

CMC COLOMBIA 2026



Sesión

BRÚJULA

1



BRÚJULA SESIÓN 22



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
COLOMBIA

3^a
EDICIÓN



**Quando lo secundario
condiciona el sistema:
Redefinición de criticidad
de activos**

Romer Vera Bonilla

Coordinador de Confiabilidad

2

Redefiniendo la confiabilidad de activos vibratorios críticos

Modelo dinámico integral aplicado a zarandas del tren SAG

SITUACION ACTUAL - ANTES DE LA SOLUCION

Antes: monitoreo limitado, fallas recurrentes e impacto operativo significativo

40.89 h
Indisponibilidad del tren de molienda
Ene - May 2023

3,475,650 toneladas
Throughput asociado

USD 5,969,940
Impacto económico estimado

85,000 t/h
Capacidad aproximada del tren SAG



Intermitencia de señal y pérdida de datos críticos



Baja capacidad de detección de desviaciones incipientes



Enfoque reactivo y mantenimiento correctivo



Impacto directo en disponibilidad, producción y costos operativos

3

¿POR QUÉ SEGUÍAN OCURRIENDO FALLAS IMPREVISTAS?



4

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA MONITOREO POR CONDICIÓN



ANÁLISIS COMPARATIVO DE OPCIONES EVALUADAS

CRITERIO	1. CAMBIO DE CANALIZACIONES (TUBERÍAS RÍGIDAS Y FLEXIBLES)	2. SISTEMA INALÁMBRICO DEL FABRICANTE	3. TOMA DE MUESTRA DE ACEITE	4. VENTANAS DE INSPECCIÓN PARA TERMOGRAFÍA A EXCITADORES	5. INSTALACIÓN DE SENSORES INALÁMBRICOS (DYNAMOX)
1. CAMBIO DE CANALIZACIONES (TUBERÍAS RÍGIDAS Y FLEXIBLES)					
COSTO	● BAJO	● ALTO	● BAJO	● BAJO - MEDIO	● BAJO
IMPACTO EN IMPLEMENTACIÓN (PARADAS)	● REQUIERE PARADA	● REQUIERE PARADA	● REQUIERE PARADA	● REQUIERE PARADA	● SIN PARADAS MAYORES
CONFIABILIDAD Y EFECTIVIDAD	● BAJA	● BAJA	● MEDIA	● BAJA - MEDIA	● ALTA
LIMITACIONES PRINCIPALES	● DESCARTADA	● DESCARTADA	● POCO EFECTIVA	● POCO EFECTIVA	● SIN LIMITACIONES CRÍTICAS
CONCLUSIÓN	● DESCARTADA	● DESCARTADA	● POCO EFECTIVA	● POCO EFECTIVA	✓ OPCIÓN SELECCIONADA

La vibración global indicaba que existía un problema.
El modelo dinámico permitió entender dónde se originaba y cómo evolucionaba.

