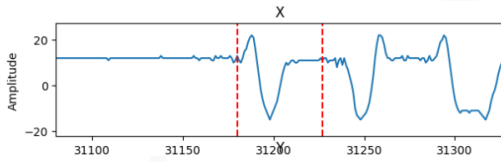


## Paso 3: algoritmo de sincronización

- 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

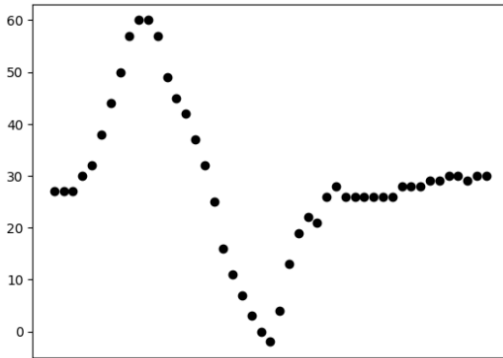
16



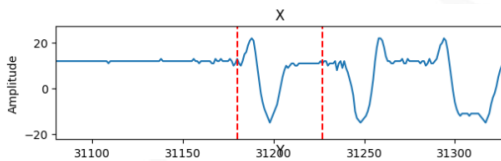


## Paso 3: algoritmo de sincronización

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

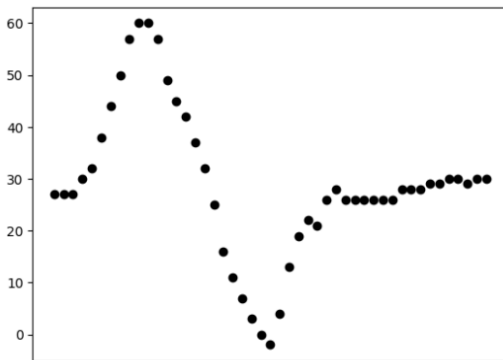


17



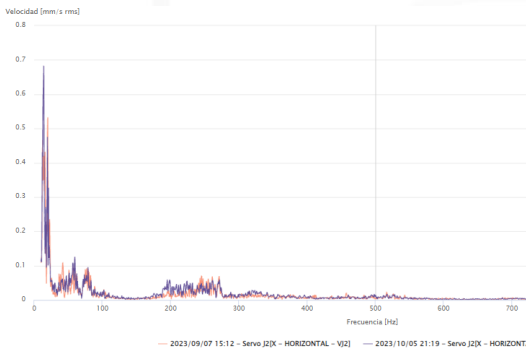
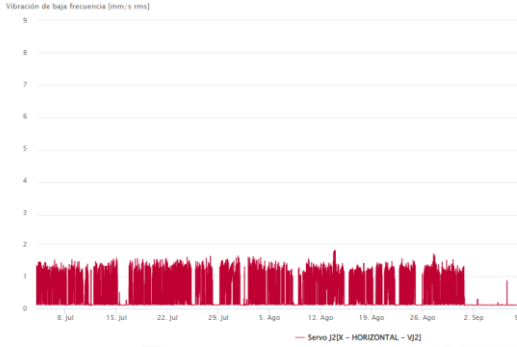
## Paso 3: algoritmo de sincronización

- 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



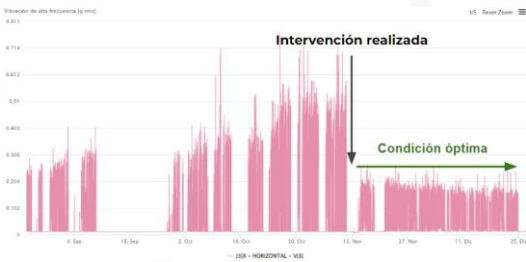
18

# Resultados



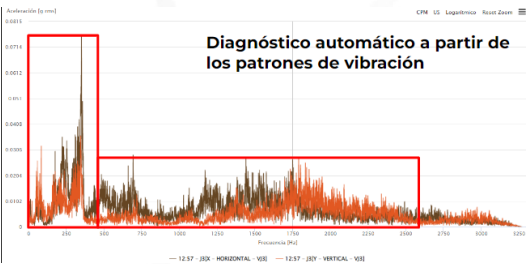
- Tendencias consistentes → **es posible** usar un sistema automático de **detección de anomalías**
- Espectros repetibles → **es posible** hacer **análisis espectral**

