El monitoreo que no avisa

Monitoreo de condición y mantenimiento a la falla: en qué se parecen, en qué se diferencian y qué hacer cuando el monitoreo casi nunca predice

Un programa de monitoreo de condición que rara vez anticipa una falla no es un programa predictivo: es un mantenimiento a la falla con un costo fijo encima. La diferencia entre ambas estrategias no está en la tecnología instalada, sino en cuántas fallas se anticipan de verdad.

por Victor Barrientos Boccardo

Ingeniero civil mecánico · Fundador de INVICTUM SpA

¿Cuántas de sus últimas fallas fueron anticipadas por el monitoreo?

Si no lo sabe, ese es el primer problema.

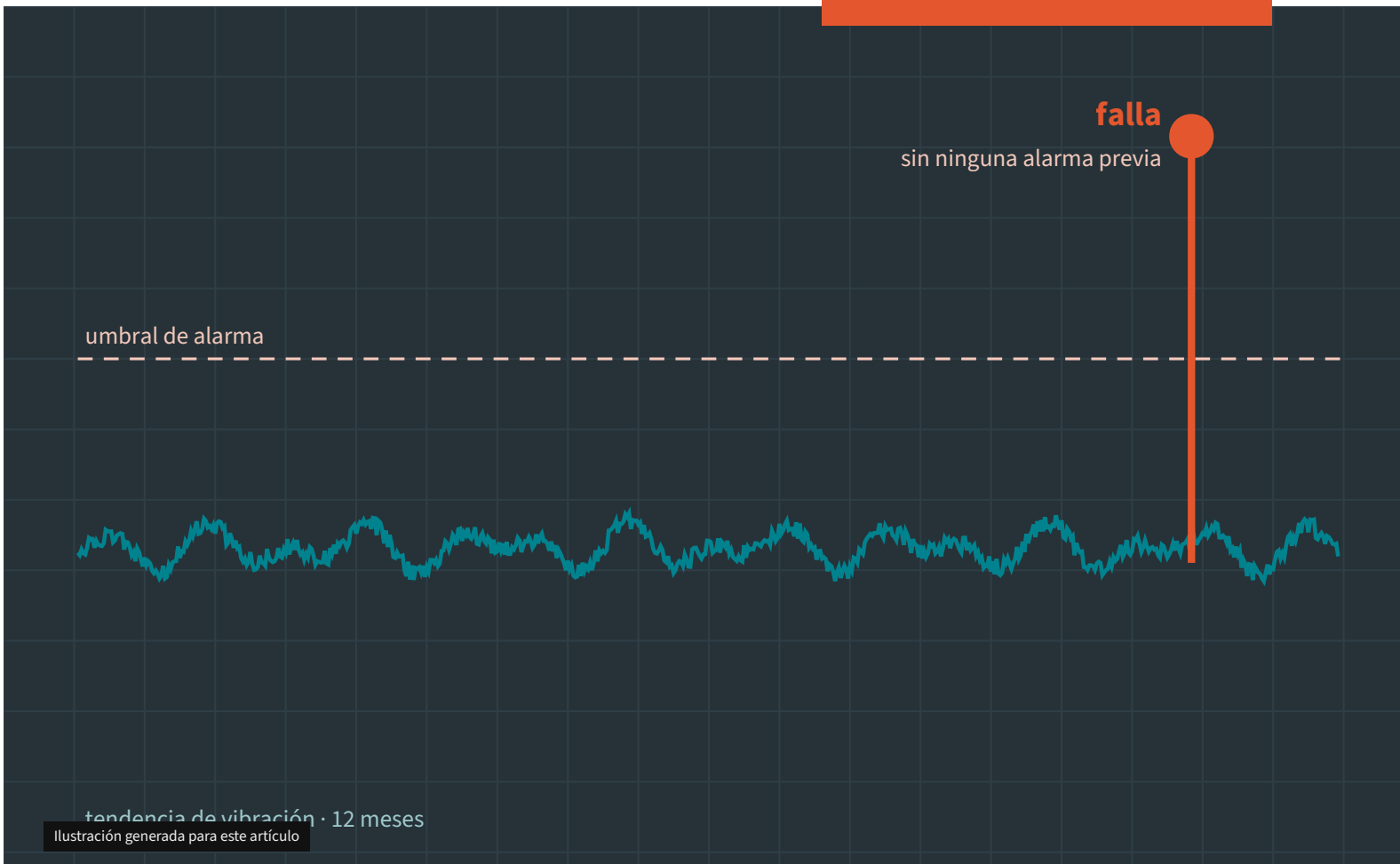


Ilustración generada para este artículo

LA IDEA EN SÍNTESIS

La creencia

Tener monitoreo de condición significa hacer mantenimiento predictivo.

