XXXVI CONVENCIÓN INTERNACIONAL DE MINERÍA ACAPULCO2025
LA MINERÍA UNIDA POR MÉXICO

MONITOREO INTELIGENTE Y PREDICTIVO EN

ESPESADORES

Integración de AlloT y Analítica Avanzada

Dra. Catalina Urrejola & Carlos Carrillo
catalina@smartmining.com

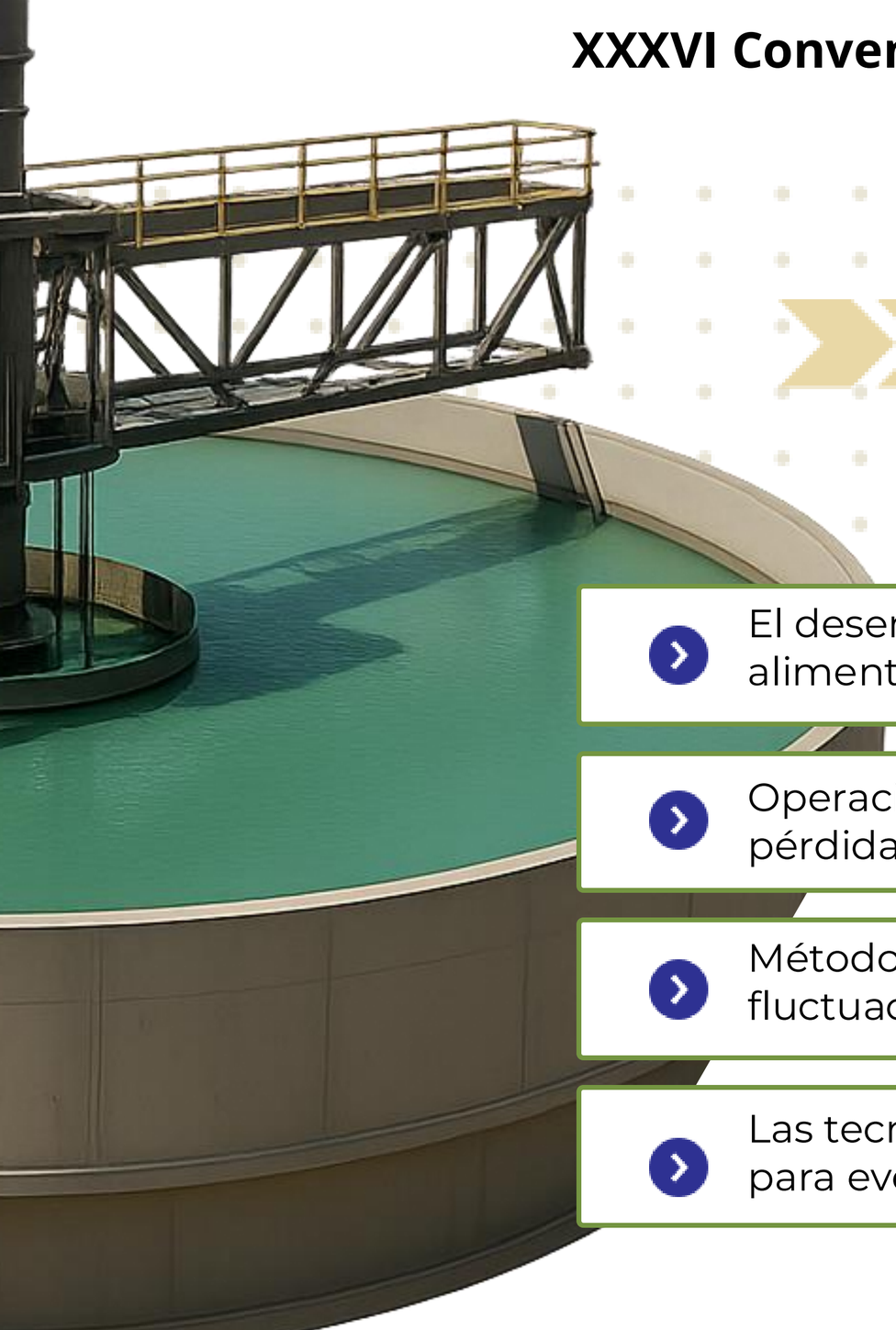
SMART MINING®

Impulsando la *Inteligencia Operativa* del Futuro

SMART MINING®

Espesador

- Etapa crítica en el procesamiento de minerales.
- Su objetivo principal es separar sólidos y líquidos, optimizando la recuperación de agua.
- Mantener la **estabilidad operacional** es esencial para evitar pérdidas de eficiencia y riesgos operativos.
- El control tradicional se basa en mediciones puntuales y reportes manuales, lo que limita la visibilidad en tiempo real.



Innovación en el monitoreo de espesadores

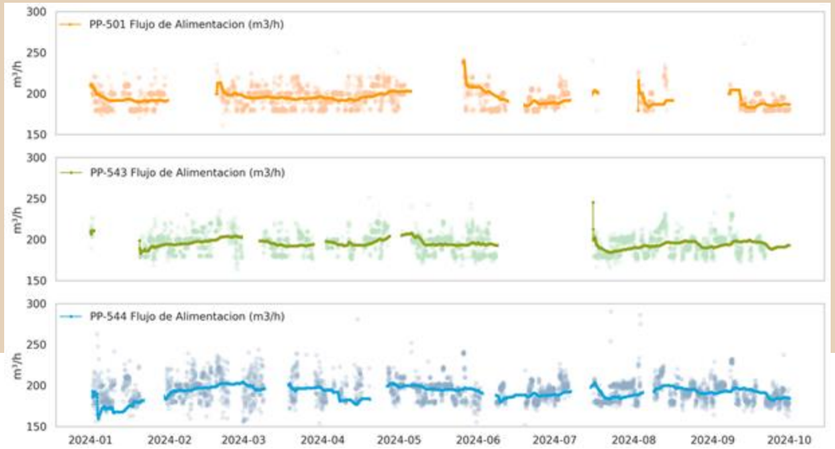
- El desempeño del espesador depende de variables críticas como flujo de alimentación, densidad, torque de rastras y dosificación de floculante.
- Operaciones con alta variabilidad → riesgo de embancamientos y pérdida de eficiencia.
- Métodos de monitoreo actuales son reactivos y poco precisos frente a fluctuaciones en tiempo real.
- Las tecnologías IIoT y la analítica avanzada ofrecen una oportunidad para evolucionar hacia una gestión predictiva.

