

# CMC MÉXICO 2026



Sesión

## BRÚJULA

1



**BRÚJULA** SESIÓN 23



CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
M É X I C O

**19<sup>a</sup>**  
EDICIÓN



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

**Romer Vera Bonilla**  
Coordinador de Confiabilidad

2

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

*Evaluación de un activo crítico cuya falla imprevista detiene el proceso y genera impactos operativos y económicos significativos.*

### ❌ ¿DÓNDE ESTÁBAMOS?

Situación actual antes de la solución



**Monitoreo limitado e intermitente**  
Pérdida de datos críticos y visibilidad incompleta del comportamiento dinámico.



**Baja capacidad de detección temprana**  
Desviaciones incipientes no identificadas a tiempo.



**Enfoque reactivo y correctivo**  
Decisiones basadas en síntomas, no en causa ni en predicción.



**Impacto directo en la operación**  
Mayor indisponibilidad, pérdidas de producción y altos costos operativos.



### ✅ ¿HACIA DÓNDE NOS MOVEMOS?

Con este caso de éxito



**Visibilidad continua y confiable**  
Monitoreo permanente del comportamiento dinámico en tiempo real.



**Detección temprana y accionable**  
Identificamos desviaciones incipientes y entendemos su evolución para actuar a tiempo.



**Decisiones predictivas y planificadas**  
Analítica avanzada que transforma datos en acciones oportunas.

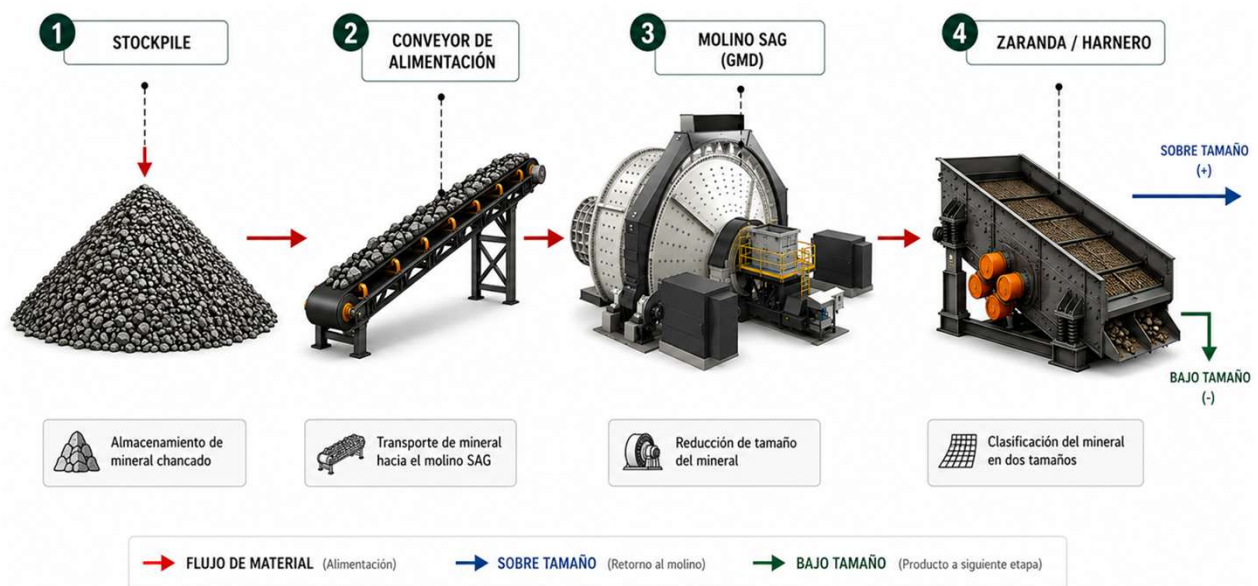


**Mayor confiabilidad y valor operacional**  
Reducción de fallas imprevistas, mayor disponibilidad, producción y retorno de inversión.

