

CMC MÉXICO 2026



Sesión
TOOLBOX

1



TOOLBOX SESIÓN 10



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
M É X I C O

19^a
EDICIÓN



Del umbral al comportamiento

Cómo escalar el monitoreo de condición con
IA explicable sin perder el criterio técnico

Sergio Martin-del-Campo, PhD

Principal Solutions Lead, Viking Analytics

Profesor Titular Adjunto, Luleå University of Technology

2

Cómo funciona esta sesión

10 min

Teoría

Por qué los umbrales fijos dejan de funcionar a gran escala, y las bases de la detección por comportamiento: modos, cambios y síntomas.

60 min

Práctica aplicada

Usted diagnostica tres casos industriales reales y resuelve un reto de priorización, con votación en vivo.

10 min

Conclusiones y preguntas

Aprendizajes, una lista de verificación para su planta y preguntas abiertas.

Tenga su celular a la mano. Votamos cada caso con Mentimeter; sus respuestas guían la discusión.

Antes de empezar: únase a la votación

ENTRE A

menti.com

INGRESE EL CÓDIGO

[XXXX XXXX]

o escanee el código QR que muestra Mentimeter

Calentamiento: dos preguntas rápidas

Encuesta 1a

¿Cuántas alertas de vibración revisa su equipo en una semana típica?

Encuesta 1b

De esas alertas, ¿qué proporción resulta ser un problema real de la máquina?

PARTE 1 · TEORÍA

¿Por qué los umbrales dejan de funcionar?

El modelo tradicional de alarmas se diseñó para decenas de máquinas, no para miles de sensores.

5

El problema de escala, en números

TEORÍA

1,000

sensores en una planta mediana

500

alertas generadas por semana

1–2 min

para revisar cada alerta

40%

del tiempo del analista se va solo en validar alarmas

El costo real no es el tiempo; es la pérdida de sensibilidad.

- Fatiga de alarmas: cuando la mayoría son ruido, el analista deja de confiar en todas.
- Los eventos relevantes se pierden en la fila, y las detecciones llegan tarde o no llegan.
- El tiempo del especialista se va en filtrar datos en lugar de diagnosticar máquinas y gestionar el riesgo de los activos.

6

Cómo se ve la escala en la práctica

TEORÍA

Un despliegue real: tres plantas adoptan monitoreo de condición inalámbrico.

3,000

sensores inalámbricos en 3 plantas

Varios

proveedores y tecnologías de sensores

2

ingenieros para atender todas las alarmas

Su flujo de alarmas, antes del rediseño:

- Todo depende de configurar bien los límites de alarma
- Ajustes manuales frecuentes para mantener límites útiles
- Difícil de estandarizar entre plantas y proveedores
- Basado en la "intuición" del ingeniero, no en reglas consistentes

Las metas que se fijaron:

- Reducir las alertas de 500 a 20 por semana
- Recuperar la inversión en 12 meses

El costo oculto de cada umbral

TEORÍA

Cada límite fijo que configura exige un ciclo completo de trabajo manual:

1

Reunir historial

Datos suficientes por punto para caracterizar lo 'normal'

2

Estudio estadístico

Líneas base, zonas ISO, categorías de máquina

3

Configuración manual

Por tipo de máquina, por punto de medición

4

Reajustar por siempre

Cada cambio operativo invalida los límites

Y aun así falla: velocidades y cargas variables, operación transitoria y múltiples condiciones de operación (típicas del 40–50% de los activos) vencen a los límites fijos.

El cambio: hacer una pregunta distinta

TEORÍA

BASADO EN UMBRALES

“¿Un valor cruzó un límite fijo?”

- Compara contra límites estáticos por punto
- Exige mucha configuración y reajuste constante
- Alarma por magnitud, ciego al contexto
- El ruido crece linealmente con los sensores

BASADO EN COMPORTAMIENTO

“¿La máquina cambió su comportamiento?”

