CMC CHILE 2026

Sesión SPARK

1

SPARK SESIÓN 8

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN



Vida remanente de rodamientos críticos: aplicación de ensayos por corrientes Eddy (ECT) para evaluar el estado del material

Clever Espina

Technical Industry Specialist - NSK

2

¿Cuándo deberíamos realmente cambiar un rodamiento?

Condición

En base a diagnósticos de analisis de vibraciones, ultrasonido, analisis de aceite, etc.

Tiempo

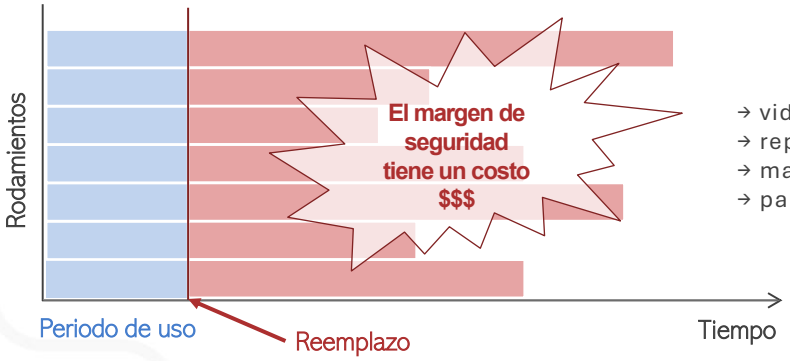
En base a horas de operación, por “preventivo”.



3

¿Estamos cambiando rodamientos críticos porque están dañados... o porque llegó la fecha?

Vida útil de los rodamientos

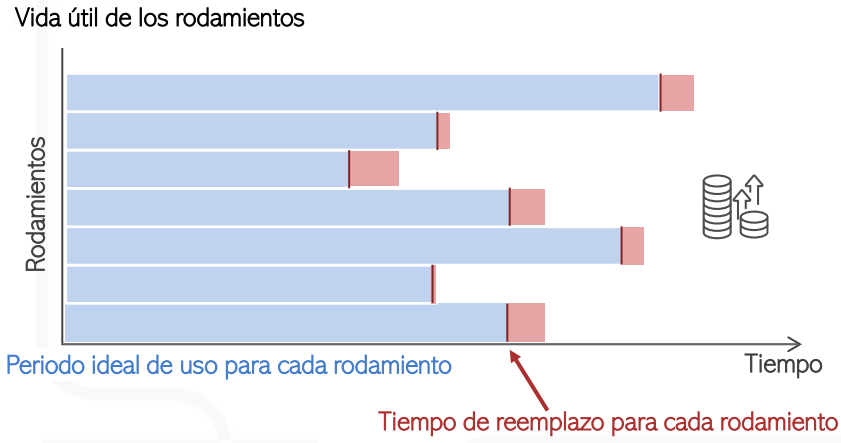


→ vida útil no aprovechada
→ repuestos
→ mano de obra
→ parada

Los rodamientos más críticos son generalmente reemplazados después de un cierto período de uso, incluso si aún no han fallado.

4

¿Estamos cambiando rodamientos críticos porque están dañados… o porque llegó la fecha?



El uso ideal de los rodamientos es reemplazarlos justo antes de que alcancen el fin de su vida útil.

Desafío: Determinar cuándo cada rodamiento debería ser reemplazado para aprovechar al máximo su potencial.

NSK

5

→ Desarrollo de un método de diagnostico no destructivo, que se pueda ejecutar en el lugar de uso del rodamiento y que complemente técnicas de monitoreo de condición para afinar expectativas en horas de operación remanentes.