La realidad

Si el monitoreo casi nunca anticipa una falla, las fallas siguen ocurriendo sin aviso: en los hechos, es mantenimiento a la falla, pero con un costo fijo mayor.

El diagnóstico

Un monitoreo que no predice falla por una de tres razones: el diseño del programa, la calidad de la señal o la organización que debe actuar.

La respuesta

Medir la tasa de detección, compararla con el punto de equilibrio del programa y, según el caso, corregir el programa o elegir a conciencia el mantenimiento a la falla.

Doce meses de análisis de vibraciones mensuales sobre los motores de tracción de una flota. Ninguna alarma. Un martes, un rodamiento se desintegra y el camión queda detenido una semana. En la reunión alguien pregunta lo obvio: si el monitoreo no lo vio venir, ¿para qué lo tenemos? La respuesta habitual es pedir más sensores. Casi nunca se pregunta si, para ese modo de falla, el monitoreo podía verlo venir.

El monitoreo de condición y el mantenimiento a la falla suelen presentarse como opuestos: uno moderno y proactivo, el otro reactivo y primitivo. En la práctica se parecen más de lo que se cree, y cuando el monitoreo rara vez anticipa una falla, se vuelven casi indistinguibles en sus resultados. Lo que no se vuelve igual es el costo.

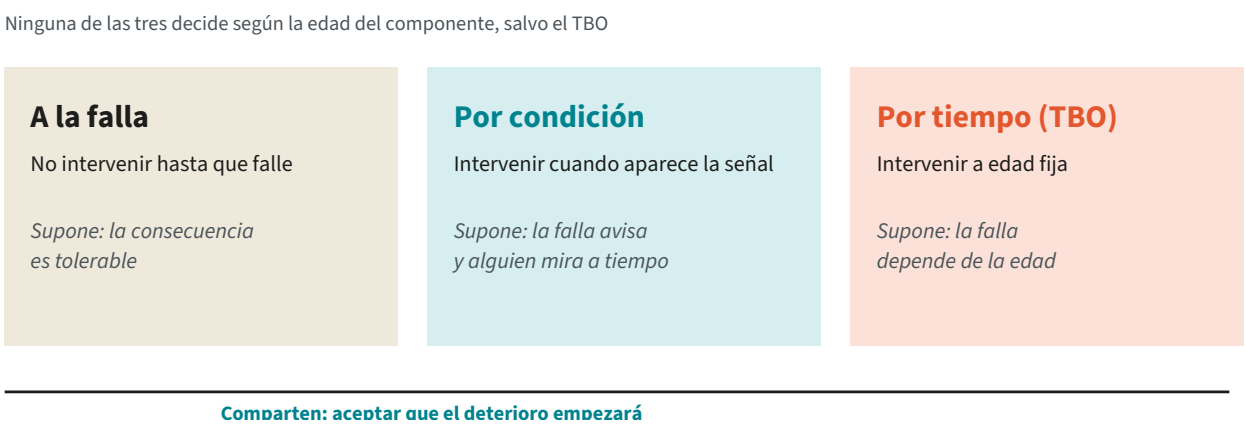
Este artículo compara ambas estrategias, explica por qué un programa de monitoreo puede predecir poco y propone cómo decidir qué hacer en ese caso. Complementa lo que planteé en «La trampa del TBO» sobre la tercera estrategia, el cambio por tiempo.

Tres estrategias, dos que se parecen

Frente a un modo de falla hay tres respuestas básicas: intervenir a edad fija, intervenir cuando aparece una señal de deterioro o dejar que el componente falle (vea el gráfico «Tres estrategias»). La primera supone que la falla depende de la edad. Las otras dos no: comparten la aceptación de que el deterioro empezará en algún momento que no podemos fijar de antemano.

