

Análisis y diagnóstico de falla en un rodamiento que opera a bajas vueltas

Lic. Juan J. Piñeyro¹, Ing. Andreas E. Klemppow^{1,2}

¹Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Delta.

Centro de Ensayos Estructurales (CENES),

Av. San Martín 1171. (2804) Campana. Pcia. de Buenos Aires. Argentina

Tel ó fax (03489) – 420400 / 420018 / 420249 / 437617

² KPS. Mantenimiento Predictivo. Lavalle 511. (2804) Campana.

Pcia. de Buenos Aires. Argentina.

e-mail: lescanov@frd.utn.edu.ar

Resumen

La mayoría de las fallas en los cojinetes a rodamientos involucran el crecimiento de discontinuidades en las pistas o elementos rotantes, las que al ir desarrollándose dan lugar a un cambio en el estado de vibración de dicho componente, que es lo que se desea detectar. Se han desarrollado diversas metodologías que permiten resolver el problema de detección e identificación de una falla en esta clase de componentes, pero a pesar de los avances logrados en el área de procesamiento de señales, todavía no es posible disponer de la aplicación de técnicas definidas que permitan resolver el problema de detección de fallas en rodamientos de muy bajas vueltas (< 10 rpm), debiendo en cada caso estudiar cual es la técnica que mejor puede adecuarse a cada caso en particular. El trabajo que se presenta en este informe está relacionado con los resultados de las mediciones llevadas a cabo sobre un rodamiento industrial de una torre portacuchara con una frecuencia de giro menor a 1 rpm. Se utilizaron datos de mediciones realizadas a lo largo de tres años, estando nuestro objetivo básico centrado en la implementación de un análisis basado en la aplicación de la función de autocorrelación a los datos obtenidos por medio de un filtrado pasa altos de la señal. La aplicación de esta técnica requiere de un análisis gráfico ayudada fundamentalmente por un conjunto de cursores gráficos que permitan determinar diferencias en tiempo relacionadas a frecuencias típicas de las fallas que se quieren detectar. El método se ha implementado en un sistema de medición de vibraciones basados en ocho canales de entrada de señales, una de las cuales corresponde a las necesidades del método.

1. Introducción

La clase de cojinetes más utilizados tanto en grandes como en pequeños equipos son del tipo antifricción (a bolas o de rodillos) debido a las ventajas que presentan en cuestiones relativas al mantenimiento, facilidad de instalación, bajo costo, etc. En muchos casos son los componentes más precisos dentro de la máquina, y a pesar de ello, sólo aproximadamente entre 10 a 20% de los rodamientos duran lo que deberían, debido a una variedad de factores. La mayoría de las fallas involucran el crecimiento de

discontinuidades en las pistas o elementos rotantes, las que al ir desarrollándose dan lugar a un cambio en el estado de vibración de dicho componente, que es lo que se desea detectar. Se han desarrollado diversas metodologías, tanto en el dominio temporal como en el de las frecuencias, que permiten resolver el problema de detección e identificación de una falla en esta clase de componentes, sin embargo y tal como se ha indicado en ⁽¹⁾, a pesar de los avances logrados en el área de procesamiento de señales, no es posible la aplicación de técnicas definidas que permitan resolver el problema de detección de fallas en rodamientos de muy bajas vueltas (< 10 rpm), debiendo en cada caso estudiar cual es la técnica que mejor puede adecuarse a cada caso en particular.

El trabajo que se presenta en este informe está relacionado con los resultados de las mediciones llevadas a cabo sobre un rodamiento industrial de una torre portacuchara con una frecuencia de giro menor a 1 rpm, similar al que utilizan las grandes grúas de puerto, y constituyen un complemento a los resultados presentados en ⁽¹⁾. Se utilizaron las mediciones obtenidas en las diferentes mediciones realizadas a lo largo de tres años (dos a cuatro por año), estando nuestro objetivo básico centrado en la implementación de un análisis basado en la detección de picos por medio de un filtrado pasa altos de la señal ⁽²⁾. Se estudiaron diferentes metodologías para la aplicación de esta técnica, encontrando finalmente que la más apropiada es la simple autocorrelación de los valores absolutos. La aplicación de esta técnica requiere de un análisis gráfico ayudada fundamentalmente por un conjunto de cursores gráficos que permitan determinar diferencias en tiempo relacionadas a frecuencias típicas de las fallas que se quieren detectar. El método se ha implementado en un sistema de medición de vibraciones basados en ocho canales de entrada de señales, una de las cuales corresponde a las necesidades del método ⁽⁵⁾.