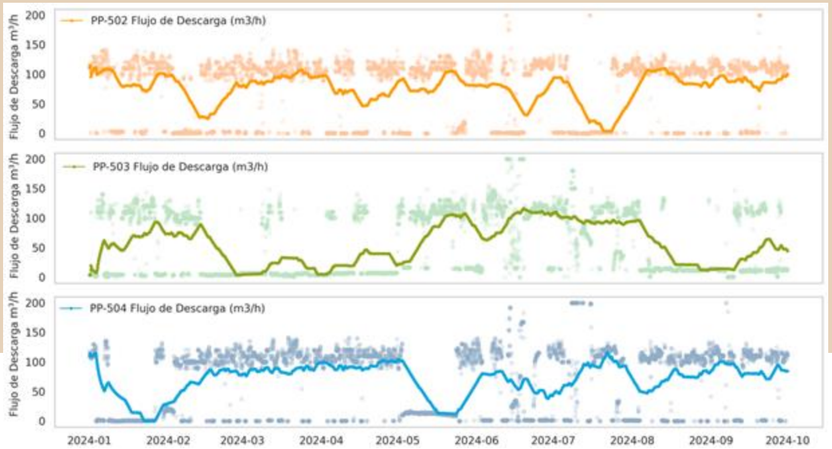
Proyecto de monitoreo inteligente

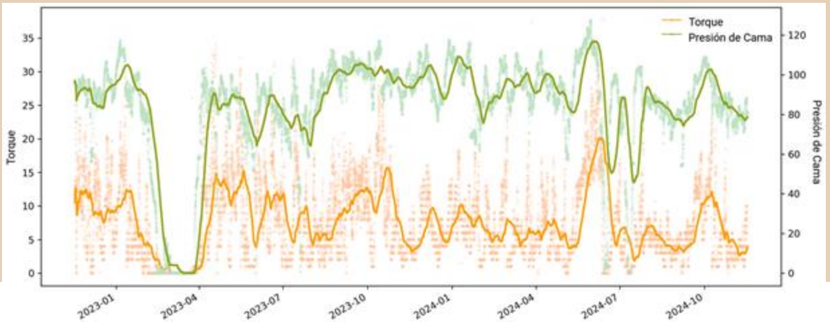
Objetivo principal : Pasar de un monitoreo reactivo a una gestión predictiva del espesador

- Implementar un sistema avanzado de sensorización IIoT en un espesador industrial de gran escala.
- Desarrollar modelos predictivos y de Machine Learning para anticipar fallas y optimizar la operación.
- Mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos.
- Establecer umbrales dinámicos de alerta basados en la condición real (ISO 20816-3).

Análisis de Data Histórica y Línea Base





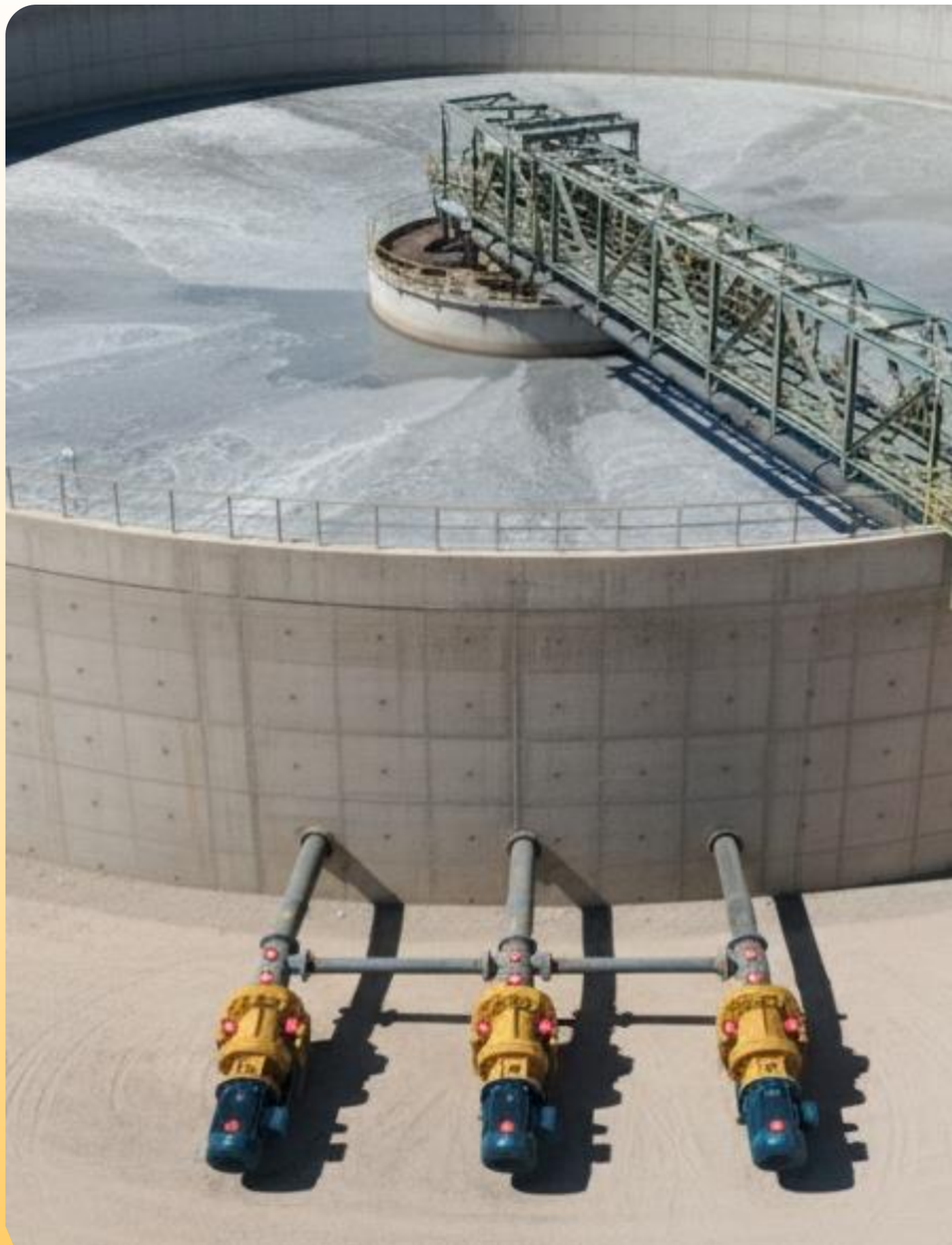


- Variables de Entrada:
  Flujo, densidad y % de sólidos de alimentación
- Variables Internas:
  Nivel y presión de cama, torque de rastras.
- Variables de Salida:
  Flujo, densidad y % de sólidos de descarga

