



## **Prospección de nuevas tecnologías para el diagnóstico y mantenimiento de máquinas eléctricas rotativas. Caso práctico.**

**Ariel Guerrero, Raul Franco, Diego Gamarra**

**Fundación Parque Tecnológico Itaipu**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

Tradicionalmente las máquinas eléctricas se habían considerado como elementos con muy bajo índice de averías. Sin embargo considerando la importancia de que dichas máquinas se encuentran con frecuencia en puntos vitales de sistemas de gran complejidad, se hace cada vez más necesario el control de funcionamiento para detectar indicios de una posible avería.

Los avances más recientes en los campos de electrónica y la informática han estimulado el desarrollo de nuevos dispositivos para el análisis de las máquinas en tiempo real, las cuales en un futuro cercano probablemente formarán parte de éstas, permitiendo la aplicación de las técnicas de mantenimiento.

Es importante destacar que en ocasiones, las máquinas no pueden ser sustituidas aún cuando sufran averías debidas a insuficiencia en sus especificaciones originales, sobre todo si se trata de máquinas de gran tamaño y, por lo tanto elevado coste.

Por ello, se ha diseñado una bancada de estudio de vibración y temperatura en máquinas eléctricas rotativas, el cual será el motivo de la explicación de este artículo, desde el diseño, pruebas y resultados obtenidos.

### **PALABRAS CLAVES**

Máquinas Electricas Rotativas, Vibración.



**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016**

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las máquinas eléctricas rotativas son parte esencial de la industria. La degradación de sus componentes es inevitable. Por lo tanto el proceso de diagnóstico y mantenimiento asumen relevancia. La introducción de un diagnóstico automatizado ayuda a realizar un mantenimiento preventivo que ayuda a funcionar el sistema a niveles aceptables sin llegar necesariamente al punto de falla. El nuevo enfoque de mantenimiento consiste en un monitoreo continuo, gracias al avance de la tecnología electro-informática. La introducción de computadoras embebidas de alto rendimiento y costo bajo, permiten el análisis adicionales y la reducción de datos generados., Además permite un monitoreo remoto mediante accesos de red.

## **2. CONSIDERACIONES GENERALES**

Dentro de los parámetros, la vibración es el parámetro más simple ofrece mucha información acerca de el estado de salud de los componentes de una máquina. Mediante frecuencias establecidas es posible detectar las fallas eléctricas más comunes como: desbalance del eje, desviaciones del eje, pérdida de ajuste en tornillos, desalineaciones de acopladores, rulemanes desgastados o con daños internos, influencias electromagnética de los devanados, fuerzas aerodinámicas y engranajes defectuosos por pérdidas o roturas de sus muescas internas.

La herramienta para el monitoreo de vibración es la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Permite centrar la atención en espacio de frecuencias particulares o entender las características completas de los componentes mecánicos, incluyendo la amplitud, frecuencia, fase, armónicos, bandas laterales, etc.

Cada conjunto de fallas tiene su espectro básico. Las mediciones necesarias para analizar los rodamientos en los rulemanes son las aceleraciones de los impactos de las esferas a través de sus canales. Hay cuatro señales principales: La frecuencia del roce con la esfera en el borde exterior, la frecuencia del roce con la esfera en el borde inferior, la frecuencia de giro de la esfera y la frecuencia fundamental del canal interno. Cada kit de rulemanes tiene sus frecuencias correspondientes de vibración y sus patrones normales de fabrica. En los ejes, las pérdidas están enfatizadas por el desbalance. Existen dos tipos: perdidas de rotación y perdidas de rulemanes. Aparecen como muchos armónicos con la velocidad del eje. En los engranajes, las señales de ondas de tiempo aparecen de manera regular y son de mayor amplitud que las frecuencias de rotación. Si se cuentan con acopladores pueden aparecen los desalineamientos que causan vibraciones angulares y no incrementan la velocidad.

Con la introducción de puntos de adquisición distribuidos, se genera gran cantidad de información, para lo cual la mejor manera de manejarla es establecer esquemas de alarmas y una clasificación de severidad. Aclarando que un esquema de alarma no es lo mismo que una de severidad. El sistema debe generar una alarma, entonces el analista determina una prioridad. Las notificaciones de las alarmas características son útiles para ordenar la información. Para un sistema de mantenimiento, colocar niveles de alarmas es un trabajo significativo cuando se trabaja con un sistema de monitoreo de condición. Seleccionar los niveles iniciales de alarmas se condiciona como una tareas crítica. Como regla inicial, utilizar como referencia los estándares ISO 7919 y 10816, las sugerencias de los fabricantes son un buen punto de inicio. Los parámetros como regla básica requiere analizar el pico a 6 g y la velocidad de 15 mm/s.