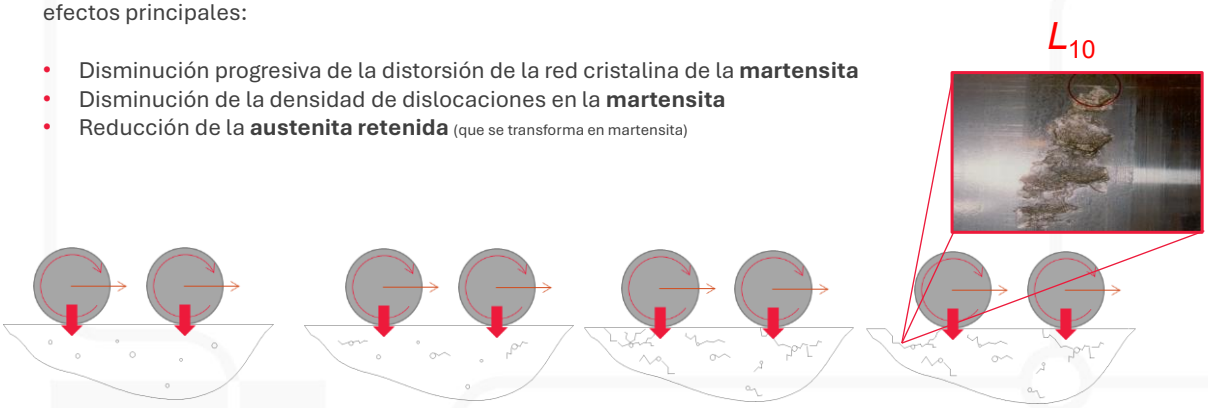
NSK ltd.
Non-destructive Prognostics for Rolling Bearings by Eddy Current Testing
4th Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management, Tokyo, Japan, September 11 – 14, 2023

6

Cambios en la microestructura del acero de rodamientos debido a la Fatiga por Contacto Rodante (RCF)

A medida que un rodamiento funciona, el contacto entre las superficies de rodadura sometidas a las condiciones de carga de la máquina, producen cambios en la estructura metalúrgica del acero, teniendo tres efectos principales:

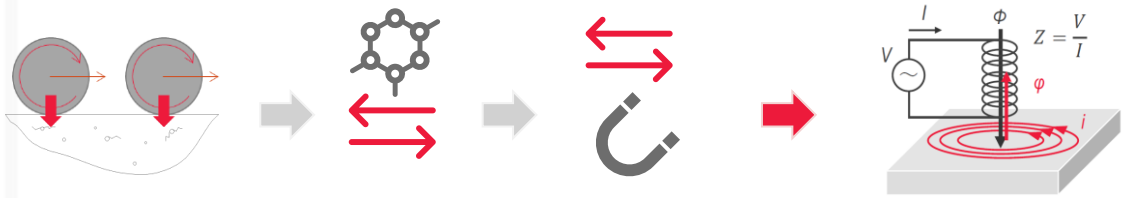
- Disminución progresiva de la distorsión de la red cristalina de la **martensita**
- Disminución de la densidad de dislocaciones en la **martensita**
- Reducción de la **austenita retenida** (que se transforma en martensita)



NSK

7

Base lógica del método de pruebas por corrientes Eddy (ECT) en rodamientos



Fatiga por Contacto Rodante (RCF)

Cambios en la microestructura del acero

Cambios en las propiedades magnéticas del acero

Respuesta medible y fácil de interpretar con ECT

NSK

8

Verificación experimental del método ECT en rodamientos

Condiciones de las pruebas RCF

Set de rodamientos	A	B	C	D
Rodamiento probado	a	a	a	b
Condición HT	i	ii	iii	i
Carga radial	61.5 kN			45.2 kN
Carga axial	18.5 kN			-
Velocidad de rotación	1500 min^{-1}			
Tiempo de prueba	Máx. 1500 h			
Lubricación	ISO-VG68 (contaminado[1)])			ISO-VG68
Vida calculada (L_{10})	185 h			592 h

1) Tamaño: 74-147 µm; Dureza: 870HV; Cantidad: 0.3 g

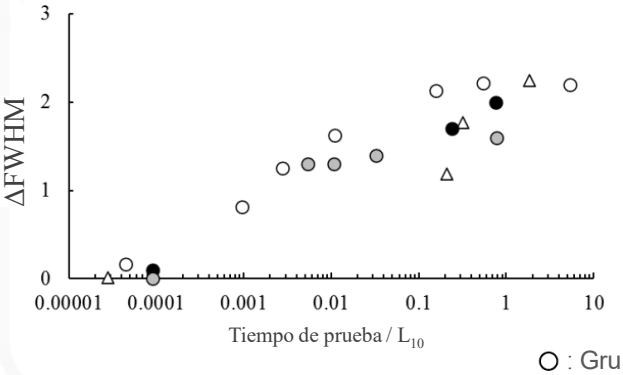
Rodamiento	a	b
Nro. Rodamiento	32017	22211
Tipo	Rod. de rodillos cónicos	Rod. de rodillos esféricos
Diá. exterior	130 mm	100 mm
Diá. interior	85 mm	55 mm
Índice de carga dinámico (Cr)	143 kN	149 kN