- Aprende los patrones propios de cada máquina desde sus datos
- Sin límites manuales, líneas base ni mapeo ISO
- Señala el cambio significativo, no la magnitud
- Prioridad según el número y peso de los cambios

Por qué ganan las alarmas por comportamiento

TEORÍA

ALARMAS POR LÍMITES

- Difíciles de configurar y exigen reajuste manual constante
- No escalan al crecer el número de máquinas
- Pierden la visión global al enfocarse en límites estáticos
- Provocan fatiga de alarmas y fallas no detectadas

ALARMAS POR COMPORTAMIENTO

- Detección confiable mediante análisis de cambios de comportamiento
- Escalan sin esfuerzo a toda la flota de activos
- Hasta 95% menos falsas alarmas
- Coinciden con cómo piensa el experto sobre la salud de la máquina

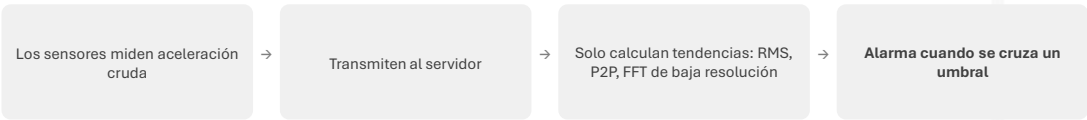
*Las alarmas por límites saturan al analista con datos
Las alarmas por comportamiento dan una visión general confiable.*

Alarmas: tendencia vs. comportamiento

TEORÍA

Mismos sensores, mismos datos crudos; la diferencia es cuánto de la señal se aprovecha.

ALARMAS DE TENDENCIA



ALARMAS POR COMPORTAMIENTO



Las cadenas de evaluación basadas solo en tendencias desechan el detalle (forma del espectro, patrones de la onda) del que dependen la detección por comportamiento y los síntomas.

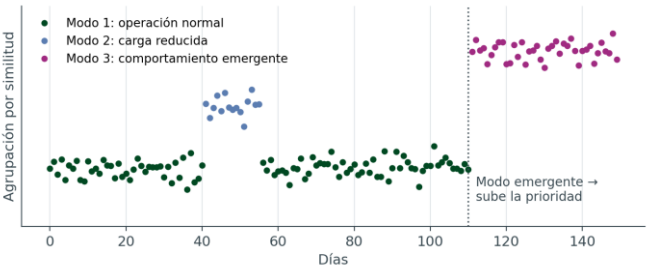


11

De la señal al comportamiento

TEORÍA

- 1 Forma de onda en el tiempo
- 2 Forma del espectro
- 3 Distribución de energía
- 4 Agrupar en modos
- 5 Detectar cambios



Modo = grupo de mediciones con forma de espectro y distribución de energía similares.

Cambios que elevan la prioridad: modo emergente · aumento de RMS dentro de un modo · energía de baja frecuencia · energía de alta frecuencia · salto en RMS · salto en el índice de picos de la envolvente · síntomas

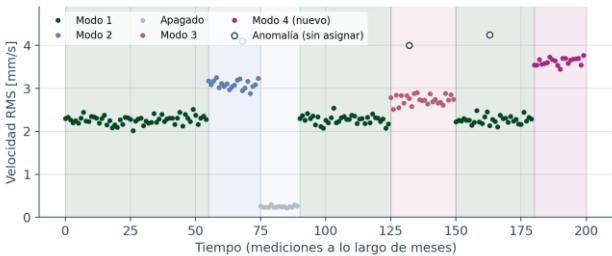


12

Concepto 1: ¿Qué es un modo?

TEORÍA

Un modo es un grupo de mediciones con características similares, en particular en la forma de sus espectros: picos y distribución de energía.



780 mediciones pueden reducirse a 4 modos: se inspecciona una medición representativa por modo en lugar de cientos de puntos.

Modos apagados

Máquina inactiva o sensor sin datos; se detectan automáticamente y se apartan, sin alarmar.

Anomalías

Mediciones que no encajan en ningún modo conocido, marcadas individualmente para revisión.

Por qué importan

Eliminan el ruido: solo se le alerta cuando la propia agrupación cambia.

Concepto 2: Cambios en los modos

TEORÍA

Los modos no son estáticos. Se detectan seis tipos de cambio, cada uno ubicado en la región espectral donde el cambio es mayor:

Modo emergente

Aparece un patrón que no coincide con ningún modo conocido; la máquina se comporta como nunca antes.

Aumento de RMS del modo

El mismo patrón persiste, pero su nivel de energía crece con el tiempo.

Evento de baja frecuencia

Sube la energía en la parte baja del espectro dentro de un modo: transmisión, estructura, desbalance.