2. Instrumentos utilizados

El sistema de adquisición de datos formado por una PC industrial Single Board Computer modelo JUKI 511P tipo MMX 300 MHz y RAM 256 MB, una tarjeta de adquisición de datos National Instruments Modelo 6034 de 16 bit y 200 kHz de frecuencia de muestreo máxima. Sistema de ocho canales con filtros antialiasing de frecuencia de corte seleccionable entre 20 Hz y 20 kHz, preamplificador de las señales y dos canales de trigger. El sistema permite adquirir señales de los ocho canales en forma simultánea con un máximo de 500.000 puntos por canal, procesamiento en tiempo y frecuencia de cada uno de los canales con una capacidad de análisis que incorpora la mayoría de las técnicas conocidas (funciones densidad de probabilidad, formas de onda, filtrado digital, espectros, métodos autorregresivos, funciones de correlación, demodulación con aplicación de la transformada de Hilbert, Cepstrum, análisis por detección de picos, métodos de descomposición en valores singulares, métodos adaptativos, promedios sincronizados en tiempo y frecuencia, funciones de correlación cruzadas, función transferencia, coherencia, etc., más otras capacidades que permiten comparar señales y espectros), además de un conjunto de rutinas gráficas que permiten mostrar los resultados en forma inmediata y realizar un análisis cuantitativo rápido mediante el uso de un conjunto de cursores que no sólo permiten la visualización inmediata de valores puntuales, sino que permiten detectar armónicos, bandas laterales, etc. El sistema posee también un conjunto completo de rutinas dedicadas al análisis de grandes rotores mediante el uso de sensores de proximidad (plot polar, Bode, Nyquist, diagramas en cascada, etc). Se utilizaron

acelerómetros de alta sensibilidad Brüel & Kjaer 4378 (315mV/g), Wilcoxon 728T- (500 mV/g) y Wilcoxon 777B (100mV/g) colocados en la pista interna en sentido axial y radial, en las posiciones indicadas en la Figura 1. Las posiciones 5 y 2 corresponden a las zonas de carga y colada respectivamente. EL rodamiento analizado consta de tres hileras de rodillos dos axiales y una radial, siendo la pista exterior la que gira. Las frecuencias de falla (dadas por el fabricante) de las pistas externa e interna (igual para ambas) para un periodo de giro de $T = 79,8$ seg. correspondiente a una frecuencia de giro de $f_r = 0.01243$ Hz (0.746 RPM) son de 1.45 Hz para la pista inferior, 1.80 Hz para la superior y de 3.98 Hz para la pista radial.

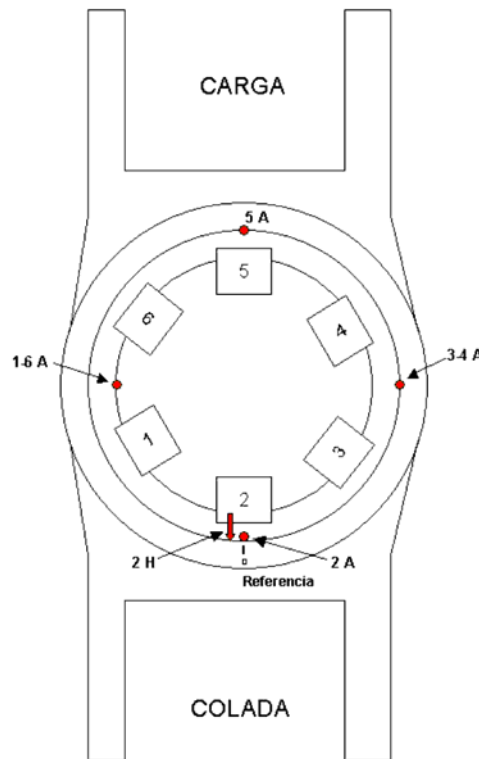


Figura 1. Esquema de la torreta de la máquina de colada continua.

3. Conceptos teóricos básicos del método por detección de picos

Muchas de las fallas que ocurren en componentes mecánicos de las máquinas rotantes se manifiestan a través de excitación modal (vibración) o bien, en su forma inicial por medio de ondas de tensión. La excitación modal puede detectarse por medio de acelerómetros, utilizando análisis standard a través de FFT y técnicas relacionadas.

Las ondas de tensión en metales se originan por acciones tales como impacto, fisuras por fatiga, superficies rayadas por desgaste abrasivo, etc. La emisión de ondas de tensión corresponden a pulsos temporalmente cortos (μseg a mseg), y resultan ser

eventos transientes que se propagan como ondas transversales (ondas-S) y longitudinales (ondas-p) a la velocidad del sonido en el metal; las primeras generan un riple sobre la superficie que excitan el movimiento de un acelerómetro en forma absoluta. Cuanto más grande sea el objeto que impacta, tanto mayor será λ (longitud de la onda) y por lo tanto menor la frecuencia f de la onda de tensión generada, cuyos valores oscilan de 1 a 15 kHz. Los transientes detectados por un acelerómetro en una determinada posición fija, son eventos cuya duración dependerá del tipo de problema que lo genera (ej. ondas de tensión producidas por impactos duran mas que aquellas originadas por el desprendimiento de tensiones residuales producidas por fatiga); la localización relativa del acelerómetro respecto al sitio donde se originan, y la severidad de la falla responsable de la emisión de ondas de tensión. El objetivo del presente trabajo es la detección de estos transientes por medio de técnicas de detección de picos

En las máquinas rotantes la ocurrencia mas frecuente se encuentra en la generación de ondas de tensión en rodamientos y engranajes, las que una vez generados se propagan hacia fuera del punto de inicio a la velocidad del sonido del medio particular (metal).