Condición TT	i	ii	iii
Material	SUJ2	SUJ2	SCr420
Tratamiento	Temple total	Temple total	Carburizado
Temperatura de revenido	240 °C	170 °C	180 °C

9

Verificación experimental del método ECT en rodamientos

Evaluación del proceso de fatiga por refacción de rayos X (XRD)



Condiciones de medición XRD

Tubo de rayos-x : Cr
Tamaño colimador : ϕ2 mm
Pico de difracción : Fe (211)

○ : Grupo A
◎ : Grupo B
● : Grupo C
△ : Grupo D

Cambios en FWHM* (ΔFWHM) de la martensita se incrementan gradualmente con el tiempo de prueba sin importar el tipo de rodamiento, material y tratamiento térmico

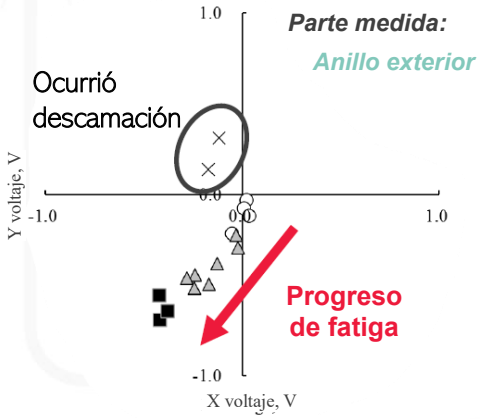
↑ ΔFWHM = ↑ FATIGA

***FWHM** — Full Width at Half Maximum

10

Verificación experimental del método ECT en rodamientos

Resultados ECT del set A



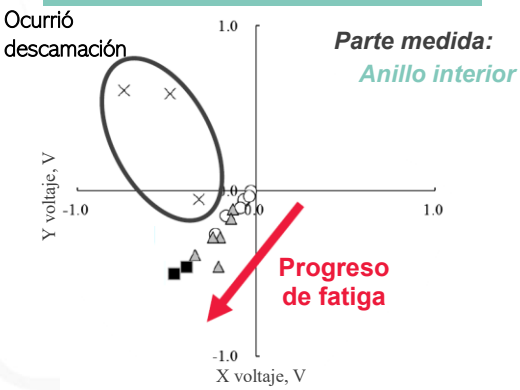
Rodamientos set	A
Rodamiento	**a**
Nro. Rodamiento	32017
Tipo	Rod. de rodillos cónicos
Condición TT	**i**
Material	SUJ2
Tratamiento	Temple total
Temperatura de revenido	240 °C

○ Grupo I (ΔFWHM < 0.5); ▲Grupo II (0.5 ≤ ΔFWHM < 1.5); ■ Grupo III (1.5 ≤ ΔFWHM); ✕Grupo IV (1.5 ≤ ΔFWHM + Descamación)

11

Verificación experimental del método ECT en rodamientos

Resultados ECT del set D



Rodamientos set	D
Rodamiento	**b**
Nro. Rodamiento	22211
Tipo	Rod. de rodillos esféricos
Condición TT	**i**
Material	SUJ2
Tratamiento	Temple total
Temperatura de revenido	240 °C

El comportamiento del cambio en los valores de ECT por RCF no depende del tipo de rodamiento