### 3. DISEÑO DE LA BANCADA

La bancada consiste en un modelo a escala de una máquina eléctrica rotativa, instrumentada con equipos para la adquisición de datos mediante sensores colocados estratégicamente, además de poder comunicar estos datos a un sistema de procesamiento y almacenamiento de los datos.

#### 3.1. Arquitectura de la Solución

Los datos son adquiridos automáticamente y son transmitidos al servidor en donde son almacenados. El software calcula los indicadores de condición y también administra los sistemas basados en CompactRIO. Los datos entonces están disponibles para visualización y análisis remotos.



Cuando una alarma es configurada, descargada al sistema CompactRIO y sus condiciones son disparadas. De igual manera, una alarma puede ser disparada por pronósticos externos o software de reconocimiento de patrones que se ejecuta en la infraestructura del servidor.

#### 3.2. Hardware

La máquina eléctrica rotativa está compuesta por un motor eléctrico AC acoplado mecánicamente a un eje con pesas equilibradas a las cuales se le pueden agregar contrapesos de manera a generar vibraciones.

Para la adquisición de los datos se utilizan dos tipos de sensores, sondas de proximidad y acelerómetros, los cuales van conectados a una unidad de adquisición de datos, en este caso se utilizaron dos equipos para la pruebas. Uno de los equipos es el NI cDAQ-9184 y el otro el NI cRIO-9068 ambos de la empresa National Instruments.

Las sondas de proximidad son instaladas formando 90° con la máquina. Esto permite al analista ver exactamente cómo el eje se mueve respecto al apoyo. Los diagramas de órbitas son comúnmente usados para visualizar este movimiento. Aquí se pueden detectar desalineación, desequilibrio y otra serie de fallos. De esta forma se pueden detectar grietas en el eje, así como los cambios dinámicos de este. Los acelerómetros deben ser ubicados en los ejes a fin de adquirir las vibraciones de los rodamientos.

Los nodos embebidos de adquisición de datos desarrollados con la plataforma robusta y reconfigurable CompactRIO adquieren datos desde una gran cantidad de tipos de sensores, en intervalos periódicos y definidos por el usuario, y también escribe datos desde equipos críticos durante eventos transitorios como arranque y apagado.

En la ilustración 1 se puede observar la bancada, los sensores y la unidad de adquisición de datos.

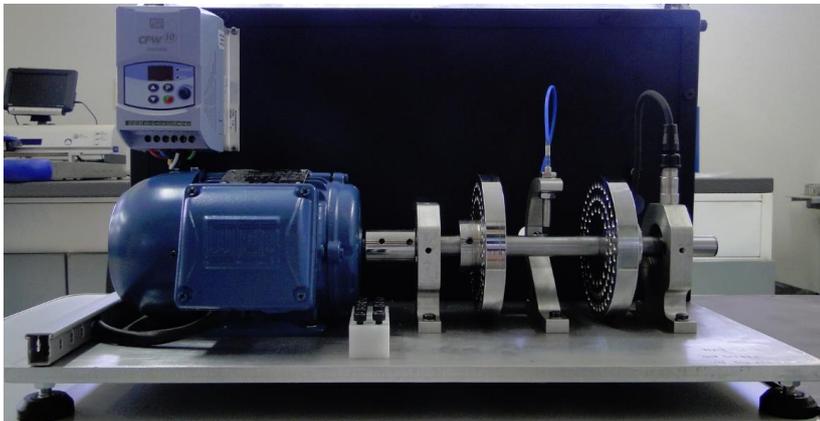


Ilustración 1 Bancada de pruebas

Los datos adquiridos son transferidos mediante el protocolo TCP/IP a una PC o a un servidor para su procesamiento e interpretación de la señal.

### 3.2 Software

En la realización de pruebas se utilizó el lenguaje LabView para desarrollar interfaces de prueba. Otras herramienta utilizada fue Signaling Express de National Instruments para capturar de manera ágil los datos. Para evaluar sistemas comerciales, se utilizó el software InsightCM, es una solución de software para monitoreo de condición en línea que ayuda a los técnicos a tener mayor conocimiento del estado de su equipo rotativo para programas de operaciones y mantenimiento. Este paquete puede adquirir y analizar medidas, generar alarmas, permite a los especialistas de mantenimiento visualizar y administrar datos y resultados y simplifica la administración remota de grandes cantidades de sistemas de monitoreo remoto. Se hizo uso de las librerías de LabView, que proporciona un extenso conjunto de algoritmos para analizar datos de forma de onda dinámica y calcular características clave e indicadores de condición para determinar el estado de la bancada.