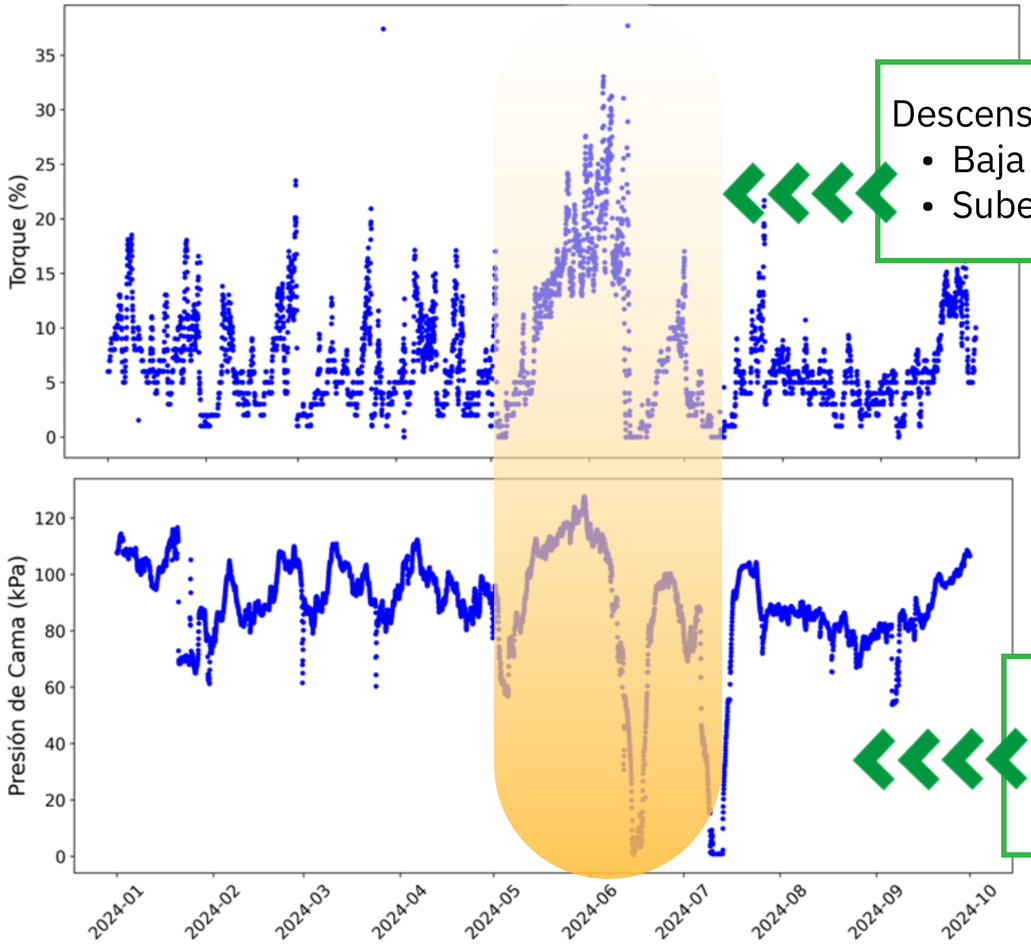
Patrón Operacional

Desde el análisis:

- Dos bombas operan activamente y una de respaldo.
- Las variaciones en el flujo y la densidad de descarga están asociadas a los ajustes y transiciones en la operación de las bombas.
- Esta caracterización fue esencial para definir la línea base de confiabilidad del equipo antes de la implementación de IIoT.