Evento de alta frecuencia

Sube la energía en la parte alta del espectro: contacto incipiente en rodamientos, lubricación, fricción.

Salto en RMS

Un cambio súbito de nivel en lugar de una tendencia gradual; suele ser un evento, no desgaste.

Salto en picos de envolvente

Crecimiento súbito de la energía de envolvente asociada a impactos: se desarrolla un impacto repetitivo.

Prioridad = número y peso de los cambios simultáneos, ajustados por similitud con el historial y la retroalimentación del analista.

Concepto 3: Síntomas

TEORÍA

Un síntoma es un patrón específico en la señal de vibración que funciona como huella digital de una posible falla:

Impactos

Golpes repetitivos en la forma de onda: rodamientos, holgura, daño en engranes

Modulación

Bandas laterales y modulación de amplitud: engranaje, jaula del rodamiento, eléctrico

Armónicos

Serie de múltiplos de la velocidad de giro: holgura, desalineación, rozamiento

Picos espectrales

Frecuencias discretas nuevas o crecientes: desbalance, resonancia, tonos de defecto

La IA dirige la atención. El analista decide.

El algoritmo filtra y explica; el juicio mecánico sigue al centro del diagnóstico.



15

Catálogo de síntomas: la forma de onda

TEORÍA

Se detectan en la forma de onda cruda, donde viven los impactos y la asimetría:

Síntoma	Qué muestra la señal	Causas típicas
Impactos	Golpes impulsivos repetidos en la forma de onda	Daño en rodamiento (pista externa), holgura mecánica, impactos por proceso
Modulación	Modulación de amplitud periódica de la forma de onda	Daño en pista interna, interferencia eléctrica, pulsación entre frecuencias cercanas
Asimetría de la onda	Asimetría en la forma de onda sin curtosis alta	Holgura estructural, problema de montaje del sensor



16

Catálogo de síntomas: espectro y envolvente

TEORÍA

Síntoma	Qué muestra la señal	Causas típicas
Haystack	Piso de ruido elevado en altas frecuencias (aceleración)	Problemas de lubricación, carga por proceso
1x dominante	1x de giro mucho más fuerte que sus armónicos	Desbalance, excentricidad, flecha doblada, resonancia
2x dominante	El segundo armónico domina la señal	Desalineación, flecha doblada, problemas de cople/banda
Armónicos altos dominantes	Dominan los armónicos 3x-5x	Rodamiento ladeado, holgura rotativa, impulsor, desgaste de cople
2x frec. de línea dominante	Componente fuerte al doble de la frecuencia de línea	Eléctrico: soft foot, excentricidad de estator, barra de rotor, variador
Armónicos sincrónicos (env.)	Armónicos de envolvente en múltiplos enteros de las RPM	Holgura mecánica rotativa, armónicos por proceso
Armónicos subsincrónicos (env.)	Armónicos de envolvente por debajo de la velocidad de giro	Defecto de jaula, problema de grasa, turbulencia de flujo
Armónicos asincrónicos (env.)	Armónicos de envolvente arriba de las RPM, no enteros	Daño en pista interna/externa del rodamiento

Once síntomas en total; cada uno traduce una detección algorítmica al vocabulario que ya usa cualquier analista de vibración.



17

ENCUESTA 2

menti.com · código en pantalla

Punto de control antes de practicar

La tendencia RMS de una máquina sigue muy por debajo de su límite de alarma, pero sus mediciones empiezan a agruparse en un patrón nunca visto. ¿Qué es esto?

- A** Una falsa alarma: no se cruzó ningún límite, nada que revisar
- B** Un modo emergente: un cambio de comportamiento que vale la pena priorizar
- C** Una falla de sensor: los patrones nuevos suelen ser datos malos
- D** Variación normal: las máquinas derivan todo el tiempo



18

PARTE 2 · PRÁCTICA APLICADA

Ahora usted es el analista

Tres casos de diagnóstico y un reto de priorización, todos de despliegues industriales reales (anonimizados).