Se aprovecha el formato abierto TDMS y su tecnología comprobada para extraer grandes conjuntos de datos de ingeniería. El paquete utiliza jerarquías de datos estándares en la industria para correlacionar canales y dispositivos con sensores y equipo, para usar el espacio en disco de manera eficiente.

Para el procedimiento de detección de fallas utilizando inteligencia artificial, se decidió utilizar redes neuronales, de esta manera no será necesario contar con un experto que constantemente vigile los datos y gráficos adquiridos. Las redes neuronales son entrenadas con valores de entrada y las salidas deseadas. Y una vez entrenadas, podrán reconocer los patrones de datos a las diferentes fallas. Como la adquisición de datos fue realizada utilizando hardware de National Instruments, fue necesario contar con la funcionalidad de redes neuronales desde LabView. Por lo tanto se decidió hacer un wrapper de la librería en C para redes neuronales llamada FANN (Fast Artificial Neural Network) en C con las funciones de creación, entrenamiento y ejecución. Dicho wrapper fue convertido en una librería dinámica, que luego es importado en LabView.

Se crearon los VIs correspondientes que se encargan de la carga de la librería dinámica para las diferentes funcionalidades y del manejo de los archivos de la misma.

Para la puesta en práctica se requiere varias mediciones con ejemplos del funcionamiento normal de la bancada y también ejemplos de desperfectos, crear la red neuronal que acepte dichos datos, y luego realizar el entrenamiento para contar con la red entrenada que será utilizada en producción.

#### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Al motor se lo hace funcionar de manera libre. Se van agregando pesas en los discos giratorios para inducir fallas. Para el caso, producir un desbalanceo en el eje central. El objetivo del procedimiento es inicialmente determinar las frecuencias de vibración natural para establecer el rango en que se desea alertar acerca de un funcionamiento fuera de los parámetros satisfactorios. Los datos son adquiridos y procesados en los mismo equipos de adquisición, enviando los datos filtrados al servidor.

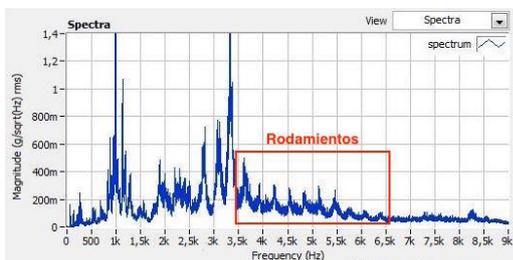


Ilustración 2: Sin pesas

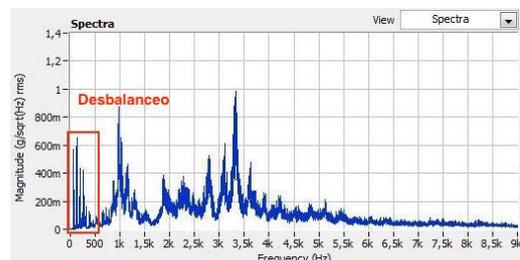


Ilustración 3: Con pesas de desbalanceo

#### 5. CONCLUSIÓN

La construcción de una bancada de pruebas ayuda a probar los conceptos teóricos sobre detección de fallas mediante vibraciones. La plataforma permite entrenar y desarrollar sistemas que puede ser utilizados para diagnosticar y realizar mantenimiento preventivos de maquinarias sin importar el tamaño. Puede ser fácilmente ajustados. Su uso principal sería comprender el estado de maquinaria rotativa crítica y equipo rotativo auxiliar para optimizar el rendimiento, maximizar el tiempo de operación, reducir costos de mantenimiento e incrementar la seguridad. Mediante la integración de los algoritmos y conocimientos en sistemas, los especialistas de mantenimiento pueden visualizar de manera remota gráficas estándares en la industria, registrar tendencias históricas, correlacionar datos con eventos y comparar conjuntos de datos actuales con aquellos registrados anteriormente.

Por lo cual, las herramientas que se pueden desarrollar puede ser útiles y ahorrar en costes.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Vibration 101. National Instruments. Johnson, Preston. USA, 2015.
- [2] Plavitem. Fundación Parque Tecnológico Itaipu. Guerrero, Ariel. Paraguay. 2013.
- [3] Justificación de Sensores. Fundación Parque Tecnológico Itaipu. Franco, Raúl. Paraguay. 2016.