

# ADRE, uso intensivo del ploteo orbital en el diagnóstico de turbogeneradores

**E. Palomino Marín**

Centro de Estudios Innovación y Mantenimiento.  
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.  
Calle 127 s/n, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba  
Teléfono: +(537) 2671872 Fax: +(537) 2672046  
E-mail: [epalomino@ceim.ispjae.edu.cu](mailto:epalomino@ceim.ispjae.edu.cu)

(Ponencia recibida para ser presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, Ciudad de la Habana, Septiembre 2000)

## Resumen

Múltiples son los atributos positivos que caracterizan a los sistemas *on-line* para el monitoreo y análisis de vibraciones en la maquinaria industrial. Sin embargo, en muchas ocasiones estos sacrifican su capacidad de análisis en aras de resumir los resultados de las mediciones, con el ánimo de facilitar al especialista —a un golpe de vista— el chequeo de la evolución de los niveles de vibraciones en la máquina objeto de seguimiento. El presente trabajo resume experiencias significativas obtenidas como resultado de la interconexión del sistema de monitoreo *on-line* *VIBROCONTROL*®, instalado en un turbo generador de 100 MW de potencia, con el sistema multicanal *ADRE*®, empleado como sistema de monitoreo *off-line*. Los resultados más sobresalientes de la investigación, se sustentan en el aprovechamiento de la presencia de transductores de movimiento relativo y transductores sísmicos bajo la supervisión del *VIBROCONTROL*®, a través de los cuales y con la intervención del sistema *ADRE*®, se logran identificar insuficiencias en el monitoreo *on-line* y se diagnostican defectos vigentes en el turbo generador, incluyendo secuelas dejadas en éste por defectos transitorios.

**Palabras transductor sísmico, transductor de corrientes de eddy, órbita, fase, Keyphasor.**

## 1. El monitoreo *on-line*

Sin dudas, la garantía de disponibilidad exigida por las máquinas críticas, presupone el empleo de técnicas de diagnóstico y tecnologías predictivas que garanticen tales propósitos. Los turbo generadores resultan uno de los mejores ejemplos de este tipo de máquina, justificándose en estos la instalación de sistemas de monitoreo *on-line*, que aunque muy costosos, son amortizados en un tiempo relativamente breve, dado el incremento drástico de la disponibilidad en las máquinas donde funcionen correcta y eficazmente.

De manera que, la continuidad en la producción, la preservación del capital invertido, la protección del medio ambiente y la reducción de los costos de operación, sólo pueden ser garantizados a través de un sistema de mantenimiento eficiente que permita la predicción del fallo y la planificación correcta de las actividades de mantenimiento y reparación.

Tales objetivos sólo pueden ser garantizados si de manera continua se monitorea la condición de la máquina y sus componentes, si se detectan de manera

temprana las posibles irregularidades en la condición operacional de la máquina y si se logra el “disparo” oportuno de la máquina ante la inminencia de una condición peligrosa.

## 2. Medición de la fase de las vibraciones

La medición de fase reporta gran utilidad en el diagnóstico de maquinarias y estructuras [2,5], toda vez que este parámetro contribuye a esclarecer cuál es realmente el origen del problema detectado. Desde luego, para poder medir (definir) la fase de las vibraciones, resulta imprescindible establecer una referencia, en cuyo caso se utilizan señales de índole transitoria, generadas por transductores de corrientes parásitas u ópticos. Tales transductores generan —en la inmensa mayoría de los casos— un pulso eléctrico por cada vuelta del rotor.

En cualquiera de los dos casos, sea de tipo óptico el transductor o de corrientes parásitas, éste producirá un pulso eléctrico cada vez que la referencia de fase pase

por delante del transductor. La Figura 1 muestra una instalación típica para la medición de fase con el empleo de un sensor de corrientes parásitas y un acelerómetro piezoeléctrico.