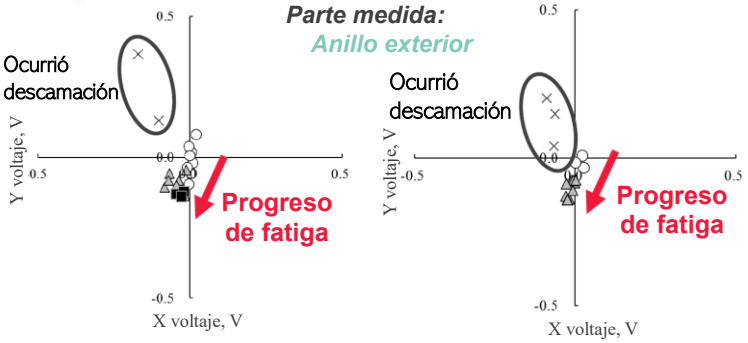
○ Grupo I (ΔFWHM < 0.5); ▲Grupo II (0.5 ≤ ΔFWHM < 1.5); ■ Grupo III (1.5 ≤ ΔFWHM); ✕Grupo IV (1.5 ≤ ΔFWHM + Descamación)

12

Verificación experimental del método ECT en rodamientos

Resultados ECT del set B

Resultados ECT del set C



Rodamientos set	B	C
Rodamiento	a	
Nro. Rodamiento	32017	
Tipo	Rod. de rodillos cónicos	
Condición TT	ii	iii
Material	SUJ2	SCr420
Tratamiento	Temple total	Carburizado
Temperatura de revenido	170 °C	180 °C

○ Grupo I (ΔFWHM < 0.5); ▲ Grupo II (0.5 ≤ ΔFWHM < 1.5); ■ Grupo III (1.5 ≤ ΔFWHM); ✕ Grupo IV (1.5 ≤ ΔFWHM + Descamación)

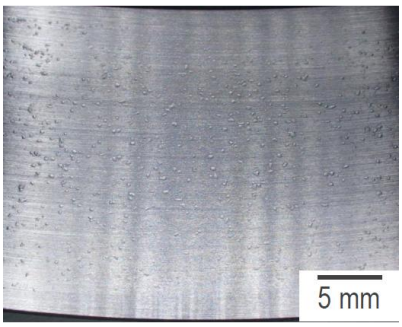
NSK

13

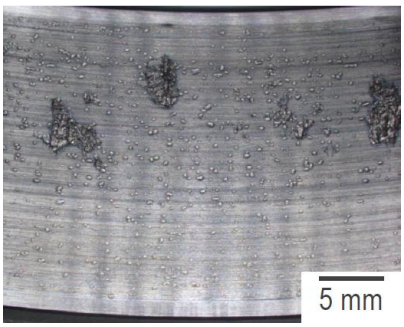
Verificación experimental del método ECT en rodamientos

Micrografías ópticas de la superficie del camino de rodadura

Grupo II (0.5 ≤ ΔFWHM < 1.5)



Grupo IV (1.5 ≤ ΔFWHM + Descamación)



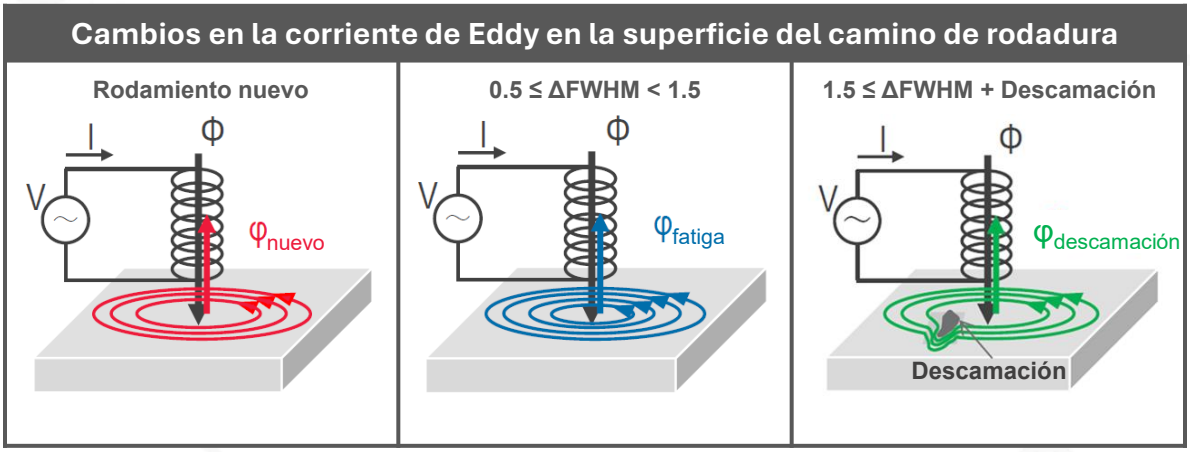
Los defectos superficiales como la descamación y las fisuras por fatiga afectan los valores de ECT