Evidencia de Inestabilidad: Embancamiento

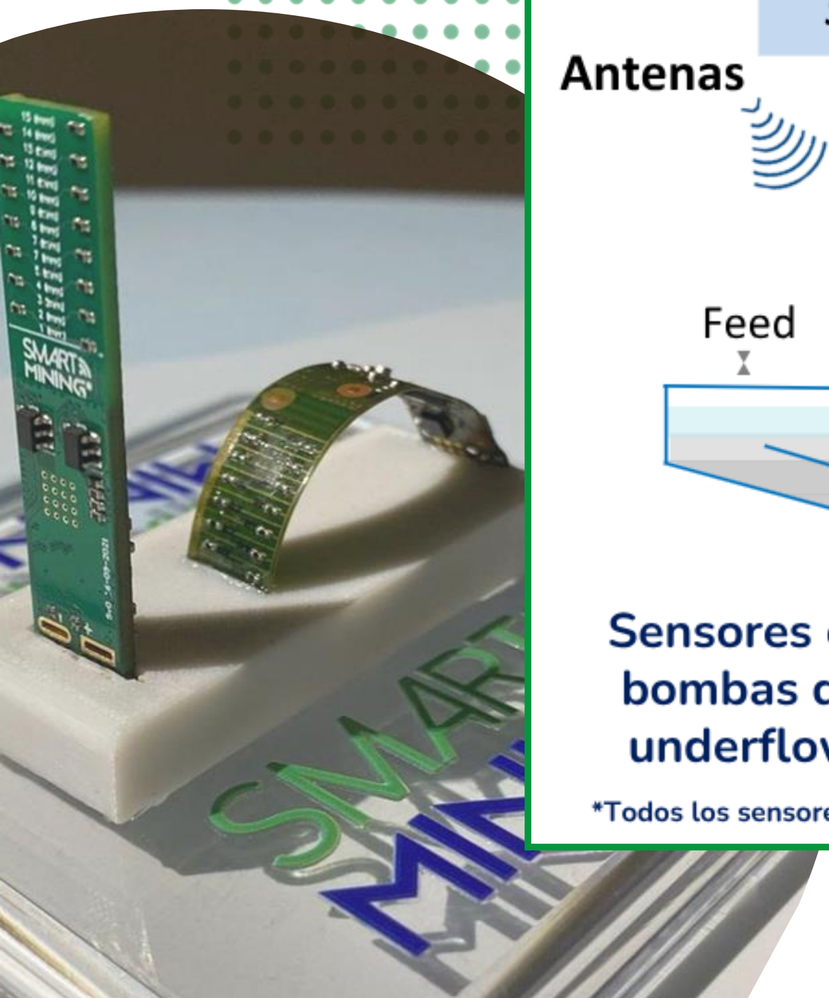


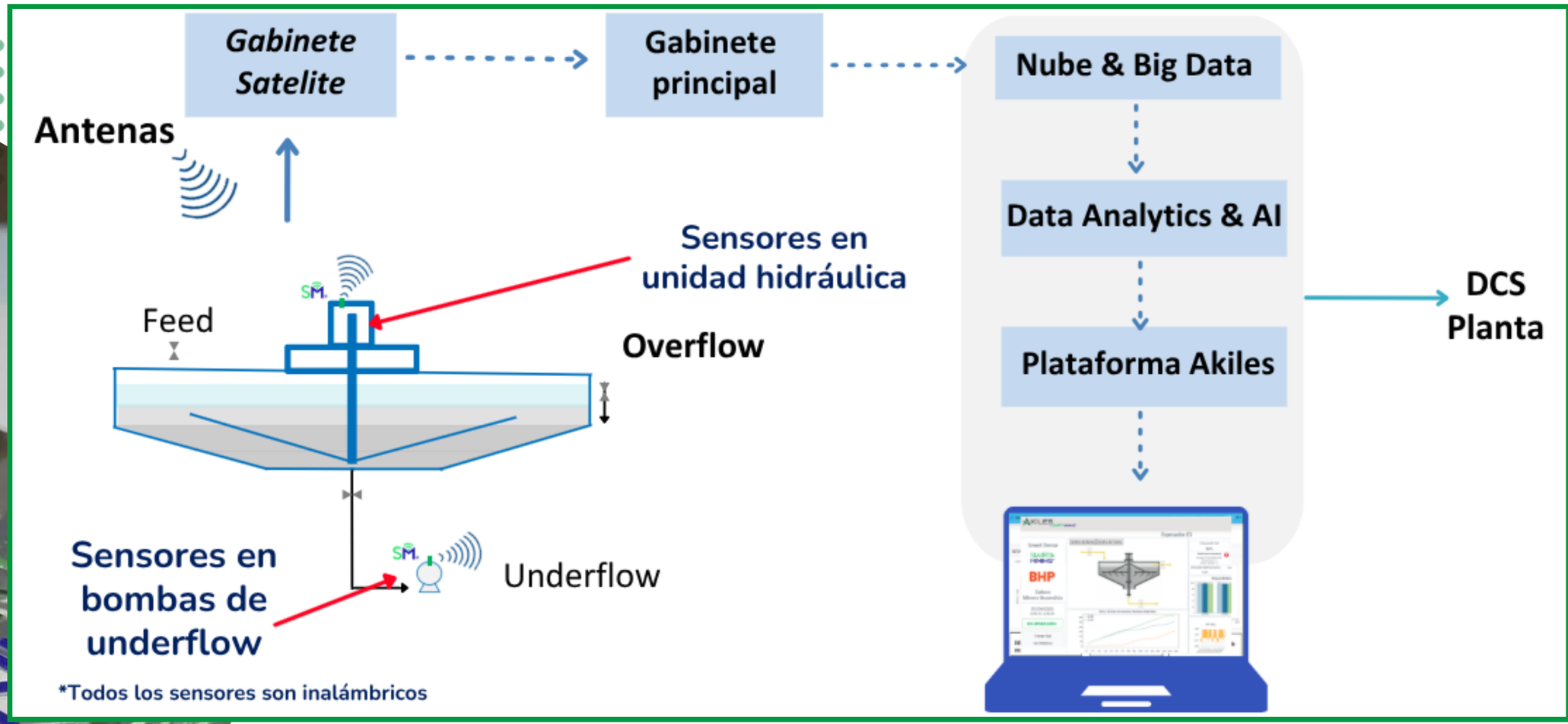
Descenso y posterior aumento abrupto en el torque.

- Baja el torque cuando la rastra pierde contacto con el material o cuando se forma un canal
- Sube bruscamente cuando vuelve a empujar la cama acumulada.

Hay una caída abrupta y profunda en la presión de cama en junio, que llega incluso a valores cercanos a cero.
Este comportamiento indica que la cama de sólidos colapsa o pierde su soporte, típico cuando se forma un embanque y se drena repentinamente.