**TRANSFORMAR UN ESCENARIO DE FALLAS RECURRENTES E INCERTIDUMBRE EN UNO DE CONFIABILIDAD, PREDICTIBILIDAD Y VALOR SOSTENIBLE**

3

## DIAGRAMA DE FLUJO - CIRCUITO DE PROCESAMIENTO DESDE STOCKPILE HASTA ZARANDA



4

# Redefiniendo la confiabilidad de activos vibratorios críticos

Modelo dinámico integral aplicado a zarandas del tren SAG

SITUACIÓN ACTUAL - ANTES DE LA SOLUCIÓN

PUBLIC

**Antes: monitoreo limitado, fallas recurrentes e impacto operativo significativo**

-  **40.89 h**  
Indisponibilidad del tren de molenda  
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

5

## MISMO MECANISMO DE FALLA - DIFERENTE EVOLUCION ( INTERVALO P-F)

*La detección temprana no significa el mismo tiempo disponible para actuar*

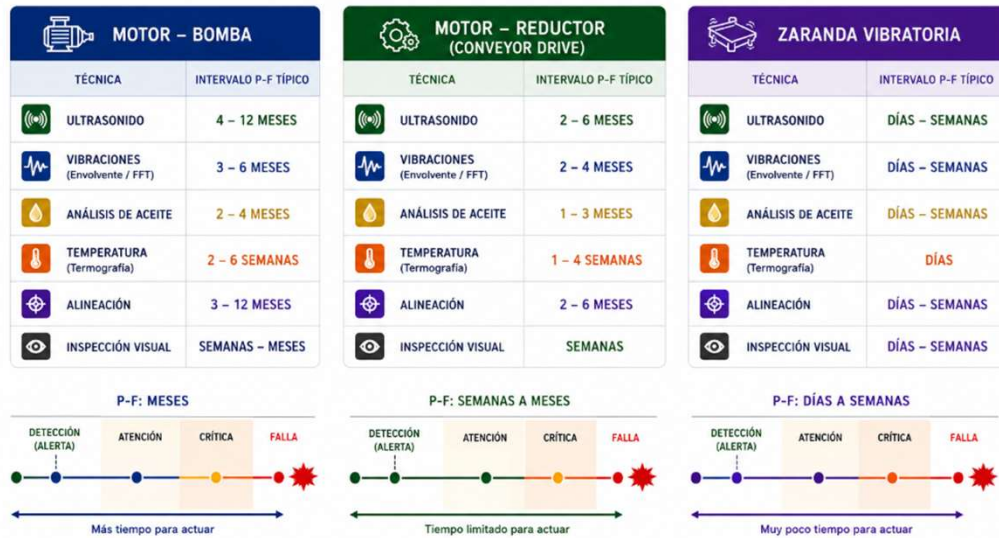


**MISMA ALERTA, DIFERENTE TIEMPO PARA ACTUAR. EN ZARANDAS, EL TIEMPO ES CRÍTICO.**

6

## MISMO MECANISMO DE FALLA - DIFERENTE EVOLUCIÓN ( INTERVALO P-F)

*La detección temprana no significa el mismo tiempo disponible para actuar*



MISMA ALERTA, DIFERENTE TIEMPO PARA ACTUAR. **EN ZARANDAS, EL TIEMPO ES CRÍTICO.**

7

## ¿POR QUÉ SEGUÍAN OCURRIENDO FALLAS IMPREVISTAS?



CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 19ª EDICIÓN



8

## 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.

9

## 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)                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                         |                  |                  |                  |                 |                            |
|  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.