Un marco teórico para explicar la generación y detección de las mismas se puede construir utilizando la teoría de Hertz para impacto metal - metal y la teoría de ondas para la propagación de ondas de tensión en un metal. Las ondas de tensión que se generan por el impacto de una esfera metálica en una placa grande son del tipo flexural, con una duración del impacto de aproximadamente $T/2$, donde T es el período de la onda. La banda de frecuencias excitadas debido al impacto de esferas depende de su tamaño y de la velocidad de impacto. Por ejemplo, los tiempos de contacto para una bola de aproximadamente 12.5 mm de diámetro son de 30-40 μseg , lo que significa que una atenuación de 10 dB se obtiene en aproximadamente 30 kHz.

4. Detección de las ondas de tensión generadas en las máquinas rotantes.

En la sección precedente hemos discutido la forma en que se pueden generar las ondas de tensión e indicado la banda de frecuencias posibles según la situación, que para el caso de máquinas rotantes resultan ser ondas de tensión por flexión⁽³⁾⁽⁴⁾. La velocidad de propagación es proporcional a \sqrt{f} lo que implica dispersión dentro del paquete de ondas generado cuando se detectan las mismas en posiciones alejadas del lugar de iniciación de la onda (la amplitud del evento disminuye y la duración aumenta a medida que nos alejamos del punto de origen del problema). Además de la difusión del paquete de ondas, la atenuación de las mismas también depende de la frecuencia, atenuándose mas rápido las componentes de alta frecuencia respecto de las de baja frecuencia a medida que el punto de observación este mas lejos del punto origen de las ondas, lo cual se debe a que la velocidad de propagación es $\approx \sqrt{f}$. Esto es particularmente cierto cuando las ondas de tensión deben cruzar interfaces tales como eje o pista interna de un cojinete, y el punto de observación se encuentra en la estructura de la máquina.

La conclusión es: las componentes de mayor frecuencia se atenúan más rápidamente que las inferiores. Aún teniendo en cuenta que por impacto se generan ondas de tensión $> 100\text{kHz}$ (por impacto, fricción y fatiga) las posibilidades de transmisión a una localización del sensor alejado del lugar donde se producen es muy pequeña.

Algunos aspectos prácticos a tener en cuenta en la detección de estos eventos son:

- Debido a la dispersión del paquete de ondas de tensión, lo que resultaría aconsejable es colocar el sensor lo más cercano que sea posible al punto de inicio de la onda de

tensión. En el caso de cojinetes esto debe ser lo mas cercano posible a la cajera, preferentemente en la zona de carga.

- Los ondas de tensión se propagan en todas las direcciones. Por lo tanto las direcciones de monitoreo “axial”, “vertical” u “horizontal” son un problema de menor importancia (respecto a un monitoreo standard de vibraciones) que la de montar el sensor cerca de la zona de carga.
- Las ondas de tensión producen un ripple , por lo que cualquier sensor que sea sensible al movimiento absoluto de altas frecuencias generadas por las mismas sirve para los propósitos de detección, esto incluye por consiguiente a un acelerómetro con un ancho de banda suficientemente ancho, sensor ultrasónico, strain gauge, etc.
- De hecho el instrumento más utilizado es el acelerómetro. El ancho de banda depende de su diseño y del montaje. Una sensibilidad típica 100 mV/g es suficiente para la detección de estos transientes. Hay casos especiales donde es a veces necesario tener una mejor sensibilidad, que en general ocurren para muy bajas vueltas (<5 a 10 rpm). En estos casos se pueden requerir sensibilidades de 500 mV/g o 1000mv/g
- La salida analógica del acelerómetro incluye tanto información clásica (vibración) como ondas de tensión en todo el rango de respuesta del sensor. La señal de vibraciones implica filtrar a la mitad de la frecuencia de muestreo y luego digitalizar. En cambio para separar y detectar las ondas de tensión es necesario utilizar un filtro pasa-altos analógico y luego digitalizar para post-procesar la información.
- Los parámetros importantes a capturar en una onda de tensión son: amplitud de cada evento, tiempo aproximado que se requiere para detectar cada evento y rapidez de ocurrencia de los eventos (periódica o no)

El método basado en la detección de ondas de tensión o PeakVue según ⁽²⁾ es un método que suministra información sobre los tres parámetros anteriores. La metodología es la siguiente: Se selecciona Fmax (máxima frecuencia a capturar), se adquieren datos a una velocidad de $2.56 * F_{max} = f_s$ (frecuencia de muestreo, $1/f_s = \Delta t$, incremento de tiempo en el que se captura un valor pico); donde la captura se efectúa en forma secuencial hasta acumular un bloque de datos (número de puntos deseados, depende del usuario).