AlloT en Espesador



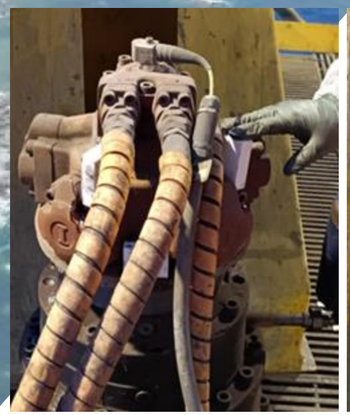


AlloT en Espesador

Unidad Hidráulica

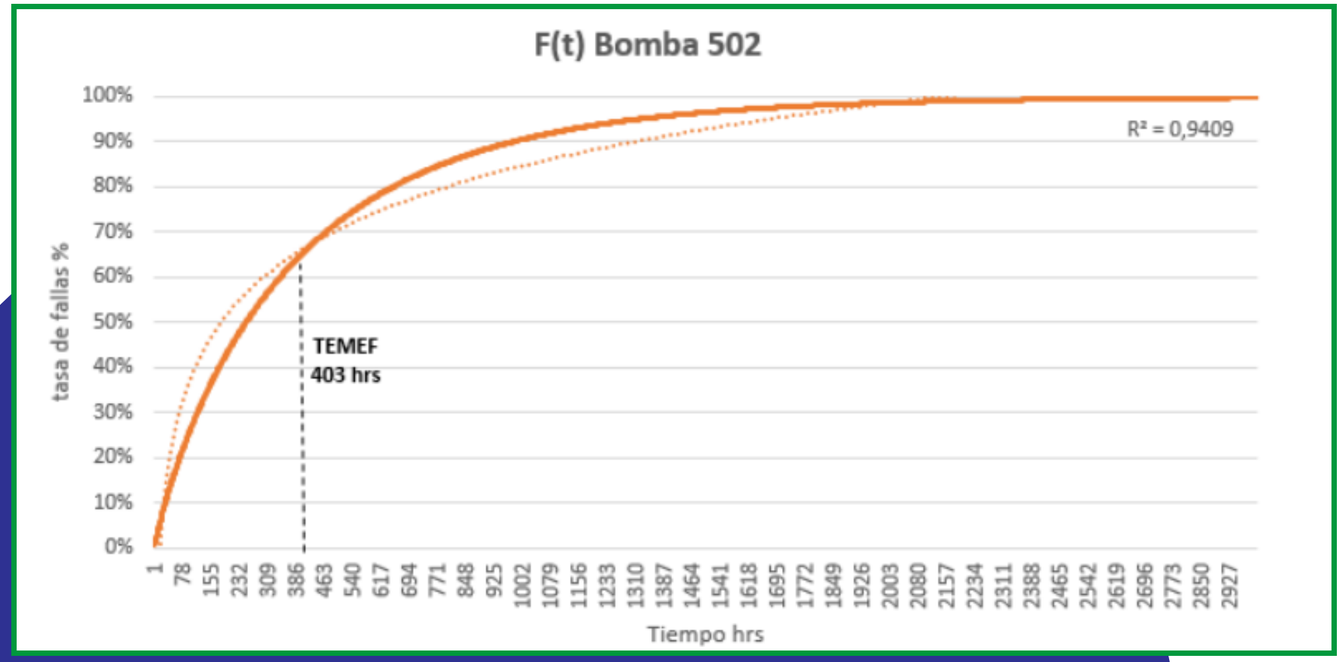
Zona Underflow

Rastra



Sistema de comunicación

Analítica Avanzada y Modelos Predictivos



Análisis de Confiabilidad (Weibull): Aplicado a los datos de utilización de las bombas para estimar MTBF y establecer ventanas de mantenimiento preventivo.

ML: Desarrollo de modelos para la detección automática de anomalías y tendencias de falla a partir de la correlación de datos de vibración/proceso.

Objetivo: Pasar de la estimación teórica de mantenimiento a la planificación basada en la condición real del equipo.

Analítica Avanzada y Modelos Predictivos

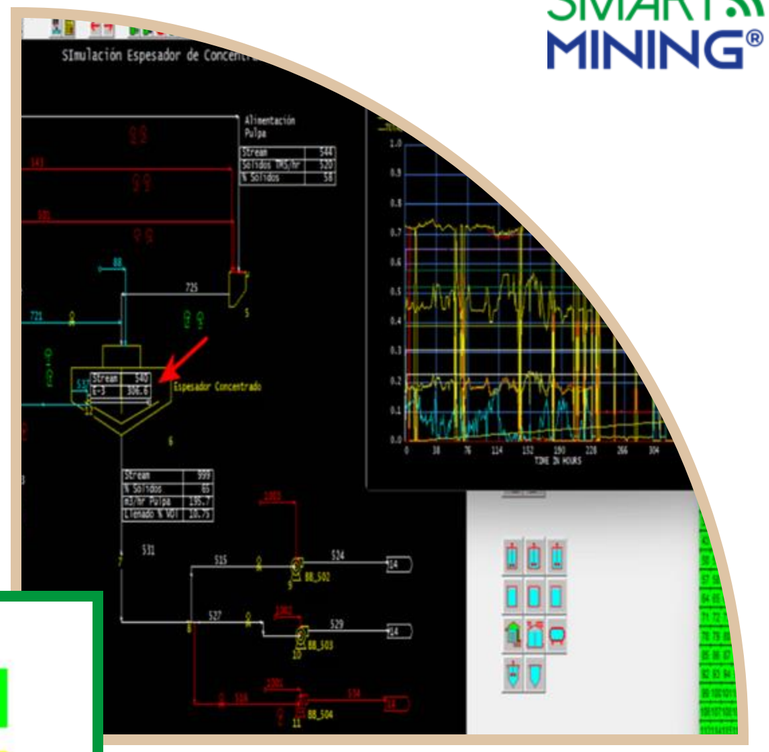
1. Validación de los modelos simulados
2. Concordancia entre los valores simulados y los datos reales de operación
3. Establecimiento de escenarios de operación