NSK

14

Verificación experimental del método ECT en rodamientos

Cambios en la corriente de Eddy en la superficie del camino de rodadura

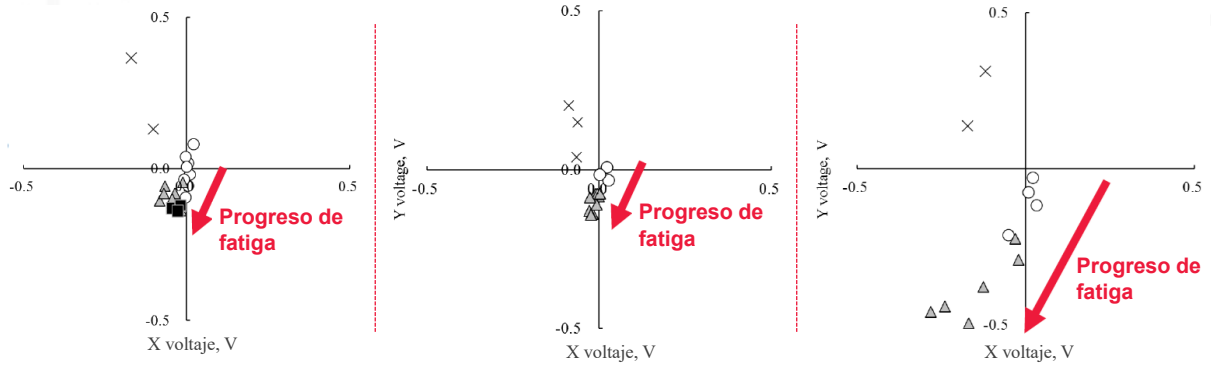


Las mediciones de ECT pueden detectar la falla en la superficie del camino de rodadura así como estimar el progreso de la fatiga.

15

Verificación experimental del método ECT en rodamientos

Resultados ECT del set B | Resultados ECT del set C | Resultados del set A



○ Grupo I (ΔFWHM < 0.5); ▲ Grupo II (0.5 ≤ ΔFWHM < 1.5); ■ Grupo III (1.5 ≤ ΔFWHM); ✕ Grupo IV (1.5 ≤ ΔFWHM + Descamación)

La sensibilidad de las mediciones ECT fue influenciada por el material y el tratamiento térmico.

16

Verificación experimental del método ECT en rodamientos

¿Qué se demostró?

- La respuesta ECT cambia de forma sistemática con el progreso de la fatiga por contacto de rodadura (**RCF**).
- La tendencia del cambio observado en ECT se mantuvo independientemente del tipo de rodamiento, material y tratamiento térmico evaluados.
- Los resultados de ECT mostraron correlación con los cambios microestructurales evaluados mediante el método de difracción de rayos X (**XRD**), asociados al progreso de la fatiga.
- La magnitud y sensibilidad de la respuesta ECT sí estuvieron influenciadas por el material y el tratamiento térmico, por lo que la interpretación cuantitativa requiere considerar estas variables.

17

Guía de aplicación práctica del método de corrientes Eddy (ECT) para estimación de Vida Remanente de rodamientos (RUL)

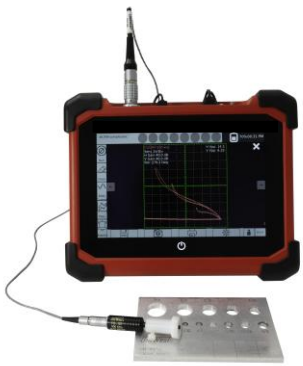


Imagen de referencia, equipo no comercializado por NSK

Equipo ECT comercial que permita las siguentes configuraciones:

- Sonda con núcleo de 3 mm
- Frecuencia de excitación: 128 kHz
- Señal de salida representada en coordenadas X–Y (voltaje)
- Ajuste de fase para que el efecto del *lift-off* se proyectara paralelo al eje X

La investigación demuestra que la metodología puede implementarse utilizando instrumentación ECT comercial; la configuración de medición es parte esencial de la metodología.