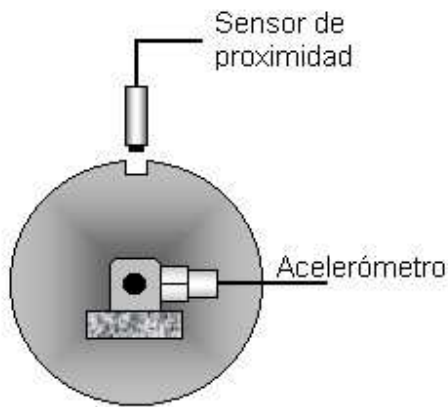


Figura 1. Instalación típica para medición de fase.

### 3. El ploteo orbital

Diversas son las formas en que pueden ser representadas las señales provenientes de los transductores de proximidad, incluyendo los formatos de Ploteo Polar y de Bode. Sin embargo, la correcta interpretación de la órbita del rotor contribuye de manera decisiva a entender el comportamiento dinámico del rotor, ya sea durante su estado transitorio o durante su estado estacionario.

El empleo del transductor adecuado no es el único requisito para lograr un diagnóstico eficaz. Las funciones de procesamiento y análisis resultan decisivas en este empeño. Los registros de vibraciones adquiridos directamente sobre el cuerpo de los apoyos del rotor no siempre revelan los defectos de éste [3]. Tenga presente que la medición de vibraciones con el empleo de transductores sísmicos, constituye una medida indirecta del comportamiento dinámico de la máquina, sobre todo si es el rotor el elemento de interés, como sucede en la gran mayoría de los casos [7].

Por otro lado, los transductores de proximidad cuantifican de manera directa la respuesta relativa del rotor con respecto a los apoyos “estacionarios” de éste.

Al emplear transductores de proximidad, como por ejemplo los transductores de corrientes de eddy, estos entregan señales eléctricas proporcionales al movimiento mecánico del rotor, en las cuales se distinguen dos componentes:

Una componente de directa, proporcional a la posición promedio del centro del rotor, con respecto a la posición del transductor.

Una componente de alterna, proporcional al movimiento oscilatorio relativo del rotor con respecto al transductor.

Los transductores de proximidad encuentran su mayor y mejor aplicación en máquinas con cojinetes de deslizamiento bajo lubricación líquida, tal es el caso de turbinas, compresores y algunos tipos de bombas.

El sistema de medición más modesto que pueda ser empleado en este tipo de máquina, deberá incluir dos transductores de proximidad ubicados ortogonalmente en cada uno de los cojinetes del rotor. Si además de esto se incluye un transductor de referencia, podrá incrementarse de manera significativa el alcance de la actividad de diagnóstico.

Es interés del presente trabajo, la componente de alterna a que se hizo referencia anteriormente, por constituir ésta la base del Ploteo Orbital. Esta componente de alterna proveniente del transductor de proximidad, es básicamente una señal periódica, pudiendo ser registrada en cada uno de los dos transductores instalados en cada cojinete. Observe la Figura 2.

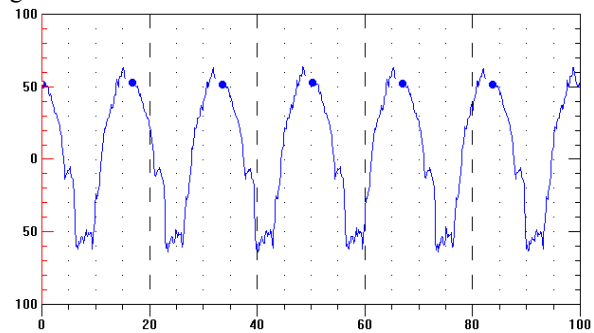


Figura 2. Onda temporal de carácter periódico

Claro está, aprovechando el transductor de referencia instalado, es posible filtrar la onda temporal, por ejemplo a la frecuencia de rotación, tal y como se muestra en la Figura 3.