SMART MINING®

Escenarios Operacionales

Tomar decisiones de acuerdo al estado que se encuentra cada bomba

- Aumento Bajo Controlado
- Aumento Moderado
- Máximo Seguro



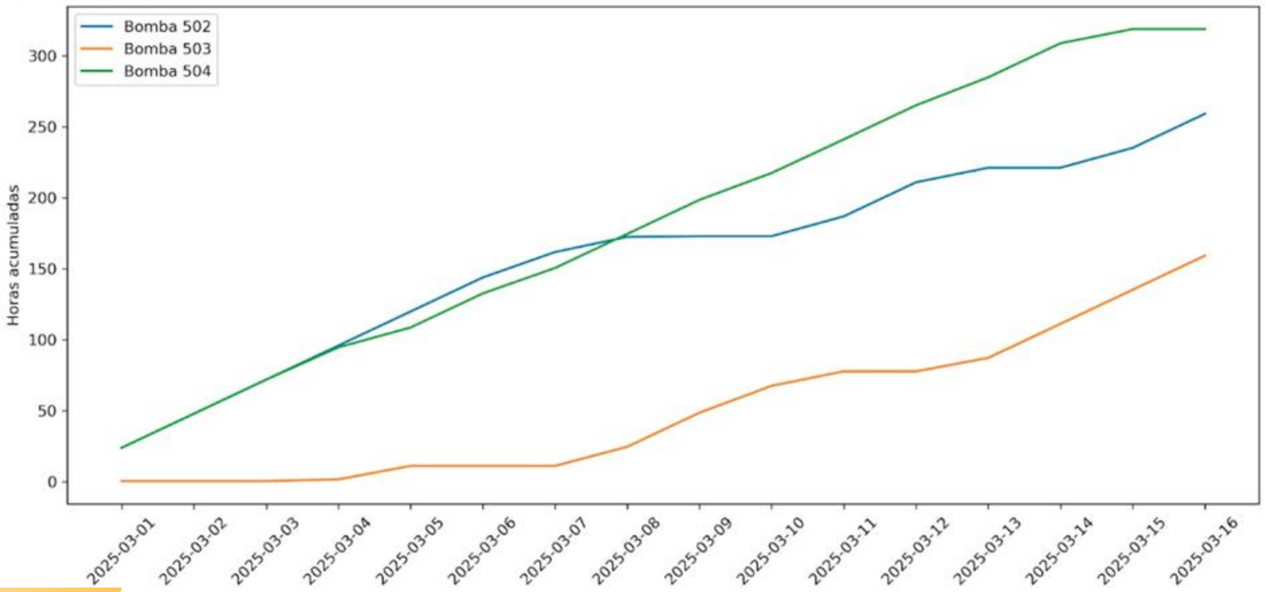
Modelo Predictivo BomBa 503

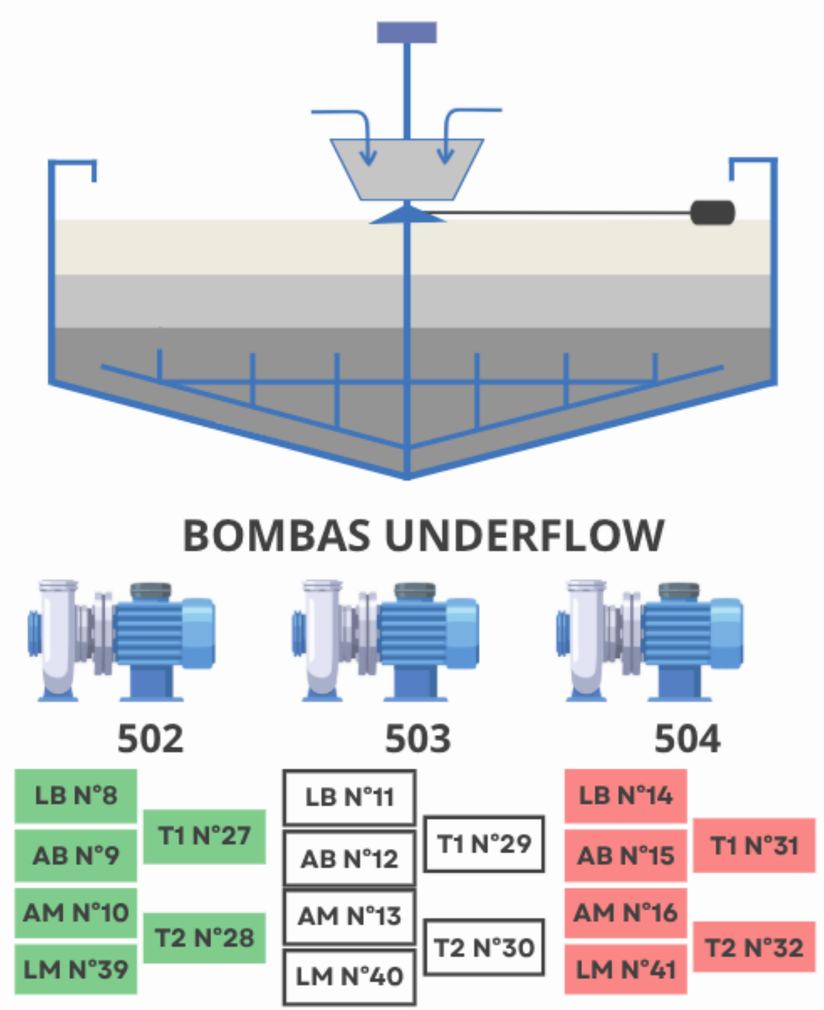
TMS acumulado		SAME
Eta Vida útil Weibull	η0	351
Tasa de desgaste Real	D0	1.69E-08
Toneladas METSIM TMS/hr	Q(t)	126.0
Tonelaje real TMS/hr	Q0	187.9
%solidos METSIM	S(t)	98.41
%SolidosReal	So	72.40
factor tonelaje	α	1.2
factor solidos	β	1.5
D(t)	1.66E-08	
esgaste Relativo	0.98	
IM (hr)	η (τ)	357.9
	η0	351.0
	γ	0.72
	WEIBULL	0.99
		37.3 %
		62.7 %