19

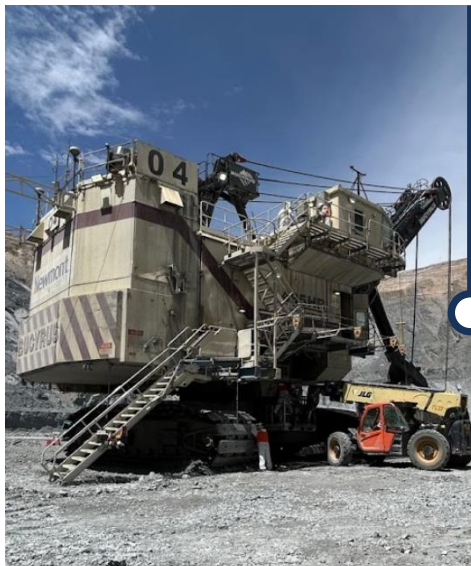


# Caso de estudio

- 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)



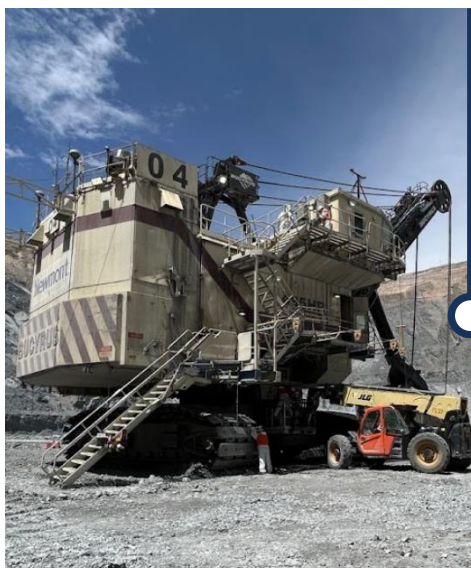
20



## 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.

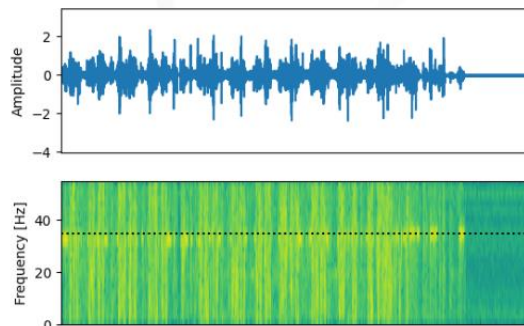
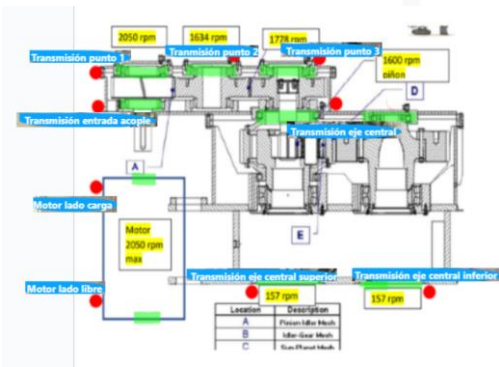
21



## 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

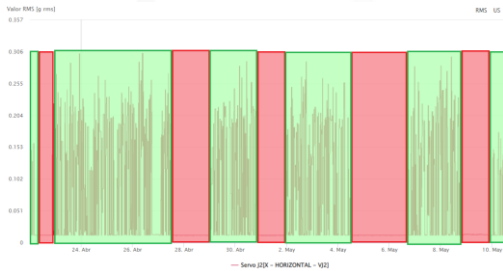
⇒ No es viable técnicamente capturar datos **accionables**.

24

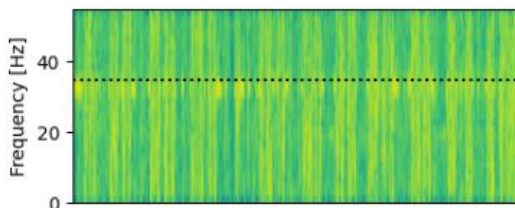


## Paso 2: algoritmo de detección de estado

- 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”



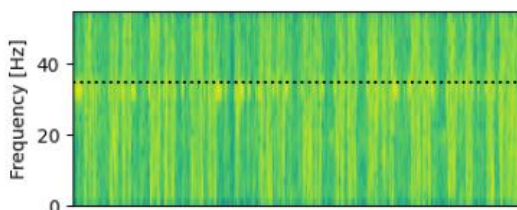
25



## 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