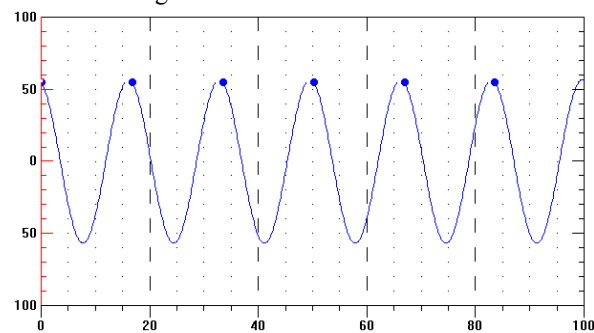


Figura 3. Onda temporal de la Figura 2, filtrada a 1x.

Ahora bien, la órbita del rotor podrá construirse, si se tiene en cuenta que se dispone de los registros temporales aportados por los dos transductores instalados en posiciones mutuamente ortogonales. Las

señales provenientes de cada transductor son generadas de acuerdo con posiciones angulares específicas del rotor, todo lo cual permite cuantificar el movimiento transversal del rotor en el plano de ubicación de los transductores de proximidad. Observe la Figura 4.

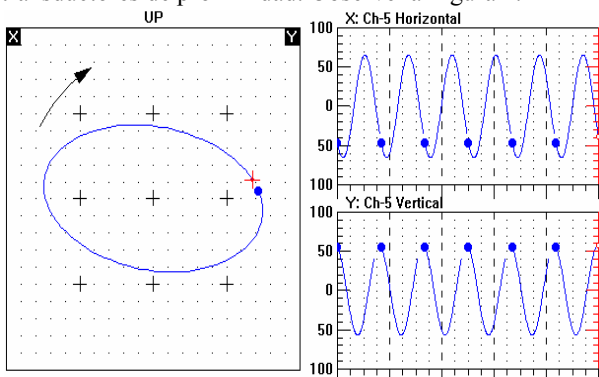


Figura 4. Ploteo orbital filtrado a 1x.

En otras palabras, la órbita se genera ploteando los pares de valores instantáneos  $x(t)$ ,  $y(t)$  o lo que es lo mismo, ploteando  $X$  vs.  $Y$  eliminando el eje de tiempo.

#### 4. El Vibrocontrol®

El sistema *Vibrocontrol*®, constituye un ejemplo de sistema de monitoreo *on-line*, que puede ser empleado para monitorar simultáneamente la condición de la máquina y el estado de los cojinetes [1].

El microprocesador del sistema, permite controlar la adquisición de datos *on-line*, la configuración del sistema y la conexión con controladores de proceso, todo ello a través de la interfase de puerto serie que posee cada unidad.

El *software* modular *VIBROEXPERT CM-400* permite integrar varias unidades *Vibrocontrol*® en una red de análisis.

#### 5. El sistema ADRE® para Windows®

El sistema *ADRE*® es un sistema multicanal para el diagnóstico de equipos rotatorios (Figura 5). Dispone de 8 canales para la entrada de señales procedentes de diferentes tipos de transductores así como, 2 canales para la entrada de señales de referencia de fase (*Keyphasor*®) [4].

*ADRE*® consta de la unidad de adquisición de datos (DAIU) que actúa en conjunto con un programa de computación digital que se ejecuta en un *Notebook*.

El sistema permite visualizar los resultados de las mediciones en formatos tales como: Órbita, Órbita - Tiempo, Tiempo, Ploteo Polar, de BODE, Posición promedio del centro de eje, Cascada de espectros, Espectros y Tendencias entre otros.



Figura 5. Apariencia externa de ADRE®.

#### 6. La máquina

El Bloque No.8 de la Central Termoeléctrica "Máximo Gómez", está destinado a la generación de 100 MW como potencia nominal. Éste, ha sido modernizado a través —entre otras cosas— de la instalación del sistema de monitoreo *on-line Vibrocontrol*® 1100.