18

Guía de aplicación práctica del método de corrientes Eddy (ECT) para estimación de Vida Remanente de rodamientos (RUL)

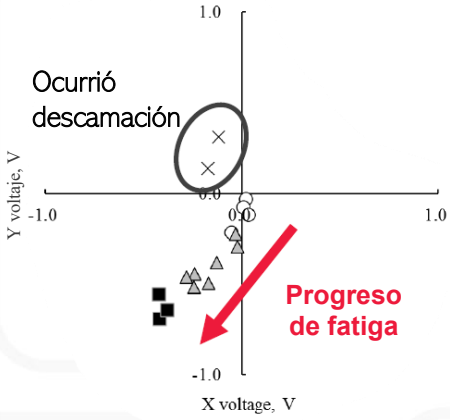


Recomendaciones para la medición:

- Medir directamente sobre la superficie de rodadura, especificamente en la zona de carga, donde se concentra el proceso de fatiga por contacto de rodadura.
- Realizar varias mediciones a lo largo del área evaluada para identificar la tendencia de la señal, reducir la influencia de variaciones locales y evitar basar la interpretación en un único punto.
- Cuando sea posible, establecer una medición de referencia con el rodamiento nuevo, antes de su montaje, para comparar posteriormente la evolución de la señal ECT.
- Mantener condiciones de medición consistentes —posición de la sonda, orientación, frecuencia y configuración del equipo— para que los cambios observados sean comparables entre mediciones.

19

Guía de aplicación práctica del método de corrientes Eddy (ECT) para estimación de Vida Remanente de rodamientos (RUL)



Interpretación práctica de los resultados ECT:

- **Lecturas cercanas al origen:** corresponden a una condición inicial o a un *bajo nivel de progreso de fatiga* respecto a la referencia establecida.
- **Desplazamiento progresivo hacia el tercer cuadrante:** indica un *avance del proceso de fatiga por contacto de rodadura (RCF).* A mayor desplazamiento dentro de la trayectoria característica, mayor es el progreso de la fatiga y, por tanto, menor es la vida remanente esperada.
- **Cambio de trayectoria respecto al comportamiento normal:** puede indicar que el rodamiento ha alcanzado una condición avanzada de deterioro, *compatible con la presencia de desconchado (spalling),* incluso cuando este todavía no sea fácilmente perceptible visualmente.

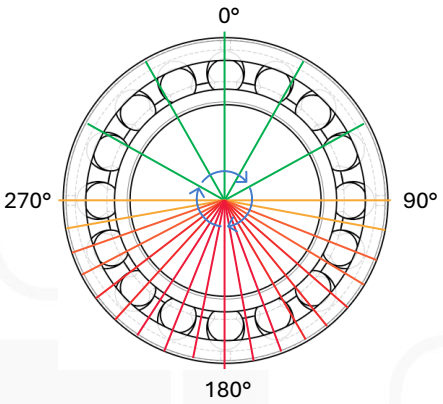
20

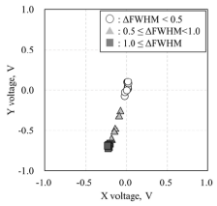
Caso real de aplicación #1

Rodamiento evaluado
Tipo: Rodillos esféricos
Material: SUJ2
Diametro Interior: 100 mm

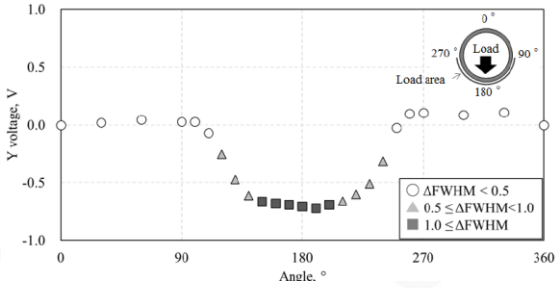
Historial de operación
Velocidad: 800 – 900 RPM
Tiempo en servicio: 2 años
Horas acumuladas: 3600 h

El rodamiento tenía una **zona de carga claramente identificable** y una huella de rodadura sobre la pista del aro interior.