5

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA MONITOREO POR CONDICIÓN



PUNTOS TÍPICOS DE MONITOREO	MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN / CAUSAS PRINCIPALES	SEÑALES DETECTABLES CON SENSORES DYNAMOX (A-T)	ANÁLISIS ESPECTRAL EN PLATAFORMA (DIAGNÓSTICO)	COBERTURA
 1. Excitador - Rodamiento Lado Polea (DE) 2. Excitador - Rodamiento Lado Opuesto (NDE) 3. Caja de engranajes del excitador 4. Estructura / Placas laterales / Traviesas 5. Rodamientos motores Lado DE y NDE	1. GRIETA ESTRUCTURAL	Fatiga por vibración, esfuerzos cíclicos e impacto del material. Inicia en soldaduras, traviesas, placas laterales o soportes.	• Aumento de vibración global • Incremento de impactos (alta frecuencia) • Cambios en la firma dinámica • Posibles cambios de resonancia	 Indicadores: • Picos en alta frecuencia • Cambios en bandas anchas • Aparición de nuevas frecuencias naturales	PARCIAL (detección indirecta)
	2. DAÑO DE RODAMIENTOS DEL EXCITADOR	Fatiga, lubricación deficiente, contaminación, desalineación o cargas excesivas.	• Aumento de envolvente (GE) • Incremento de alta frecuencia • Aumento de temperatura • Tendencia creciente	 Indicadores: • Frecuencias características: BPFO, BPFI, BSF, TTF • Armónicos y bandas laterales • Aumento de energía en alta frecuencia	MUY ALTA
	3. DAÑO DE ENGRANAJES	Desgaste, picaduras (pitting), desalineación, lubricación inadecuada o sobrecarga.	• Incremento en vibración en frecuencias de engrane • Armónicos y bandas laterales • Aumento de temperatura	 Indicadores: • Pico en GMF (Gear Mesh Frequency) • Bandas laterales simétricas • Armónicos de GMF	ALTA
	4. AFLOJAMIENTO ESTRUCTURAL	Pérdida de torque en pernos, uniones y soportes por vibración e impactos.	• Aumento de vibración global • Incremento de impactos (modulación) • Cambios en patrones de fase	 Indicadores: • Aumento en banda ancha • Picos a múltiplos de la frecuencia de excitación (1X, 2X, 3X, ...) • Incremento de ruido estructural	ALTA
	5. RESORTES FATIGADOS / FRACTURADOS	Fatiga por vibración permanente, corrosión o sobrecarga que genera pérdida de rigidez.	• Cambio en amplitud global • Variación en 1X y 2X • Desbalance en el movimiento vertical	 Indicadores: • Cambio en 1X (vertical) • Aumento de 2X • Desbalance entre ejes	MEDIA
	6. DESBALANCE DINÁMICO	Acumulación desigual de material, pérdida de contrapeso o desgaste asimétrico.	• Aumento significativo en 1X • Fase estable del 1X • Baja variación en altas frecuencias	 Indicadores: • Pico dominante en 1X RPM • Fase consistente • Poca energía en alta frecuencia	MUY ALTA

La vibración global indicaba que existía un problema.
El modelo dinámico permitió entender dónde se originaba y cómo evolucionaba.

6

DEL MONITOREO TRADICIONAL AL MONITOREO DINÁMICO



La vibración global indicaba que existía un problema.
El modelo dinámico permitió entender dónde se originaba y cómo evolucionaba.

7

LOS CUATRO PILARES DE LA TRANSFORMACIÓN

Un modelo integral que transforma datos en decisiones y confiabilidad operacional.

MODELO DINÁMICO

Comprendemos el comportamiento dinámico de la zaranda a través de múltiples variables y análisis avanzados.

CRITICIDAD

Entendemos el impacto del activo en el proceso para enfocar esfuerzos en lo que realmente importa.

ANALÍTICA PREDICTIVA

Convertimos datos en información accionable para anticiparnos a las fallas y optimizar el desempeño.

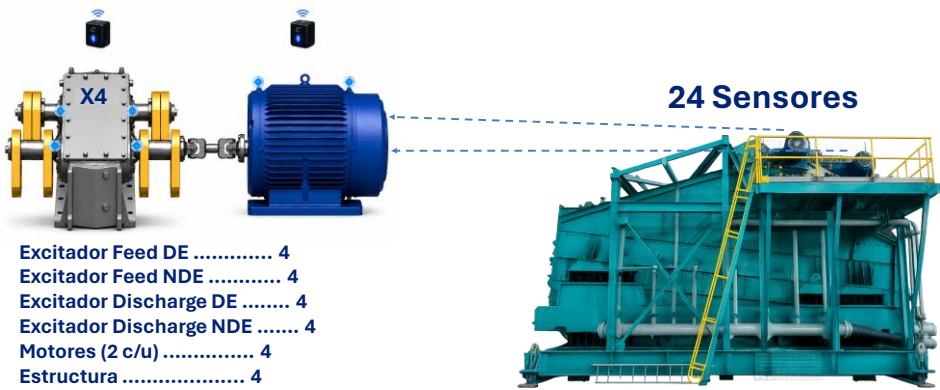
INTEGRACIÓN OPERACIONAL

Integramos la información al proceso de mantenimiento y operaciones para tomar decisiones oportunas y efectivas.