Tal y como se observa en la Figura 6, en las chumaceras 1, 3 y 5 han sido instalados transductores de corrientes de eddy, dispuestos a 45° con respecto a la dirección vertical. Por su parte, desde la chumacera 1 hasta la chumacera 7, han sido instalados transductores sísmicos en las direcciones radial vertical y radial horizontal. El *Keyphasor*® se encuentra instalado en la chumacera 1.

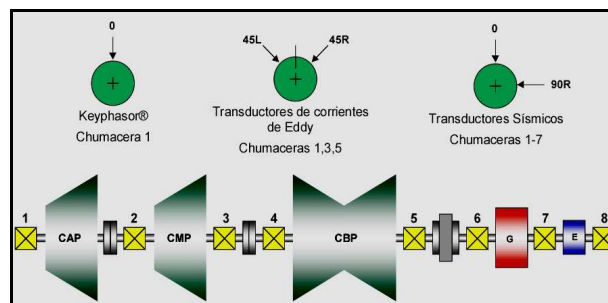


Figura 6. Ubicación de transductores en el Turbogenerador de 100 MW

#### 7. Resultados de las mediciones

Para la ejecución de las pruebas experimentales, se empleó el sistema *ADRE*® conectado a los autómatas de la Sala de Control del Bloque de Generación, alimentados por una red de equipos *Vibrocontrol*®. Observe la Figura 7.

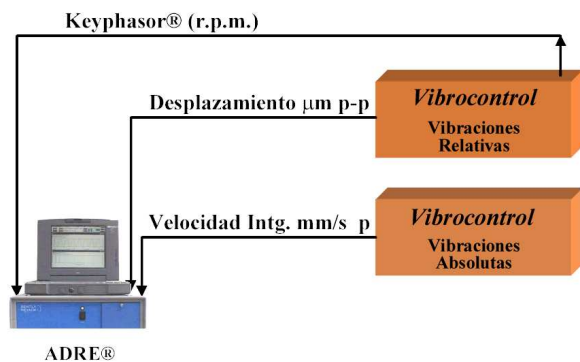


Figura 7. Instalación experimental empleada.

De esta forma, se midieron las vibraciones relativas del eje de los cilindros de alta presión, media presión y baja presión, en las chumaceras 1, 3 y 5 respectivamente [6]. Las vibraciones absolutas a ambos lados del acoplamiento turbina-generator fueron registradas en las chumaceras 5 y 6 respectivamente.

Con posterioridad al análisis de los registros, en la chumacera 3 se pudo identificar un comportamiento orbital compuesto, amén de la señal transitoria que hace crisis en el registro correspondiente a la dirección 45R. Observe la Figura 8.

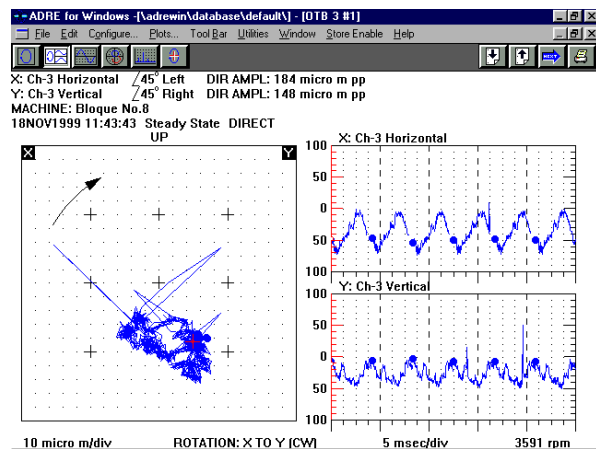


Figura 8. Órbita directa registrada en la chumacera 3.

A pesar de que en la dirección 45L el movimiento está siendo dominado por la frecuencia fundamental, esto no sucede en la dirección 45R, pudiéndose calificar como comportamiento ruidoso el del rotor en esta dirección. Observe las componentes de directa considerables que presentan los registros temporales y las poliharmónicas y el fondo de ruido de baja frecuencia que caracteriza al espectro de la Figura 9.