El método ECT permitió visualizar cuantitativamente cómo la fatiga se distribuía alrededor de la pista en un rodamiento que había trabajado en una máquina real.



La medición circunferencial convierte una señal puntual en un "mapa" de condición del rodamiento.

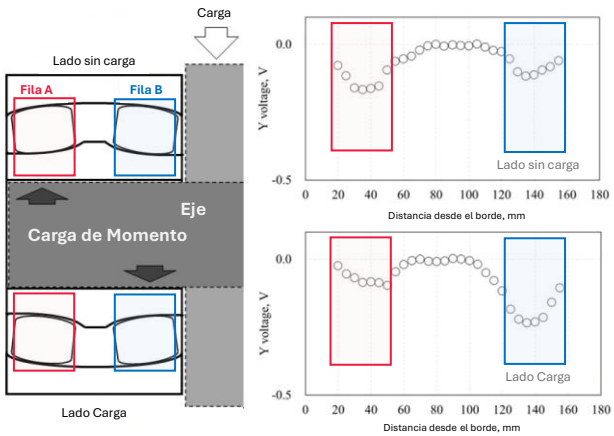
21

Caso real de aplicación #2

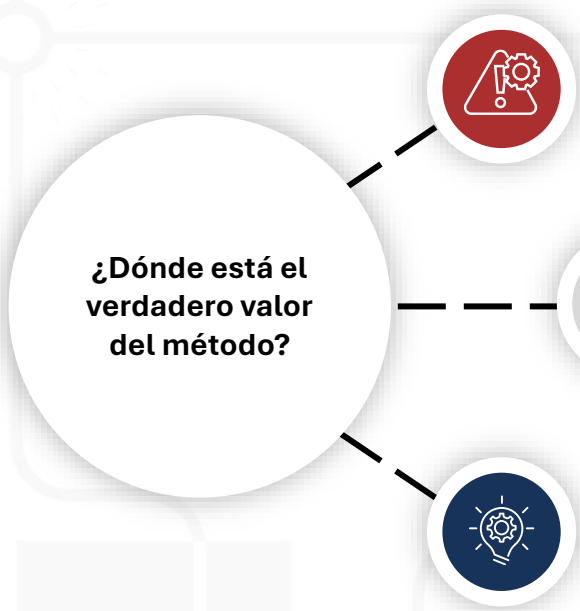
Rodamiento evaluado
Tipo: Rodillos esféricos
Material: SUJ2
Diametro Interior: 750 mm

Historial de operación
Velocidad: 270 RPM
Tiempo en servicio: 23 años
Horas acumuladas: 200.000 h
Carga: 140 kN radial

- **Detección de momento flector (*Moment load*):** Las diferencias asimétricas entre las filas A y B revelaron que el rodamiento no estuvo sometido únicamente a una carga radial uniforme, sino a una **carga por momento (inclinación/desalineación)** durante la operación del equipo.
- **Aporte práctico del ECT:** El ECT demostró ser no solo una herramienta para evaluar el avance de la fatiga del material en campo, sino también una **técnica ágil e *in situ* para diagnosticar cómo se están distribuyendo y aplicando realmente las cargas sobre el rodamiento en la maquinaria**.



22



Medir rodamientos críticos

La viabilidad de esté método de inspección cobra sentido cuando el rodamiento a revisar representa un alto costo de recambio. No solo en cuanto al valor del repuesto sino el esfuerzo de mantenimiento necesario.

Reutilización

Esta técnica puede ser muy útil para determinar si un rodamiento que se desmontó aun tiene vida remanente; el reacondicionamiento en sitio, almacenaje y dejarlo disponible como respaldo puede hacer la diferencia en una parada de mantenimiento.

Evitar reemplazos innecesarios

Una evaluación adicional durante una parada de mantenimiento puede ayudar a confirmar si un rodamiento realmente necesita ser reemplazado o si aún puede continuar en servicio.

NSK

23

Lo que no podemos ver → lo reemplazamos por precaución.

Lo que podemos medir → lo podemos optimizar.

¡Muchas Gracias!

24


SESIÓN 8
ESCANEA EL CÓDIGO QR
RESPONDE UNA BREVE ENCUESTA
CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE
7ª EDICIÓN
¡GRACIAS!

25