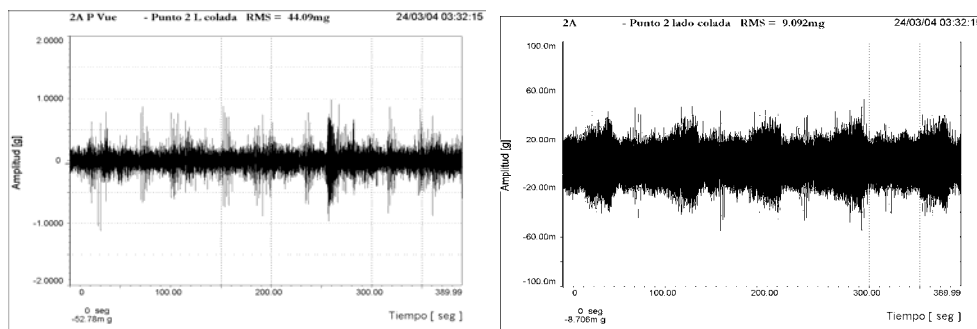
Para el análisis de los datos así adquiridos procede de la siguiente manera:

1. Se efectúa un examen de los valores picos del bloque de datos temporales, buscando aquellos que incurran en una figura consistente. Hay que tener en cuenta además que estos valores pueden seguirse por medio de un análisis de tendencias, además de su utilidad para evaluar la severidad de una falla.
2. El análisis de la presencia de impactos repetibles se deberá relacionar con la velocidad de rotación de algún componente de la máquina. Normalmente esto se efectúa por medio de una FFT.
3. Suele ser conveniente (y a veces necesario) utilizar la función de autocorrelación sobre el bloque de datos adquiridos, ya que una de las capacidades primarias de esta función estadística es la de extraer una señal periódica de otra on componentes significativos de ruido no periódico.

Uno de los propósitos fundamentales en la aplicación del proceso de demodulación o Peak-Vue es el de detectar solamente la energía asociada con eventos impulsivos, para lo cual deben eliminar componentes rotacionales a fin de poder identificar claramente la fuente de impacto.

5. Análisis de las Mediciones Realizadas

En esta sección se analizan por medio de la técnica de detección de picos las señales obtenidas como resultado de una campaña de mediciones periódicas que se llevaron a cabo sobre un rodamiento industrial de una torre portacuchara con una frecuencia de giro menor a 1 rpm similar al que utilizan las grandes grúas de puerto. Las mismas se efectuaron con un conjunto de acelerómetros de alta respuesta en frecuencia con la disposición indicada en la Figura 1 utilizando un equipo de adquisición con ocho canales tal como ya se ha descrito. El objetivo fundamental de las presentes mediciones es detectar el estado del rodamiento FAG 549556 de una torre portacuchara, utilizando una variedad de diferentes técnicas espectrales, algunas de las cuales están descritas en ⁽¹⁾. El presente análisis está centrado en los resultados obtenidos con la técnica de detección de valores picos. A efectos de comparación se incluyen resultados con la envolvente presentados en [1].



Figuras 2 y 3. Se grafican las señales de los acelerómetros en la posición 2A (ver figura 1). La segunda se obtuvo filtrando la misma con un filtro pasa altos.

En las Figuras 2 y 3 se comparan para la posición 2 del acelerómetro de Figura 1, las señales filtradas (PeakVue) y no filtradas del mismo para una medición del año 2004.

En la siguiente Figura 4 se observan las mismas señales realizadas durante el año 2005. En las mediciones correspondientes a la Figura 2 y 3 ambos conjuntos de mediciones poseen las mismas características: en una vuelta completa ocurren aproximadamente dos zonas de impacto en la señal filtrada, mientras que en la correspondiente al otro acelerómetro, en la misma posición, ellas no son fácilmente detectables, mientras que para el segundo conjunto de medidas representados en la Figura 4, se observa que ambas mediciones presentan zonas claras de impacto.

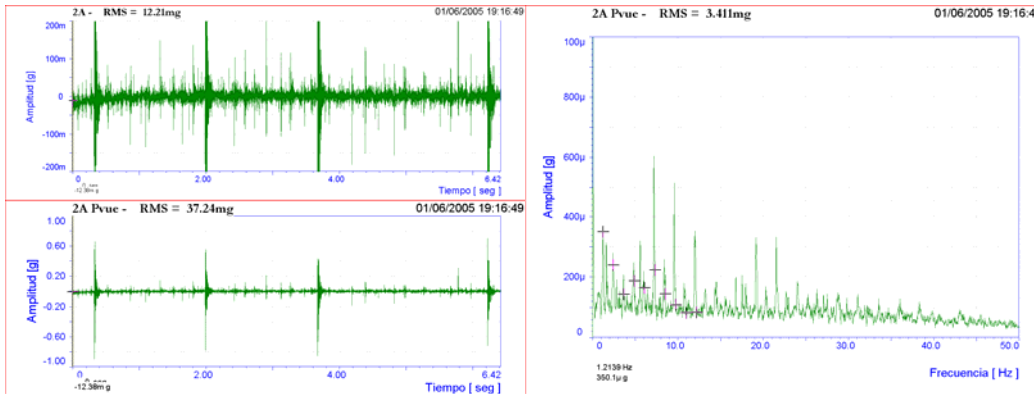


Figura 4. Idem Figuras 2 y 3 durante una medición realizada en 2005. La parte inferior es la señal procesada nalógicamente con un filtro pasa-altos.