19

Formato, para cada caso:



1. Revise la ficha de la máquina y los datos (5 min)



2. Decida un diagnóstico



3. Vote en Mentimeter



4. Revelación, análisis y lección

20

Caso 1: Transmisión de tornillo triturador

CASO 1

FICHA DE LA MÁQUINA

Activo: Tornillo triturador, planta de celulosa y papel
Transmisión: Motor → transmisión por banda → tornillo
Sensor: Acelerómetro triaxial inalámbrico en el rodamiento lado transmisión
Operación: Carga variable, servicio intermitente
Historial: Meses de mediciones estables, un modo de comportamiento establecido

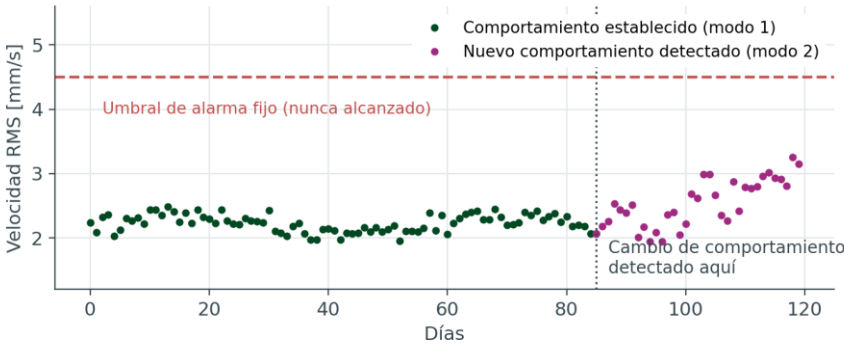
QUÉ REPORTÓ EL SISTEMA

- Surgió un nuevo modo de comportamiento en el punto de medición lado transmisión
- Mayor energía en baja frecuencia, por debajo de la velocidad de giro
- Nivel de alarma RMS fijo: nunca alcanzado
- El activo subió al primer lugar de la lista de prioridades

Su tarea: ¿qué le está pasando a esta máquina?

Caso 1: La tendencia que el umbral ignoró

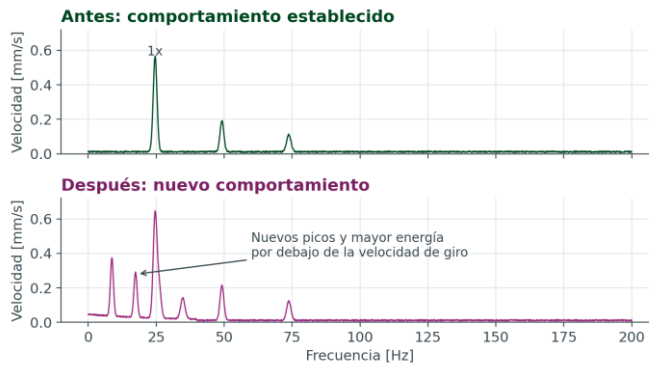
CASO 1



Los puntos magenta se agruparon como un modo nuevo desde el día 85, mientras el RMS seguía muy por debajo de la línea de alarma.

Caso 1: Espectro, antes vs. después

CASO 1



23

ENCUESTA 3

menti.com · código en pantalla

Caso 1: Su diagnóstico

Nuevo modo de comportamiento + mayor energía de baja frecuencia, con picos nuevos por debajo de la velocidad de giro. ¿Causa más probable?

- A** Defecto de pista externa en el rodamiento lado transmisión
- B** Daño en la banda de transmisión
- C** Desbalance en el tornillo
- D** Sensor defectuoso / datos malos

24

Revelación: daño en la banda de transmisión

CASO 1

Confirmado en campo: banda de transmisión dañada, reemplazada en un paro programado; se encontró a tiempo, antes de daños secundarios a rodamientos o al tornillo.

Por qué la evidencia apunta a la banda:

- Las frecuencias de banda quedan debajo de la velocidad de la flecha, coincidiendo con la nueva familia de picos de baja frecuencia.
- Un defecto de rodamiento (A) mostraría tonos de defecto característicos e impactos en frecuencias más altas.
- El desbalance (C) crecería en 1x, pero el pico de 1x apenas cambió.
- Las verificaciones de calidad de datos salieron limpias, descartando una falla de sensor (D).

Lección 1: el umbral de alarma nunca se disparó. El cambio respecto al historial propio de la máquina fue la única señal temprana.