Tres estrategias

Qué supone cada estrategia sobre la falla.



Elaboración del autor a partir de Moubray (1997) y la norma SAE JA1011.

Esa es la primera similitud, y la más importante: ni el monitoreo de condición ni el mantenimiento a la falla intentan adivinar la vida del componente. Por eso ambos son las estrategias naturales para los modos de falla aleatorios, que en la aviación eran la gran mayoría y que en minería siguen siendo

una fracción relevante. La segunda similitud es menos evidente: las dos dependen de que la organización responda bien cuando llega el momento. Una con repuestos y taller listos para la falla; la otra con repuestos, taller y además analistas y disciplina para actuar ante una alarma.

La diferencia está en un solo punto: el aviso. El monitoreo de condición apuesta a que la falla avisa con tiempo suficiente y a que alguien verá ese aviso y actuará. Si esa apuesta se cumple, convierte una falla imprevista en una intervención planificada, con menos detención y sin daño secundario. Si no se cumple, el resultado es el mismo que el de dejar fallar, pero con el costo del programa encima (vea la tabla «Parecidos y diferencias»).

Parecidos y diferencias

Mantenimiento a la falla y monitoreo de condición, dimensión por dimensión.

Dimensión	Mantenimiento a la falla	Monitoreo de condición
Cuándo se interviene	Cuando el componente falla	Cuando aparece una señal de deterioro
Supuesto sobre la edad	La edad no importa	La edad no importa
Supuesto sobre el aviso	No hay aviso útil, o no conviene buscarlo	La falla avisa con tiempo suficiente
Qué exige de la organización	Repuestos, taller y logística listos para responder	Lo mismo, más técnicas, analistas y disciplina para actuar
Costo fijo	Bajo	Alto: equipos, sensores, laboratorio, analistas
Costo por evento	Alto: falla, daño secundario, detención imprevista	Menor: intervención planificada antes de la falla
Riesgo propio	Consecuencias de la falla	Falsas alarmas y fallas no detectadas
Cuándo conviene	Consecuencia tolerable y sin aviso detectable	Aviso detectable y beneficio mayor que el costo del programa

Elaboración del autor.

> «Un monitoreo que no anticipa fallas no es mantenimiento predictivo. Es mantenimiento a la falla con instrumentos.»

Cuándo el monitoreo puede ver la falla

Para que el monitoreo anticipe una falla deben cumplirse cuatro condiciones. El modo de falla debe producir una señal medible. La técnica elegida debe ser capaz de captar esa señal: el análisis de vibraciones ve un rodamiento que se degrada, pero no un cortocircuito en un bobinado. El tiempo entre la primera señal detectable (P) y la falla (F) debe ser suficiente para planificar la intervención. Y la frecuencia de inspección debe ser menor que ese intervalo P-F.

La última condición se incumple con frecuencia sin que nadie lo note. Si el aviso dura cuatro meses y se inspecciona cada seis, la mayor parte de las veces la señal aparece y la falla ocurre entre dos inspecciones (vea el gráfico «Inspeccionar dentro del aviso»). La lógica RCM recomienda, como regla

práctica, inspeccionar con una frecuencia cercana a la mitad del intervalo P-F (Moubray), para tener al menos una o dos oportunidades de detección. Para modos de falla de alto riesgo, algunos métodos recomiendan inspeccionar con más frecuencia todavía.

Cuadernos de mantenimiento y confiabilidad ·

N.º 1. La trampa del TBO: cuándo intervenir por tiempo.

N.º 2. El monitoreo que no avisa (este número): cuándo intervenir por condición.

N.º 3. La máquina sabe quién administra el contrato: qué se pierde cuando cambia la organización.