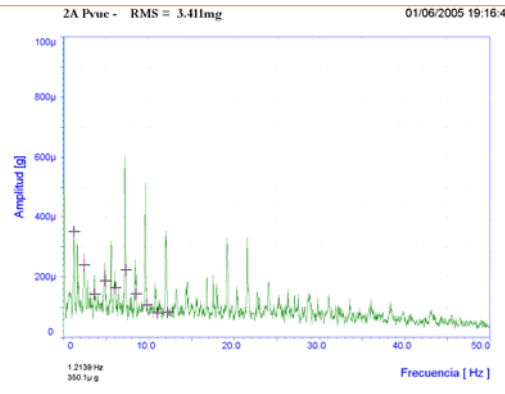


Figura 5. Espectro de la envolvente de la señal superior de la Figura 4. Se observa la frecuencia de engrane de giro de la torre en aproximadamente 1.21 Hz.

El análisis espectral de la señal de la Figura 4 superior, filtrada y decimada por un factor 10, (que implica un re-muestreo de la señal tomando un dato cada 10 con lo que se aumenta la resolución espectral en el mismo factor) muestra básicamente la presencia de la frecuencia de engrane de giro de la torre en 1.21 Hz, junto a sus armónicos. No se identifica ninguna otra componente de interés en el mismo, lo que implica que hasta esta fecha el cojinete se encontraba en buen estado. Los resultados se muestran en la Figura 5.

Las siguientes figuras muestran algunos de los resultados obtenidos durante el año 2006. La Figura 6a muestra la señal del acelerómetro donde es muy difícil distinguir la presencia de picos correspondientes a impactos, ni aún los que están relacionados a la frecuencia de engrane de la torre. El espectro lineal de esta señal se observa en la Figura 6b. En la zona de bajas frecuencias no se detectan frecuencias típicas de fallas para este rodamiento. Una característica observable al comparar la Figura 4 superior y la Figura 6a es que esta última posee un mayor nivel de ruido, lo cual se deba probablemente a la excitación de la resonancia en ≈ 0.4 kHz, producto posiblemente de impactos debido a la posible falla de algún componente del rodamiento, y una mejor lubricación que explicarían la disminución en los niveles de los impactos en 1.20 Hz.

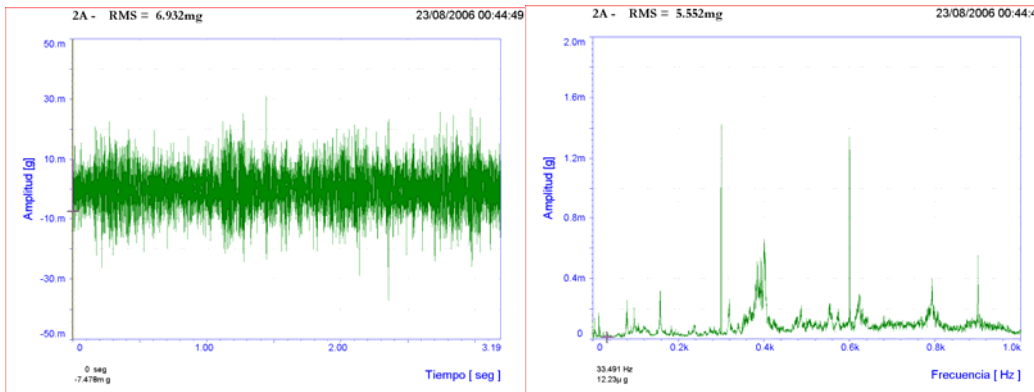


Figura 6a y b. Señal del acelerómetro colocado en la posición 2 de la Figura 1 y el espectro lineal correspondiente.

La Figura 7 muestra el espectro de la envolvente para una señal similar obtenida en mediciones de febrero de ese año. En ella ya fue posible detectar la presencia de una posible falla correspondiente a la BPFO y BPFI de la pista inferior del rodamiento. La frecuencia encontrada es de ≈ 1.58 Hz, que se aproxima a la de 1.45 Hz indicada en el apartado 2.

En la Figura 8 se muestra la señal de valores picos obtenida del acelerómetro en la posición 2A (Figura 1) filtrando la misma con un filtro pasa altos con una frecuencia de corte en 1000Hz y una frecuencia de muestreo de 2560 Hz. Comparando esta con la correspondiente a la mostrada en la parte inferior de la Figura 4, vemos que la estructura temporal de impactos es diferente, lo que unido al resultado obtenido con la envolvente motivó una investigación adicional de esta señal.