Caso 2: Motor de transmisión, planta cementera

CASO 2

FICHA DE LA MÁQUINA

Activo: Motor de una transmisión, planta cementera

Entorno: Alta exposición a polvo, servicio continuo pesado

Sensor: Acelerómetro, espectro de aceleración hasta 10 kHz

Historial: Comportamiento estable; región de engranaje sin cambios por meses

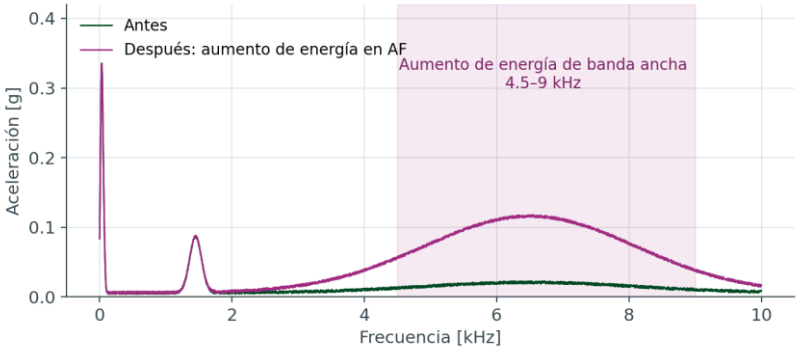
QUÉ REPORTÓ EL SISTEMA

- Mayor energía en alta frecuencia (banda ancha, 4.5–9 kHz)
- Espectro de baja frecuencia: prácticamente sin cambios
- Frecuencia de engrane y sus bandas laterales: sin cambios
- Valores RMS de velocidad: aún en zona 'buena'

Su tarea: ¿qué se deteriora primero en alta frecuencia?

Caso 2: Espectro de aceleración hasta 10 kHz

CASO 2



Aumento de energía de banda ancha (no tonal) en alta frecuencia; 1x, 2x y engranaje sin cambios.

27

ENCUESTA 4

menti.com · código en pantalla

Caso 2: Su diagnóstico

Aumento de energía de banda ancha en alta frecuencia; contenido tonal (1x, engranaje, bandas laterales) sin cambios. ¿Causa más probable?

- A** Desgaste del engranaje en la transmisión
- B** Lubricación contaminada en los rodamientos
- C** Falla eléctrica en la alimentación del motor
- D** Resonancia estructural excitada por un cambio de proceso

28

Revelación: lubricación contaminada

CASO 2

Confirmado en campo: grasa contaminada en los rodamientos del motor. Se limpió y relubricó: una intervención menor que evitó la falla de un rodamiento.

Por qué la evidencia apunta a la lubricación:

- La fricción metal-metal por lubricación degradada excita primero energía de banda ancha en alta frecuencia, mucho antes de que aparezcan tonos de defecto.
- El desgaste del engranaje (A) modificaría la amplitud de engrane y sus bandas laterales, pero ambas están sin cambios.
- Las fallas eléctricas (C) producen firmas tonales en frecuencias de línea, no ruido de banda ancha.
- La resonancia (D) amplifica tonos existentes en una banda fija; no crea energía de banda ancha.

Lección 2: dónde cambia la energía dice tanto como cuánto cambia. Las bandas de frecuencia corresponden a etapas de falla.

Caso 3: Motor de ventilador de 600 hp

CASO 3

FICHA DE LA MÁQUINA

Activo: Motor de 600 hp de un ventilador de secador de almidón, planta de alimentos y bebidas

Criticidad: Alta: cuatro secadores más usan el mismo tipo de motor

Refacción: Tiempo de entrega largo; el reemplazo debe planearse

Historial: Estable por un año; luego se señaló un cambio en el comportamiento de vibración

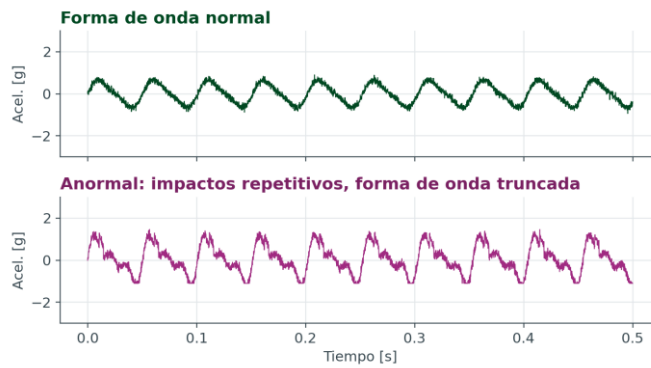
QUÉ REPORTÓ EL SISTEMA

- Cambio de modo: aumento de energía en el espectro y en la forma de onda
- Síntoma identificado: armónicos, una serie de múltiplos de la velocidad de giro
- Síntoma identificado: impactos repetitivos en la forma de onda
- Prioridad elevada en el punto lado transmisión del motor

Su tarea: diagnostique, y decida qué hacer al respecto.