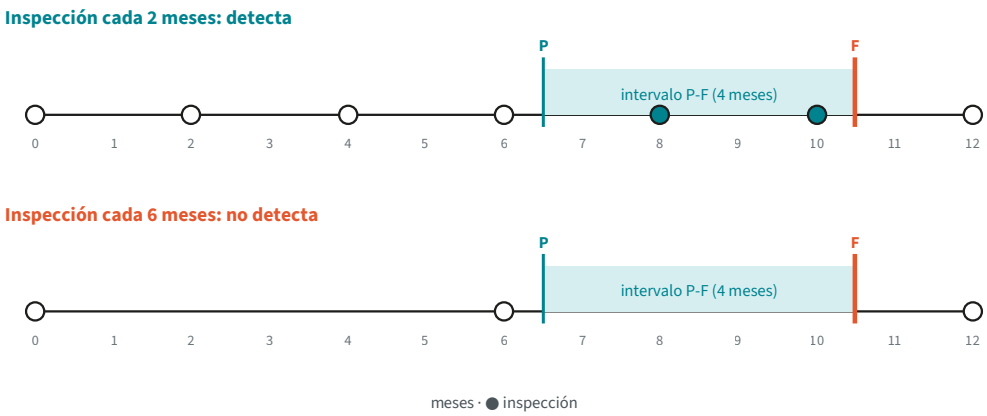
N.º 4. Dos gigantes, dos lógicas: por qué cada industria decide distinto.

N.º 5. Lo que la IA nunca hará en mantenimiento mina: quién responde por la decisión.

Caso aplicado: «Cómo bajar más de 30% el costo por hora de los neumáticos mineros».

Inspeccionar dentro del aviso

Con un intervalo P-F de cuatro meses, inspeccionar cada dos detecta la falla; inspeccionar cada seis, casi nunca.



Esquema conceptual elaborado por el autor.

Qué pasa si el monitoreo casi nunca predice

La primera reacción ante un monitoreo que no avisa suele ser invertir más: más sensores, más frecuencia, una plataforma nueva. Antes conviene responder una pregunta más simple: ¿cuánto predice realmente el programa? Para eso hay que separar cuatro resultados posibles (vea el gráfico «Los cuatro resultados de una alarma»).

De ahí salen dos indicadores. La tasa de detección dice qué fracción de las fallas fue anticipada. La precisión dice qué fracción de las alarmas era real. Un programa con baja detección deja pasar las fallas; uno con baja precisión genera intervenciones innecesarias, y cada desarme de un componente sano trae el mismo riesgo de mortalidad infantil que describí para el TBO.

Cómo medir bien la tasa de detección

Cuente las fallas evitadas. Cuando el monitoreo funciona, la falla no ocurre y nadie la registra. Si el componente retirado por una alarma muestra daño en el taller, eso es un acierto y debe contarse como tal.

Confirme en el taller. Una alarma solo es acierto si la inspección del componente confirma el deterioro; si no, es una falsa alarma.

Use el mismo modo de falla. Una falla eléctrica no detectada por vibraciones no es un fracaso del análisis de vibraciones, sino de la cobertura del programa.

Mida la anticipación. Una alarma que llega dos horas antes de la falla no permite planificar nada: cuente como acierto solo la que deja tiempo para actuar.

Medir bien importa, porque un monitoreo eficaz puede parecer inútil. Si evita las fallas y nadie cuenta las fallas evitadas, sus éxitos son invisibles y solo se registran sus fracasos.

Los cuatro resultados de una alarma

Cruzar las alarmas con lo que se encontró en el componente permite medir cuánto predice el programa.

	Hubo falla (o daño confirmado)	No hubo falla
Hubo alarma	**Acierto** La alarma anticipó una falla real: intervención planificada	**Falsa alarma** Se interviene un componente sano: costo y mortalidad infantil
No hubo alarma	**Falla no detectada** Falla sin aviso: en la práctica, mantenimiento a la falla	**Silencio correcto** No hubo alarma ni falla: el estado normal

Tasa de detección = aciertos ÷ (aciertos + fallas no detectadas)

Elaboración del autor.

El punto de equilibrio del monitoreo

Un programa de monitoreo de condición se paga solo si las fallas que anticipa ahorran más de lo que cuesta mantenerlo. El beneficio neto anual puede escribirse así:

$$B = N_f \times d \times (C_f - C_p) - N_{fa} \times C_{fa} - C_{prog}$$

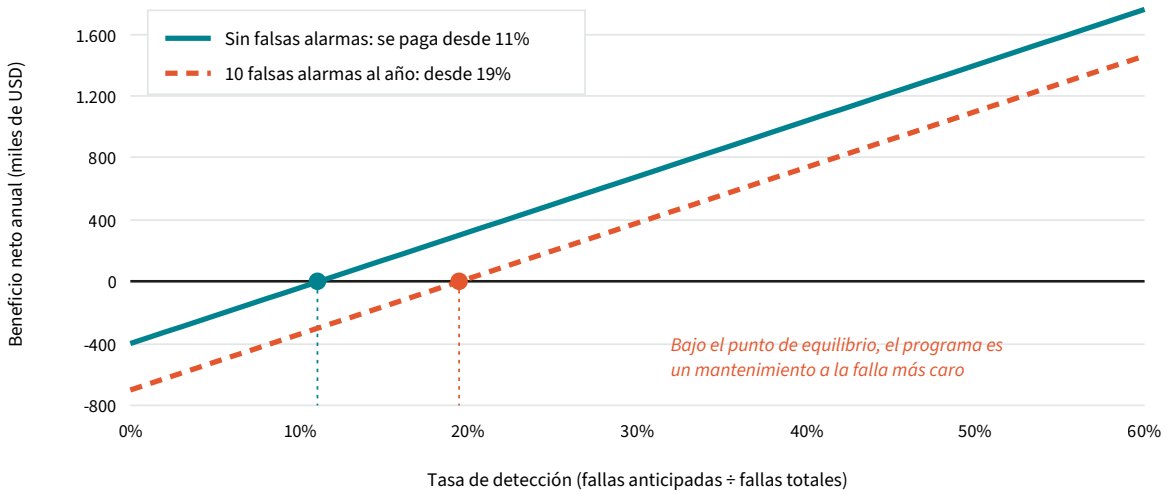
donde N_f es el número de fallas al año, d la tasa de detección, C_f el costo de una falla (incluida la producción perdida), C_p el costo de una intervención planificada, N_{fa} y C_{fa} el número y el costo de las falsas alarmas, y C_{prog} el costo anual del programa.

Un ejemplo ilustrativo: 20 fallas al año, US$ 300.000 por falla, US$ 120.000 por intervención planificada y un programa de US$ 400.000 anuales. Sin falsas alarmas, el programa se paga con una tasa de detección de 11%. Con diez falsas alarmas al año de US$ 30.000 cada una, el umbral sube a 19% (vea el gráfico «El punto de equilibrio del monitoreo»). Bajo ese umbral, el programa es un mantenimiento a la falla más caro.

El concepto de fondo es el valor de la información, que Ronald Howard formalizó en 1966: una medición solo vale lo que cambia de las decisiones que se toman con ella. Un análisis que nunca cambia una decisión de mantenimiento no tiene valor, por sofisticado que sea.

El punto de equilibrio del monitoreo

Beneficio neto anual de un programa de monitoreo según su tasa de detección, en un caso ilustrativo.



Ejemplo ilustrativo elaborado por el autor: 20 fallas al año, US$ 300.000 por falla, US$ 120.000 por intervención planificada, programa de US$ 400.000 anuales y falsas alarmas de US$ 30.000.

Por qué un monitoreo predice poco

Cuando la tasa de detección es baja, la causa suele estar en uno de tres lugares (vea el gráfico «Ocho causas de un monitoreo que no avisa»). El primero es el diseño del programa: técnicas que no ven el modo de falla dominante, intervalos más largos que el aviso o fallas cuyo aviso es demasiado corto para reaccionar. El segundo es la calidad de la señal: umbrales genéricos del fabricante que no reflejan la operación, sensores mal ubicados o muestras de aceite mal tomadas. El tercero es la organización: alarmas que nadie mira a tiempo, analistas sin tiempo para interpretar o fallas evitadas que no se registran.

Las tres causas tienen remedios distintos. Comprar más tecnología solo corrige la segunda, y solo en parte.

Ocho causas de un monitoreo que no avisa

Las causas se agrupan en el diseño del programa, la calidad de la señal y la organización.



turquesa: diseño del programa · coral: calidad de la señal · gris: organización

Elaboración del autor.

Por qué cuesta reconocerlo

El costo hundido. Arkes y Blumer mostraron que seguimos invirtiendo en lo que ya pagamos, aunque no rinda. Una plataforma cara se defiende con más inversión antes que con una evaluación.