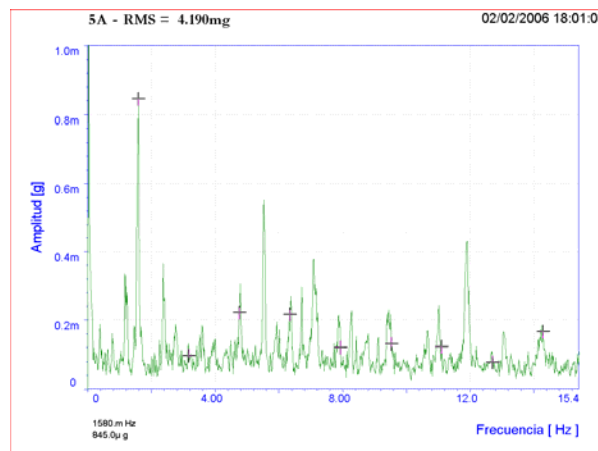


Figura 7. Espectro de la señal envolvente para una medición de febrero de 2006 donde se observa una componente en 1.58 Hz con sus armónicos, además de la frecuencia de engrane en 1.20 Hz.

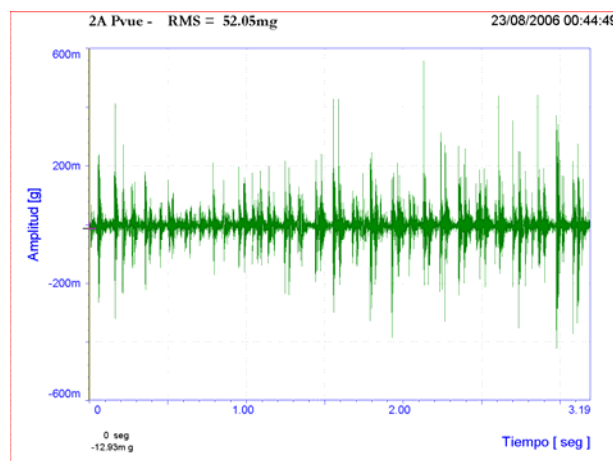


Figura 8. Señal de valores picos obtenida con el acelerómetro en posición 2A

La Figura 9 muestra en la parte inferior la función de ACF estimada a partir de los datos originales (señal de acelerómetro filtrada con un filtro pasa-altos) utilizando la metodología de estimación directa según ⁽⁵⁾, mientras que la parte superior de dicha figura muestra la misma función para la señal postprocesada, utilizando idéntica metodología de estimación que en el caso anterior. En este caso se efectuó una investigación adicional. Dado que lo que se pretende encontrar es la presencia de valores picos, se desarrolló un programa que permite el cálculo y graficación del factor de cresta con la posibilidad de variar la cantidad de puntos que se toma para el cálculo de la misma. El resultado final permite deducir que la mejor opción se encuentra en la elaboración de dicha cantidad para pocos puntos, razón por la cual nuestros cálculos se centraron en tomar todos los valores de la señal sin calcular dicho factor. El resultado de la figura anterior muestra que para la medición del 2005 la única línea característica observable corresponde a la frecuencia de engrane de la torre. Es también observable que la ACF de los datos sin procesar no muestra ninguna característica sobresaliente.

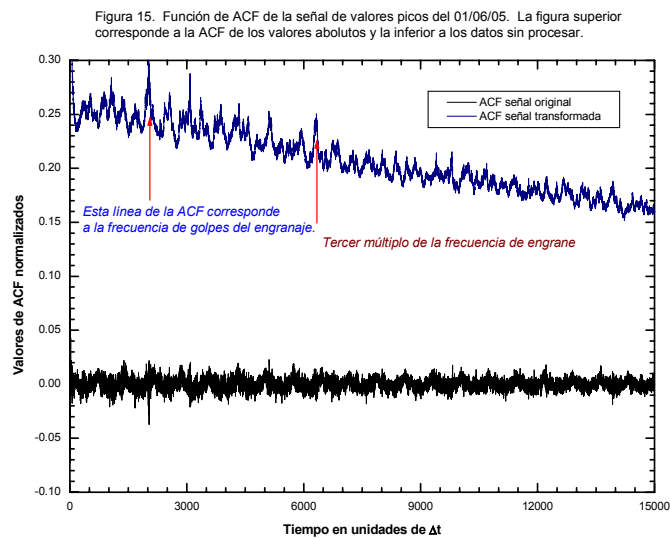


Figura 9. ACF de la señal de valores pico del 01/06/05.