- Alta Carga
- Máxima Carga
- Alta Descarga con Igual Alimentación

Análisis de datos de sensores

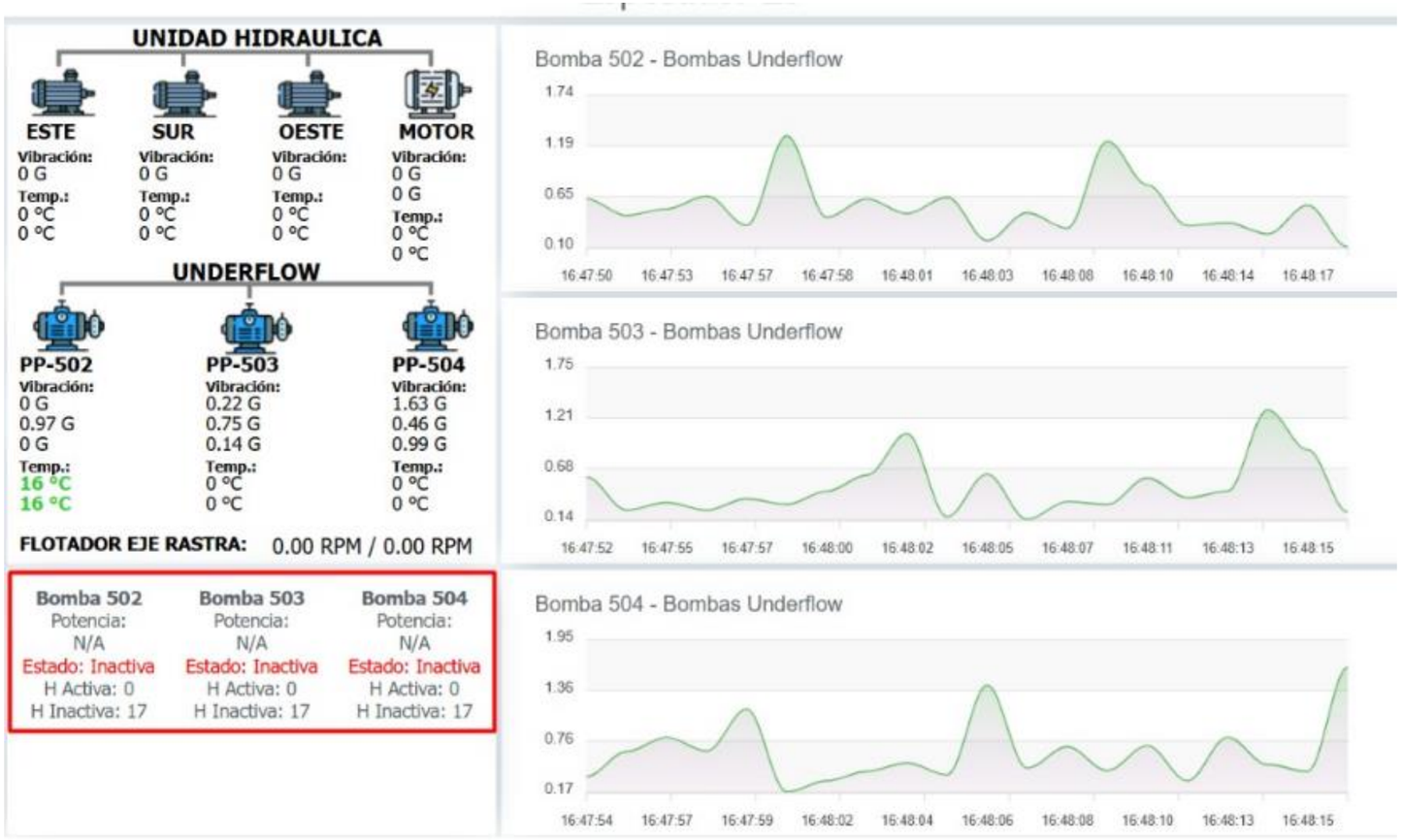
Número de horas por cada bomba



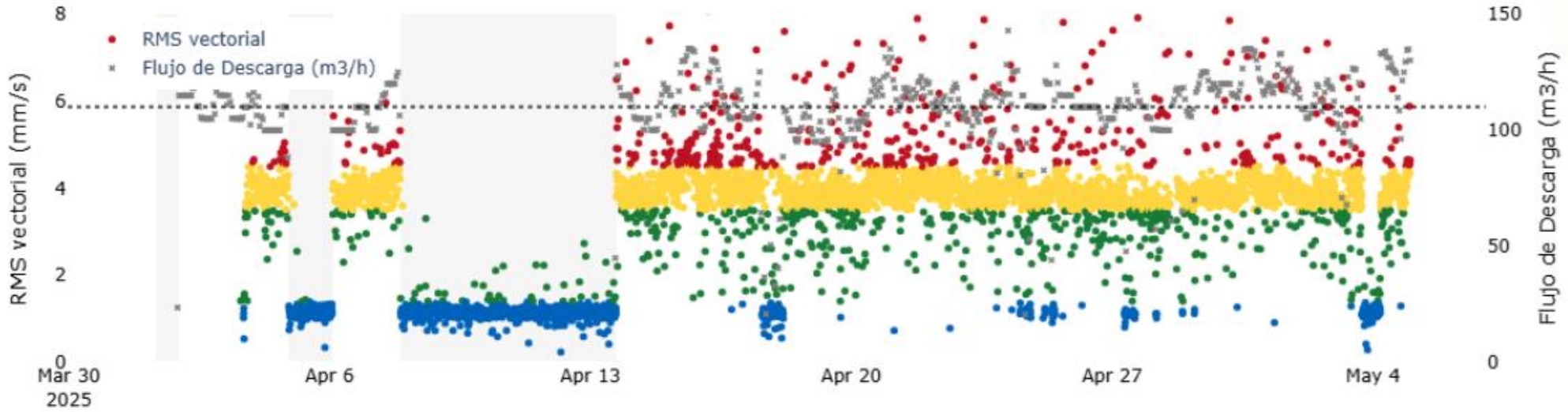


Detección Automática de Estado y Utilización

La vibración proporciona una métrica de utilización más robusta que los registros de flujo, crucial para un cálculo preciso del MTBF y el balance de desgaste.



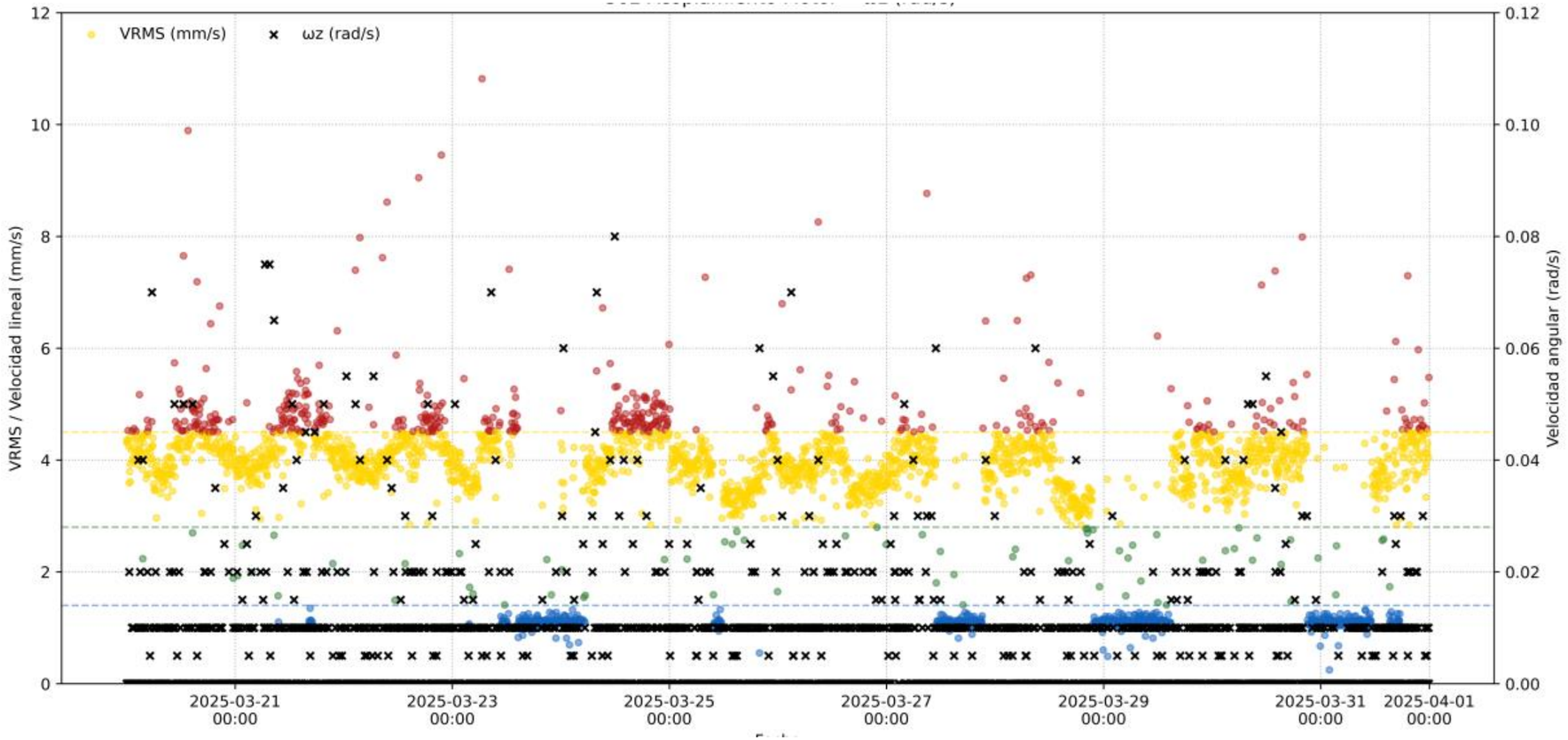
Correlación Vibración-Flujo (Validación del Sensor)



- Alta correlación entre el nivel de Vibración RMS y el Flujo de Descarga

- Reportes automáticos de Utilización Diarios/Mensuales, sin depender de registros manuales

Análisis de Severidad de Vibración (ISO 20816-3)



- velocidad RMS y la componente ωz de la velocidad angular
- El aumento de ωz indica un posible desalineamiento en el acoplamiento motor-polea.
- Análisis predictivo en Akiles, integrando tendencias temporales y umbrales normativos para generar alertas tempranas.