El efecto «pastorcito mentiroso». Shlomo Breznitz estudió cómo las falsas alarmas reducen la confianza en las alarmas siguientes. Un programa con baja precisión enseña a ignorarlo, y entonces su detección cae aún más.

La tecnología como señal de modernidad. Tener monitoreo luce bien en una auditoría. Elegir conscientemente dejar fallar un componente exige explicar por qué, aunque sea la mejor decisión.

Señales de que su monitoreo es un mantenimiento a la falla caro

Nadie sabe qué porcentaje de las fallas del último año fue anticipado.

Las alarmas se revisan, pero no generan órdenes de trabajo.

Los umbrales son los del manual y nunca se ajustaron a la faena.

El intervalo de inspección se fijó por conveniencia del laboratorio, no por el aviso del modo de falla.

Las fallas se analizan sin preguntar por qué el monitoreo no las vio.

Los componentes retirados por alarma no se inspeccionan para confirmar el daño.

Qué hacer

Mida antes de invertir. Calcule la tasa de detección y la precisión del último año, por modo de falla, contando las fallas evitadas confirmadas en el taller.

Compare con su punto de equilibrio. Con sus costos reales, calcule qué tasa de detección necesita el programa para pagarse.

Cruce técnicas con modos de falla. Haga una matriz de los modos de falla dominantes de cada componente y la técnica que puede ver cada uno. Los vacíos de esa matriz explican muchas fallas «sorpresa».

Ajuste el intervalo al aviso. Para cada modo de falla, estime el intervalo P-F y fije la inspección cerca de la mitad.

Calibre los umbrales con su historia. Use los datos de componentes que fallaron y de los que no para fijar umbrales propios.

Cierre el circuito. Cada alarma debe terminar en una decisión registrada: intervenir, vigilar o descartar, con nombre y fecha.

Elija a conciencia el mantenimiento a la falla. Si un modo de falla no avisa con tiempo útil y su consecuencia es tolerable, deje de monitorearlo y prepare la respuesta: repuestos, taller y procedimiento. Es una decisión de gestión legítima, no un fracaso.

El monitoreo de condición y el mantenimiento a la falla no son rivales. Son dos respuestas a la misma pregunta, cuándo intervenir un componente que no envejece, y la elección entre ellas depende de una sola cosa: si la falla avisa y si alguien está escuchando. Un programa que casi nunca predice no es un fracaso tecnológico; es una señal de que esa pregunta no se ha respondido. ■

Nota metodológica

La escena inicial y el ejemplo del punto de equilibrio son ilustrativos. La fórmula del beneficio neto es una simplificación del autor que no incluye el valor del daño secundario evitado ni la vida remanente sacrificada al intervenir antes de la falla. Los gráficos son esquemas conceptuales.

Victor Barrientos Boccardo *es ingeniero civil mecánico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, con más de veinte años en mantenimiento y confiabilidad de equipos mineros en empresas mineras en Chile. Es fundador de INVICTUM SpA, consultora en confiabilidad y mantenimiento minero, y autor de seis libros sobre mantenimiento de equipos mineros, cognición del mantenedor, sesgos cognitivos y estrategia de reemplazo de flotas.*

Referencias. Arkes, H. R. y Blumer, C. (1985), «The Psychology of Sunk Cost», *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 35(1). · Barrientos Boccardo, V. (2023), *Reemplazo de componentes: ¿cuándo es el momento?*, Invictum SpA. · Breznitz, S. (1984), *Cry Wolf: The Psychology of False Alarms*, Lawrence Erlbaum. · Howard, R. A. (1966), «Information Value Theory», *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics* 2(1). · ISO (2018), *ISO 17359: Condition Monitoring and Diagnostics of Machines — General Guidelines*. · Jardine, A. K. S., Lin, D. y Banjevic, D. (2006), «A Review on Machinery Diagnostics and Prognostics Implementing Condition-Based Maintenance», *Mechanical Systems and Signal Processing* 20(7). · Moubray, J. (1997), *Reliability-Centred Maintenance*, 2.ª ed., Industrial Press. · Nowlan, F. S. y Heap, H. F. (1978), *Reliability-Centered Maintenance*, United Airlines y Departamento de Defensa de EE.UU. · SAE International (2009), *JA1011: Evaluation Criteria for RCM Processes*.