La siguiente Figura 10 muestra los mismos cálculos realizados sobre los datos obtenidos en una medición de 2006. En este caso la estructura de picos de la ACF está mucho más definida, y algunos de los picos pueden relacionarse con valores típicos de las frecuencias de falla del rodamiento ya mencionadas en el apartado 2, particularmente el indicado en el gráfico que responde a una frecuencia de un golpe que se repite cada 1.42 Hz junto a múltiplos del mismo. Es de hacer notar que en una función estadística de este tipo, una función periódica tiene una ACF periódica, la cual depende del período de la misma y de la forma de onda. Recordemos que la figura superior representa la ACF de los valores absolutos, mientras que la inferior la correspondiente ACF de los datos temporales tal como fueron adquiridos. Aún así, esta última función naturalmente muestra picos en las mismas posiciones que la figura superior, lo que refuerza la conclusión de la presencia de impulsos repetitivos en la señal. El análisis de los restantes picos no puede relacionarse a ninguna de las restantes frecuencias indicadas en el apartado 2. Es de observar una línea en la ACF

correspondiente a los impactos producidos por la frecuencia de giro de la torre, pero no se pueden detectar armónicos.

Notemos además la diferencia de formas en la ACF para los dos casos presentados, lo que indicaría la validez de este método para identificar posibles fallas en este tipo de rodamiento. Es también necesario indicar que el procesamiento de esta función se efectúa con una parte pequeña de los datos, por lo que el mismo análisis se repitió en diferentes tramos de la señal, siendo los resultados totalmente similares a los presentados en las Figuras 9 y 10 (se tomaron 15000 puntos de ACF en cada caso). Naturalmente, para seleccionar los tramos de señal a analizar nos debemos guiar con la forma de onda adquirida, eligiendo aquellos que posean una determinada presencia de picos. Es de recalcar que las características de esta señal, fuertemente no estacionaria, enmascarada por la presencia de impactos de diferente origen, más la presencia de ruido en la zona de altas frecuencias, dificultan fuertemente el análisis con las técnicas tradicionales por lo que nos vemos llevados a recurrir al uso de técnicas de análisis más específicas que deben analizarse mediante la intervención de personal entrenado a tales fines.

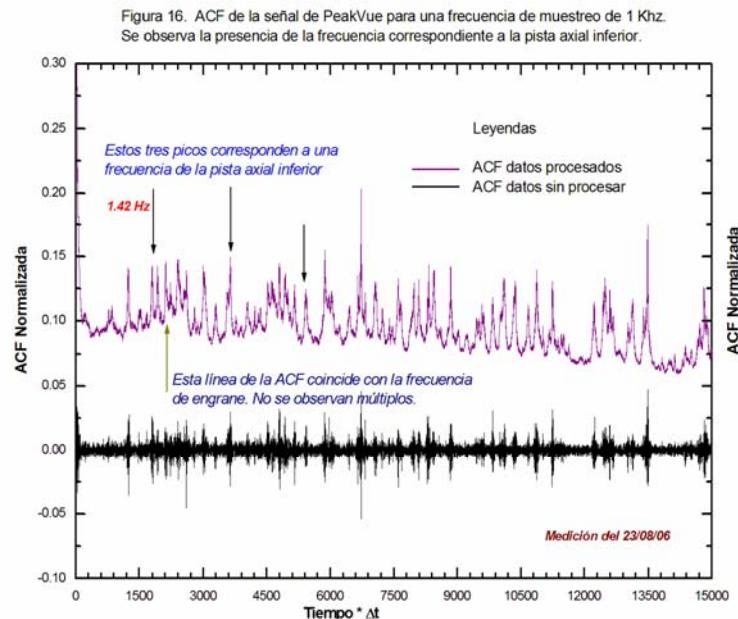


Figura 10. ACF de la señal de valores picos para una frecuencia de muestreo de 1kHz

En un próximo trabajo se publicarán resultados de estas mediciones utilizando otras dos técnicas típicas en aplicaciones a problemas de transientes: el uso de las wavelets y la técnica de descomposición en autovalores de la matriz de autocorrelación de los datos.

Por último, en la Figura 11 se presentan datos similares a los presentados en las dos figuras anteriores de la medición realizada el 20/02/07, luego del cambio del rodamiento en cuestión realizado durante finales del mes de enero del mismo año. Estos datos corresponderían al de este componente en buen estado. La única frecuencia que es posible identificar sin inconvenientes es la correspondiente a la presencia de impactos

debido a la frecuencia de engrane del giro de la torre en aproximadamente 1.20 Hz. No es posible identificar picos correspondientes a las frecuencias de fallas en componentes de este rodamiento, aunque en esta primer medición es detectable nuevamente la presencia de la frecuencia en aproximadamente de 1.46 Hz, aunque no se observan armónicos. Naturalmente será necesario medir la evolución de estas líneas de la ACF pues es probable que las mismas estén inicialmente presentes por ser el rodamiento nuevo.