10

# 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                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <p>1. Excitador - Rodamiento Lado Polea (DE)<br/>2. Excitador - Rodamiento Lado Opuesto (NDE)<br/>3. Caja de engranajes del excitador<br/>4. Estructura / Placas laterales / Travesaños<br/>5. Rodamientos motores Lado DE y NDE</p> <p>  Aceleración triaxial (X, Y, Z)<br/>  Temperatura<br/>  Comunicación inalámbrica<br/>  Batería de larga duración<br/>  Alta frecuencia (3 Hz - 13 kHz)         </p> |               | <b>1. GRIETA ESTRUCTURAL</b><br>Fatiga por vibración, esfuerzos cíclicos e impactos del material. Inicia en soldaduras, travesaños, placas laterales o soportes. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de vibración global</li> <li>Incremento de impactos (alta frecuencia)</li> <li>Cambios en la firma dinámica</li> <li>Posibles cambios de resonancia</li> </ul> | <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Picos en alta frecuencia</li> <li>Cambios en bandas anchas</li> <li>Aparición de nuevas frecuencias naturales</li> </ul>                               | <b>PARCIAL</b><br>(detección indirecta) |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |               | <b>2. DAÑO DE RODAMIENTOS DEL EXCITADOR</b><br>Fatiga, lubricación deficiente, contaminación, desalineación o cargas excesivas.                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de envolvente (gE)</li> <li>Incremento de alta frecuencia</li> <li>Aumento de temperatura</li> <li>Tendencia creciente</li> </ul>                              | <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Frecuencias características: BPF0, BPF1, BSF, FTF</li> <li>Armónicos y bandas laterales</li> <li>Aumento de energía en alta frecuencia</li> </ul>      | <b>MUY ALTA</b>                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |               | <b>3. DAÑO DE ENGRANAJES</b><br>Desgaste, picaduras (pitting), desalineación, lubricación inadecuada o sobrecarga.                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento en vibración en frecuencias de engrane</li> <li>Armónicos y bandas laterales</li> <li>Aumento de temperatura</li> </ul>                                     | <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pico en GMF (Gear Mesh Frequency)</li> <li>Bandas laterales simétricas</li> <li>Armónicos de GMF</li> </ul>                                            | <b>ALTA</b>                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |               | <b>4. AFLOJAMIENTO ESTRUCTURAL</b><br>Pérdida de torque en pernos, uniones y soportes por vibración e impactos.                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de vibración global</li> <li>Incremento de impactos (modulación)</li> <li>Cambios en patrones de fase</li> </ul>                                               | <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento en banda ancha</li> <li>Picos a múltiplos de la frecuencia de excitación (1X, 2X, 3X, ...)</li> <li>Incremento de ruido estructural</li> </ul> | <b>ALTA</b>                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |               | <b>5. RESORTES FATIGADOS / FRACTURADOS</b><br>Fatiga por vibración permanente, corrosión o sobrecarga que genera pérdida de rigidez.                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cambios en amplitud global</li> <li>Variación en 1X y 2X</li> <li>Desbalance en el movimiento vertical</li> </ul>                                                      | <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cambios en 1X (vertical)</li> <li>Aumento de 2X</li> <li>Desbalance entre ejes</li> </ul>                                                              | <b>MEDIA</b>                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |               | <b>6. DESBALANCE DINÁMICO</b><br>Acumulación desigual de material, pérdida de contrapesos o desgaste asimétrico.                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento significativo en 1X</li> <li>Fase estable del 1X</li> <li>Baja variación en altas frecuencias</li> </ul>                                                       | <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pico dominante en 1X RPM</li> <li>Fase consistente</li> <li>Poca energía en alta frecuencia</li> </ul>                                                 | <b>MUY ALTA</b>                         |

La vibración global indicaba que existía un problema.

El modelo dinámico permitió entender dónde se originaba y cómo evolucionaba.

11

# 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.

12

## 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.



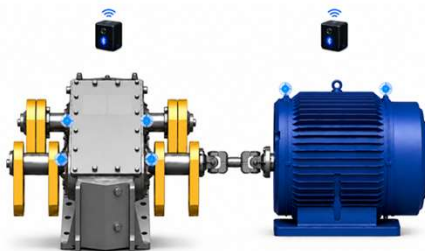
### INTEGRACIÓN OPERACIONAL

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

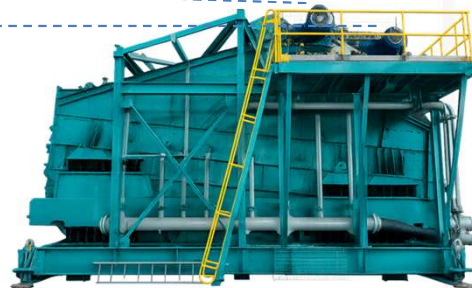
La tecnología fue el habilitador. El valor surgió de integrar criticidad, entendimiento dinámico, analítica y gestión operacional.