La tecnología fue el habilitador. El valor surgió de integrar criticidad, entendimiento dinámico, analítica y gestión operacional.

8

ARQUITECTURA DE SENSORES



Arquitectura escalable y segura

Datos confiables y de alta calidad

Comunicación robusta en ambientes industriales

Información en tiempo real para decisiones oportunas

Mayor confiabilidad, disponibilidad y rendimiento del activo

9

ARQUITECTURA IMPLEMENTADA



Arquitectura escalable y segura

Datos confiables y de alta calidad

Comunicación robusta en ambientes industriales

Información en tiempo real para decisiones oportunas

Mayor confiabilidad, disponibilidad y rendimiento del activo

10

¿QUÉ NOS REVELAN LAS ÓRBITAS DE UNA ZARANDA?



FALLAS DETECTABLES TEMPRANAMENTE

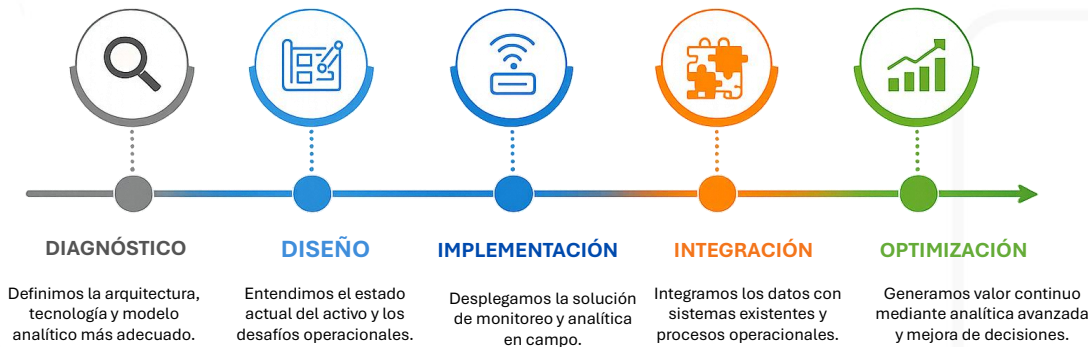
- FATIGA ESTRUCTURAL**
Indicadores tempranos de debilitamiento del deck o bastidor.
- PÉRDIDA DE SINCRONIZACIÓN DE EXCITADORES**
Diferencias en fase y amplitud entre lados.
- DESGASTE O FALLA DE RESORTES**
Cambios en rigidez y altura dinámica.
- TORSIÓN DEL DECK**
Desviaciones de ángulo entre alimentación y descarga.
- AFOJAMIENTO ESTRUCTURAL**
Variaciones en la órbita por holguras mecánicas.
- PÉRDIDA DE EFICIENCIA DE CLASIFICACIÓN**
Desbalance dinámico que impacta el desempeño de la zaranda.



Mientras la vibración global indica que existe un problema, las órbitas ayudan a entender **dónde se origina y cómo evoluciona**.

11

LINEA DE TIEMPO DEL PROYECTO



UN VIAJE DE TRANSFORMACIÓN CONTINUA

Cada etapa construye sobre la anterior para generar impacto sostenible en la confiabilidad y el desempeño.