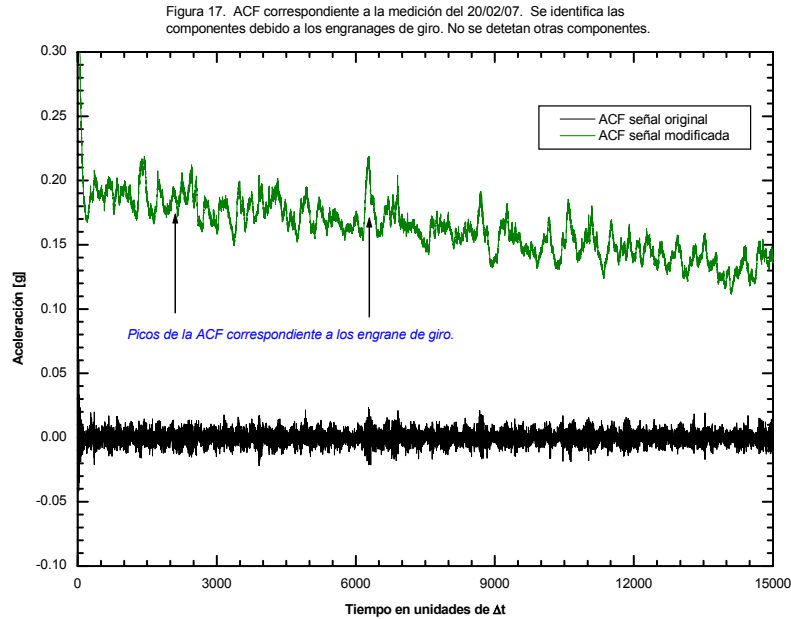


Figura 11. ACF correspondiente a la medición de 20/02/2007 con rodamiento nuevo.

Por otro lado, no se observa ningún detalle anómalo en la ACF obtenida de los datos sin procesar. Hay que mencionar además que en todos los tres casos presentados se observa un primer pico que corresponde a una frecuencia de aproximadamente a 2.05 Hz, la cual no se correlaciona con ninguna de las frecuencias que corresponden a fallas en el rodamiento estudiado. Finalmente, una característica de la ACF que por el momento es difícil de explicar ya que no se puede correlacionar con frecuencias conocidas del sistema, es la línea en 2.64 seg de la ACF (con un armónico) que aparece en la Figura 10 y no se observan en las otras dos, la cual al menos deberá tenerse presente en futuros análisis de este rodamiento.

6. Conclusiones

Este trabajo es una continuación de uno previo en donde se presentaron resultados de la aplicación de diferentes metodologías para detectar fallas en componentes de un cojinete a rodamientos de muy bajas vueltas, donde hemos utilizado una técnica de análisis basada en la ACF de los valores picos de la señal proveniente de un acelerómetro, convenientemente filtrada y amplificada, y con el objetivo de detectar la

presencia de impactos producidos por posibles fallas en algún componente de este rodamiento.

Se analizaron las mediciones realizadas durante los años 2004 a 2006. Los resultados obtenidos durante 2004/05 son similares, y esencialmente no muestran características particulares salvo la presencia de una frecuencia de engrane en 1.20 Hz. En la medición de junio de 2006 se observa un cambio notable en la forma de la ACF con la presencia de picos en esta función que pueden asociarse a la BPF1/BPFO de la pista inferior del rodamiento junto a sus armónicos. Teniendo en cuenta que esta es la única medición disponible con estas características (por razones operativas no fue posible disponer de las mediciones de diciembre de 2006 y enero de 2007), la conclusión no puede tomarse como definitiva. Sin embargo, los resultados analizados en las mediciones de febrero de 2007 luego del cambio de rodamiento vuelven a dar resultados similares a los obtenidos durante las mediciones de 2004/2005, lo que refuerza la hipótesis de falla hincada en la medición de junio de 2006. En la misma se observan además dos líneas importantes en la ACF (que no están presentes en las otras mediciones), y corresponden a una frecuencia de aproximadamente 0.38 Hz una y la otra un múltiplo.

Durante el proceso de estimación se debe tener especialmente cuidado en el tramo de señal donde se va a calcular la ACF, para lo cual es necesario ayudarse visualmente con la señal original. Además se efectuarán mejoras en el método de estimación para eliminar las fuentes de ruido aleatorio.

7. Referencias:

1. Klemponow A.E. y Piñeyro J.J., "Análisis de las mediciones Realizadas en un Rodamiento que opera a Bajas Vueltas", trabajo presentado en el 6° Congreso Binacional CONAMET/SAM 2006, 28/11/06 al 01/12/06, Sgo. de Chile.
2. J.C. Robinson & J.E. Berry , "Description of peak Vue and Ilustración of its Wide Array of Applications in Fault Detection and problem Severity Assesment" Emerson Process Management Reliability Conference, 2001, October 22-25 (2001).
3. Willian H. Hoppun I I "Effect of impact on structures", Shock and vibration handbook , ed by Cyril M. Harris, 4th edition, Mc Graw- Hill.
4. Charles W Mayo et. Al., "Loose part monitoring System Improvements", EPRI. NP-5743, March 1988.
5. Bendat J.S. and Piersol A.G., "Random Data", 3rd edition, Wiley-Interscience, John Wiley&Sons, Inc.