Caso 3: Forma de onda, normal vs. anormal

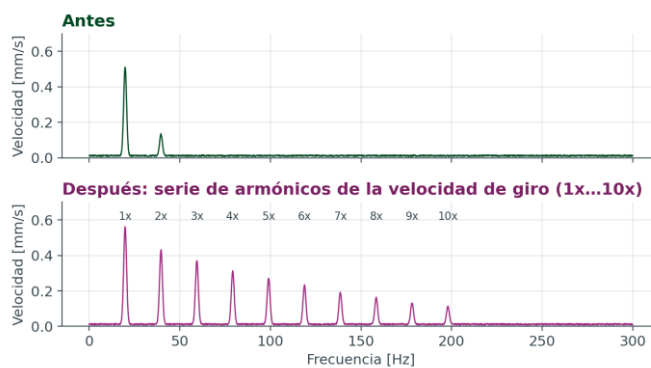
CASO 3



31

Caso 3: Espectro, antes vs. después

CASO 3



32

ENCUESTA 5

Caso 3: Su diagnóstico

Serie de armónicos hasta 10x la velocidad de giro, impactos repetitivos, forma de onda truncada. ¿Causa más probable?

- A Holgura mecánica en el motor
- B Desalineación de flechas entre motor y ventilador
- C Barra de rotor rota
- D Desgaste del cople

CASO 3

Revelación: holgura mecánica en el motor

Confirmado: holgura mecánica en el motor de 600 hp. La alerta temprana permitió planear el paro del secador y reemplazar el motor con hasta 4 meses de anticipación.

Qué le dio a la planta la detección temprana:

- Un reemplazo programado en lugar de operar hasta la falla un equipo crítico.
- Se evitaron hasta 10 horas de pérdida de producción, más costos extra de mano de obra y materiales.
- Tiempo para revisar los cuatro motores gemelos por la misma condición.

Lección 3: los síntomas convierten una detección en diagnóstico, y un diagnóstico en plan de mantenimiento. En esa cadena vive el valor.

Reto final: La fila del lunes por la mañana

TRIAGE

Tiene una hora de tiempo de analista. Cinco activos muestran cambios de comportamiento. Ordénelos.

Activo	Cambios detectados	Síntomas	Criticidad / contexto
1. Ventilador de torre de enfriamiento	Modo emergente + energía de BF	Ninguno identificado aún	Media; hay unidad redundante
2. Motor de horno rotatorio	Aumento de energía AF (2 semanas, creciendo)	Impactos, incipientes	Alta; sin refacción, entrega en 8 semanas
3. Reductor de transportador	Salto en RMS, una sola medición	Ninguno; aviso de calidad de datos	Media; sensor reinstalado hace poco
4. Bomba de alimentación de caldera	Aumento de RMS del modo + picos nuevos	Armónicos + modulación	Alta; la bomba gemela falló el año pasado
5. Unidad manejadora de aire	Modo emergente (vuelve cada mañana)	Ninguno	Baja; coincide con el arranque diario

Tome 5 minutos para decidir: ¿qué activo se lleva su hora, y cuál se ignora?

ENCUESTA 6

menti.com · código en pantalla

Triaje: ¿Qué activo se lleva su hora primero?

Elija su máxima prioridad. Un voto: ¿a dónde va su hora de analista?

- A Ventilador de torre de enfriamiento
- B Motor de horno rotatorio
- C Reductor de transportador
- D Bomba de alimentación de caldera
- E Unidad manejadora de aire

Análisis del triaje: cómo pesar prioridades

TRIAJE

Número y peso de los cambios

Varios tipos de cambio simultáneos pesan más que un solo indicador. Las tendencias crecientes pesan más que las estáticas.