13

## ARQUITECTURA DE SENSORES



Excitador Feed DE ..... 4  
Excitador Feed NDE ..... 4  
Excitador Discharge DE ..... 4  
Excitador Discharge NDE ..... 4  
Motores (2 c/u) ..... 4  
Estructura ..... 4



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

14

# ARQUITECTURA IMPLEMENTADA

CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
MÉXICO 19<sup>a</sup>  
EDICIÓN



**SENSORES INALÁMBRICOS**

- Vibración triaxial
- Temperatura
- Salud de rodamientos
- Comportamiento dinámico

**GATEWAY INDUSTRIAL**

- Adquisición de datos
- Procesamiento en el borde
- Comunicación segura
- Conectividad robusta

**DCS**

Integración con el sistema de control para visibilidad en tiempo real.

**HISTORIADOR**

Almacenamiento histórico de datos para análisis y trazabilidad.

**ANALÍTICA**

Modelos avanzados para detección temprana, diagnóstico y predicción de fallas.

**DASHBOARDS Y USUARIOS**

Información clara y accionable para tomar mejores decisiones.

- Operaciones
- Mantenimiento
- Confiabilidad
- Gestión

**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**

15

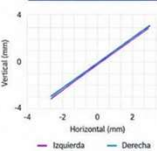
## ¿QUÉ NOS REVELAN LAS ÓRBITAS DE UNA ZARANDA?

CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
COLOMBIA 3<sup>a</sup>  
EDICIÓN

### CONDICIÓN SALUDABLE

Movimiento lineal, simétrico y balanceado

#### ALIMENTACIÓN



| Parámetro       | Izquierda | Derecha |
|-----------------|-----------|---------|
| Stroke (mm)     | 6.32      | 6.39    |
| Ángulo (°)      | 45.33     | 45.69   |
| Aceleración (g) | 2.40      | 2.49    |

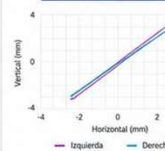
Simetría izquierda-derecha excelente

Stroke uniforme

Ángulo consistente

Aceleración balanceada

#### DESCARGA

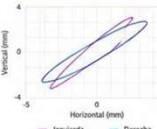


| Parámetro       | Izquierda | Derecha |
|-----------------|-----------|---------|
| Stroke (mm)     | 6.01      | 6.16    |
| Ángulo (°)      | 44.00     | 42.91   |
| Aceleración (g) | 2.35      | 2.43    |

### CONDICIÓN ANÓMALA

Cambios en la órbita indican inicio de desviaciones dinámicas

#### ALIMENTACIÓN



| Parámetro       | Izquierda | Derecha |
|-----------------|-----------|---------|
| Stroke (mm)     | 7.81      | 7.75    |
| Ángulo (°)      | 48.64     | 41.94   |
| Aceleración (g) | 2.87      | 2.90    |

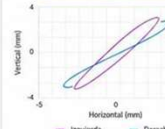
Órbitas elípticas y asimétricas

Aumento de stroke y variación de ángulo

Possible torsión o desbalance

Mayor carga dinámica en la estructura

#### DESCARGA



| Parámetro       | Izquierda | Derecha |
|-----------------|-----------|---------|
| Stroke (mm)     | 7.63      | 8.05    |
| Ángulo (°)      | 51.24     | 42.89   |
| Aceleración (g) | 2.87      | 2.98    |

### 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.

16

## LÍNEA 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.



17

## BENEFICIOS OPERACIONALES



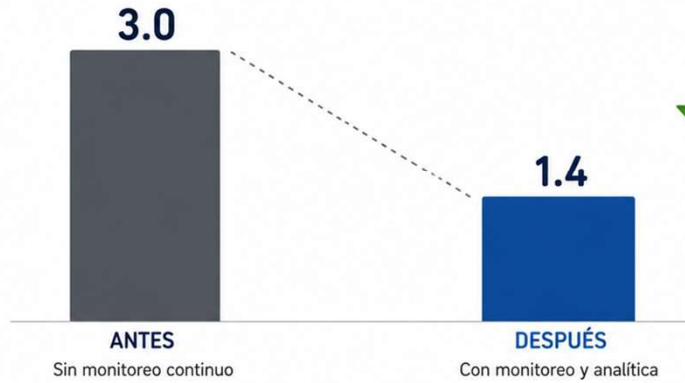
Decisiones basadas en datos, resultados medibles y operación más confiable.