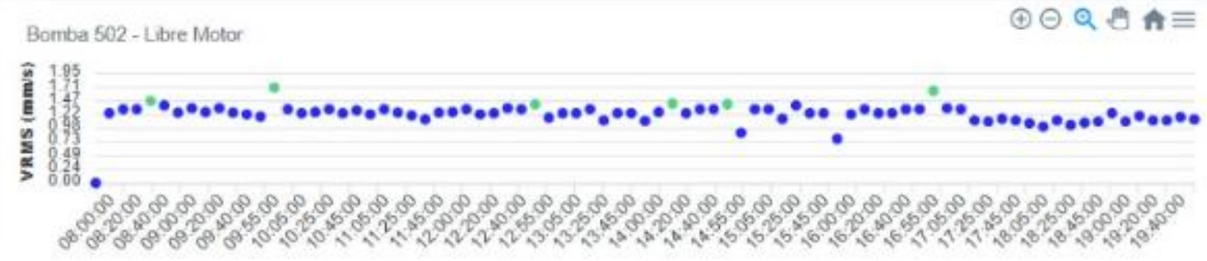
Visualización de vibración RMS

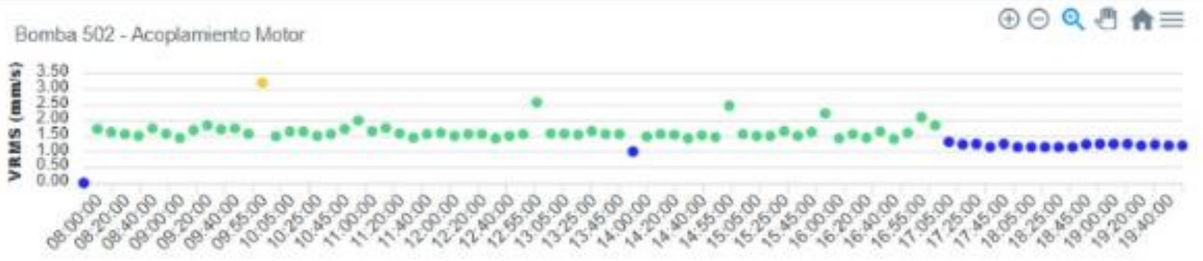
- Seguimiento en tiempo real
- Toma de decisiones
- Reportes y alertas automáticos

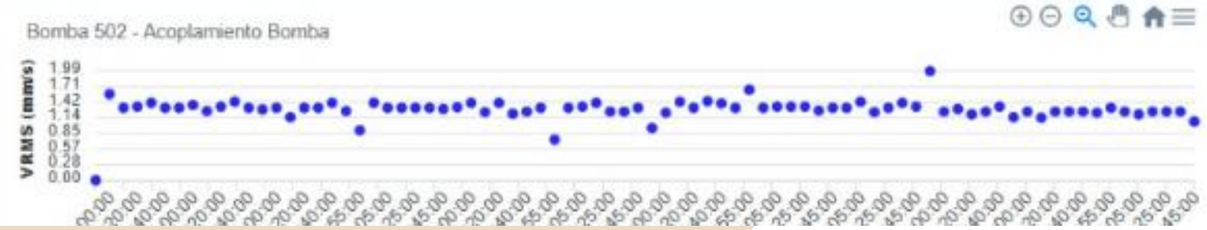
Gráficos generados con los datos enviados por los sensores durante las últimas 12 horas desde la fecha de filtro, calculando la mediana del VRMS para Análisis Vibracional bal

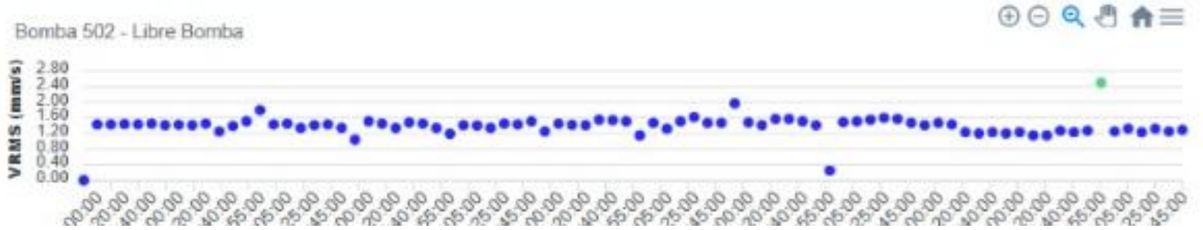
Definición de zonas gráfico: Zona Azul: Puesta en operación recientemente. / **Zona Verde:** Condición Optima. / **Zona Amarilla:** Operación por periodos cortos, limites permisibles. / **Zona Roja**

Bomba 502 | Bomba 503 | Bomba 504









Transformación del Monitoreo

IIoT y Analítica para una Gestión Predictiva y Confiable

TRANSFORMACIÓN OPERACIONAL Y PROACTIVIDAD

Gestión Predictiva: Transición de monitoreo reactivo a proactivo .
La Plataforma Akiles consolida la data para la detección temprana de desviaciones y la configuración de alertas dinámicas

OPTIMIZACIÓN DE CONFIABILIDAD Y RIESGO

El análisis Weibull estableció un MTBF, creando una base para la planificación predictiva del mantenimiento.
Se reduce el riesgo de embancamiento al correlacionar la vibración con la presión de cama (basado en ISO 20816-3).

REGISTRO Y ANÁLISIS DE DATOS

La alta correlación Vibración-Flujo valida la señal del sensor como un indicador del estado operativo de la bomba.
Se habilita la generación automática de reportes de utilización, eliminando la dependencia de registros manuales.

Agradecimientos

Dra. Catalina Urrejola Mora
Líder de Modelamiento e I+D

Carrillo Alvarez
CEO

Valeria Niño Rubliar,
Líder de Desarrollo

Solange Pérez
Head of Transformation de
BHP

XXXVI Convención internacional de Minería Acapulco 2025

SMART MINING®

Impulsando la *Inteligencia Operativa* del Futuro

MUCHAS GRACIAS

Dra. Catalina Urrejola

catalina@smartmining.com

Carlos Carrillo

carlos@smartmining.com