Síntomas presentes

Los síntomas mecánicos identificados (impactos, armónicos, modulación) hacen que un cambio sea accionable, y más creíble.

Similitud con el historial

¿Este patrón es nuevo para esta máquina, o ya apareció antes y se explicó? La retroalimentación del analista enseña al sistema.

Contexto y criticidad

Refacciones, redundancia, tiempos de entrega, historial de máquinas gemelas. Ese conocimiento vive en usted, no en el algoritmo.

El sistema ordena la fila. Usted sigue tomando la decisión, con muchas menos distracciones.

37

ENCUESTA 7

menti.com · código en pantalla

Antes de cerrar

**En una o dos palabras:
¿cuál es la mayor barrera para ir más allá de los umbrales
en su planta?**

(Nube de palabras: las respuestas aparecen en vivo en pantalla)

38

PARTE 3 · CONCLUSIONES

Llevándolo de regreso a su planta

Qué aprendimos, qué revisar primero y qué resultados son realistas

Qué aprendimos hoy

- 1 **Los umbrales no escalan** El esfuerzo de configuración crece con cada sensor, y la operación variable rompe los límites fijos. El costo son detecciones perdidas, no solo tiempo.
- 2 **El cambio vence a la magnitud** Los tres casos se detectaron por cambio de comportamiento mientras las alarmas por amplitud guardaban silencio.
- 3 **Las bandas de frecuencia indican etapas** Baja frecuencia: transmisión y estructura. Alta frecuencia: lubricación y contacto incipiente. Serie de armónicos: holgura.
- 4 **Los síntomas hacen confiable a la IA** Impactos, modulación, armónicos, picos: explicaciones en el vocabulario del analista mantienen el juicio en el circuito.
- 5 **La priorización es la recompensa** Menos alertas y mejor ordenadas mueven el tiempo del analista de filtrar alarmas a diagnosticar máquinas.

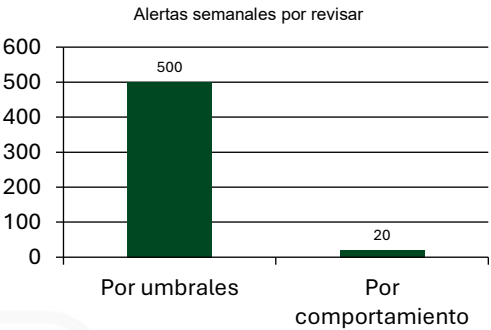
Su lista de verificación para el lunes

Criterios prácticos para rediseñar su proceso de monitoreo de condición, en cualquier plataforma:

- ✓ Mida su referencia: alertas por semana, minutos por alerta y la proporción de alertas a hallazgos reales.
- ✓ Identifique dónde el reajuste de umbrales consume tiempo del analista; esos puntos son sus candidatos a piloto.
- ✓ Verifique los datos: configuración de muestreo consistente por punto y ~20 mediciones históricas por activo como base inicial.
- ✓ Empiece con los activos de balance de planta y de servicio variable, donde más fallan los umbrales y la cobertura es menor.
- ✓ Exija explicabilidad: cualquier herramienta debe expresar hallazgos como síntomas verificables, no solo puntajes.
- ✓ Mantenga la retroalimentación: registre confirmaciones y descartes del analista; ese registro mejora la priorización con el tiempo.

¿Qué resultados son realistas?

Despliegue documentado: planta de celulosa y papel, 600 sensores, monitoreo por comportamiento desde 2022.



500 → 20

alertas por semana

~95%

de reducción en falsas
alarmas

4 h → 20 min

de seguimiento diario

Advertencia honesta: la reducción de alertas puede tener varias causas simultáneas, así que primero mida su propia referencia.

ENCUESTA 8

Voto final, y luego sus preguntas

¿Qué va a intentar primero al regresar a su planta?

- A Medir nuestra proporción de alertas a hallazgos
- B Pilotear detección por comportamiento en activos de balance de planta
- C Rediseñar el flujo de trabajo del analista en torno a la priorización
- D Preguntar a nuestro proveedor actual sobre explicabilidad

SESIÓN 10

ESCANEA EL
CÓDIGO QR



RESPONDE UNA
BREVE ENCUESTA

¡GRACIAS!

Sergio Martin-del-Campo, PhD

sergio.mdc@vikinganalytics.se