18

## RESULTADOS TÉCNICOS

CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
MÉXICO 19<sup>a</sup>  
EDICIÓN

### EVENTOS MECÁNICOS IMPREVISTOS / MES



**>50%**

**REDUCCIÓN**  
en eventos mecánicos  
imprevistos



**MENOR EXPOSICIÓN  
AL RIESGO**  
Menos fallas inesperadas  
de alto impacto.



**MAYOR ESTABILIDAD  
OPERACIONAL**  
Operación más confiable  
y consistente.



**MEJOR DESEMPEÑO  
DEL ACTIVO**  
Mayor disponibilidad  
y vida útil.

19

## CASO DE NEGOCIO Y RETORNO DE INVERSIÓN

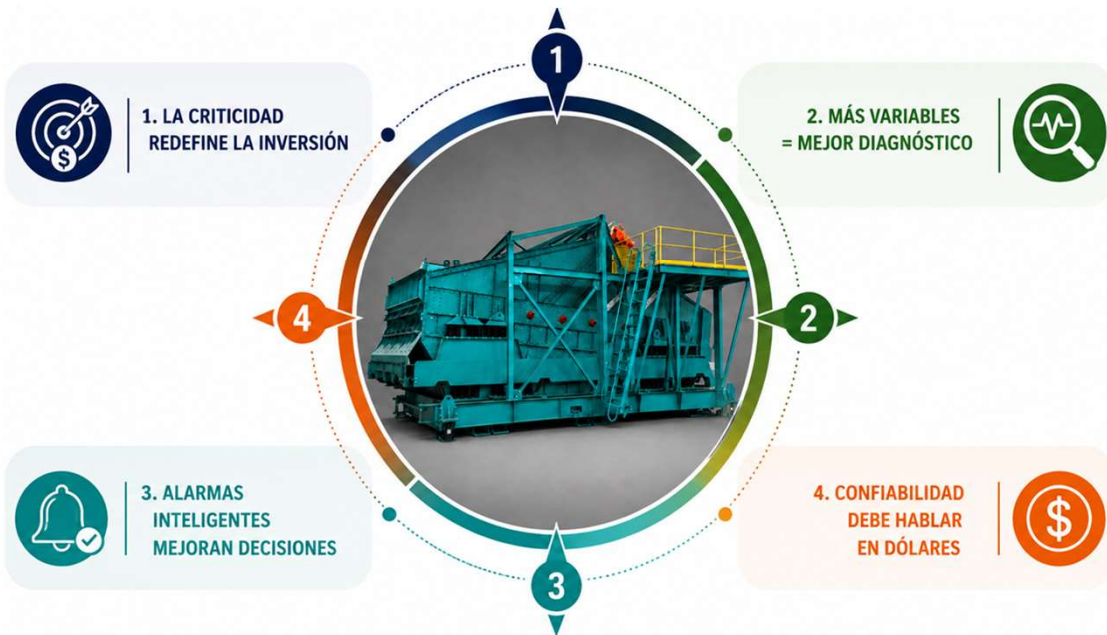
CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
MÉXICO 19<sup>a</sup>  
EDICIÓN



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.

20

## APRENDIZAJES CLAVE



21

## APLICABILIDAD



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

22

CO - PUBLIC

**SESIÓN 23**

**ESCANEA EL CÓDIGO QR**



**RESPONDE UNA BREVE ENCUESTA**

 **CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD M É X I C O** **19<sup>a</sup> EDICIÓN**

# **¡GRACIAS!**

**Romer Vera Bonilla**

[romerverabonilla@gmail.com](mailto:romerverabonilla@gmail.com)