12

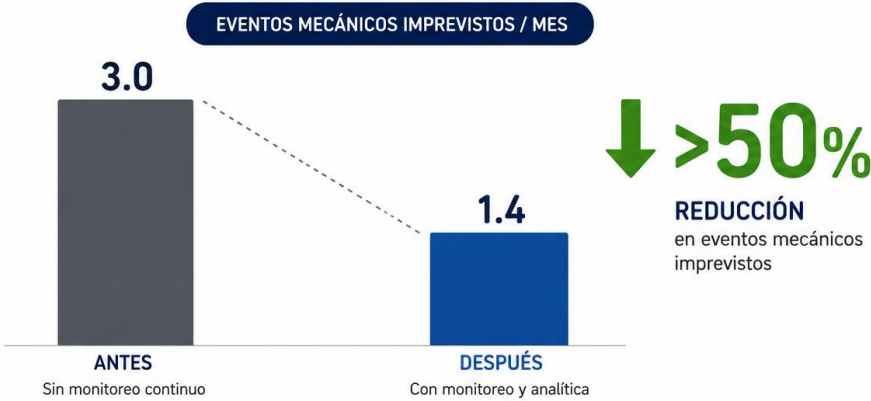
BENEFICIOS OPERACIONALES



 **Decisiones basadas en datos, resultados medibles y operación más confiable.**

13

RESULTADOS TÉCNICOS



14

CASO DE NEGOCIO Y RETORNO DE INVERSIÓN



La reducción de eventos mecánicos imprevistos transformó una inversión de USD 100,000 en una oportunidad de generar más de USD 1.7 MILLONES anuales en valor potencial.

15

APRENDIZAJES CLAVE



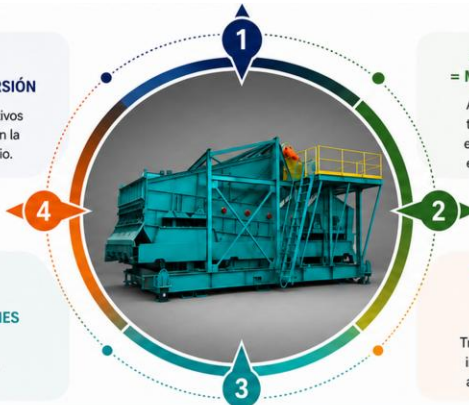
1. LA CRITICIDAD REDEFINE LA INVERSIÓN

Enfocar recursos en activos que realmente impactan la confiabilidad y el negocio.



3. ALARMAS INTELIGENTES MEJORAN DECISIONES

Menos falsas alarmas, más contexto, mejores intervenciones.



2. MÁS VARIABLES = MEJOR DIAGNÓSTICO

Aceleración triaxial + temperatura + análisis espectral para entender el comportamiento real.



4. CONFIABILIDAD DEBE HABLAR EN DÓLARES

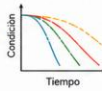
Traducir la confiabilidad en impacto económico para asegurar sostenibilidad.



5. LO HUBIERA HECHO DIFERENTE: MEZCLA DE MODOS DE FALLA + CURVA P-F = ESTRATEGIA ÓPTIMA



Mezcla de modos de falla por activo
Cada activo combina distintos mecanismos de deterioro.



Curva P-F por modo de falla
La evolución cambia según el mecanismo y el activo.



Frecuencia de monitoreo
Basada en la velocidad de deterioro (P-F) de cada modo.



Selección de técnicas de detección
Elegir la técnica adecuada según el modo de falla y su etapa.

16

APLICABILIDAD

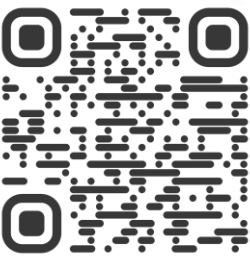


Cualquier **activo vibratorio crítico** puede beneficiarse de este enfoque

17

SESIÓN 22

**ESCANEA EL
CÓDIGO QR**



**RESPONDE UNA
BREVE ENCUESTA**



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
COLOMBIA

3^a
EDICIÓN

¡GRACIAS!

Romer Vera Bonilla

romerverabonilla@gmail.com

18