De inestimable valor teórico – práctico resulta el poder disponer de las órbitas filtradas a 1x en las chumaceras 1, 3 y 5 respectivamente ya que, conociendo la orientación de la órbita en cada cojinete, a la frecuencia fundamental, es posible determinar la

configuración que adquiere el rotor vibrando a esta frecuencia.

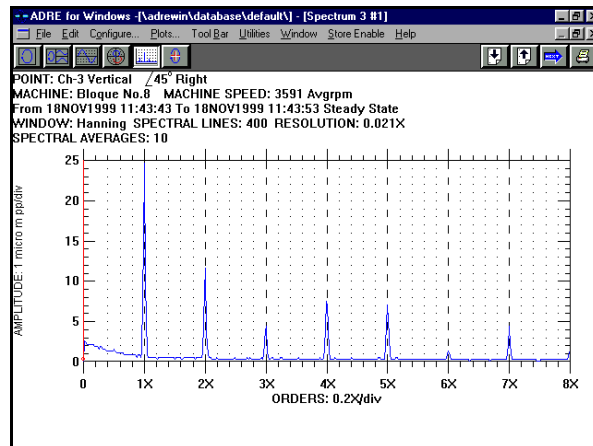


Figura 9. Espectro de desplazamiento  $\mu\text{m}$  p-p en chumacera 3, dirección 45R.

De manera que, partiendo de las órbitas filtradas a 1x mostradas en la Figura 10 y trasladándolas a una representación tridimensional, es posible estimar la forma de deflexión del rotor, en respuesta a aquellas excitaciones que están teniendo lugar a la frecuencia de rotación. Observe la Figura 11.

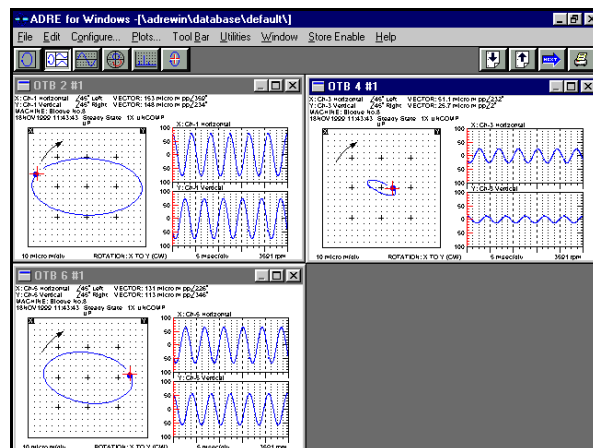


Figura 10. Órbitas filtradas a 1x en chumaceras 1, 3 y 5

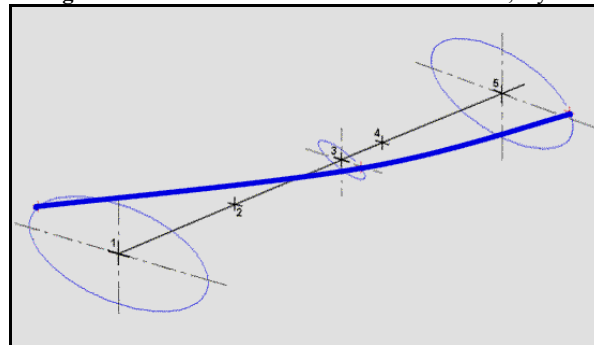


Figura 11. Forma de deflexión del rotor a frecuencia 1x

Claro está, lo ilustrado en la Figura 11 es sólo un estimado de la forma de deflexión del rotor, teniendo en cuenta que no se tiene información alguna sobre el movimiento orbital de éste en las chumaceras 2 y 4. Realmente, la experiencia ha demostrado que los rotores de turbinas, dada su característica de flexibilidad dinámica, pueden alcanzar las más disímiles formas de deflexión en operación, razón por la cual resulta insuficiente la instalación de transductores de proximidad en posiciones alternas.

## 8. Conclusiones

Por cuestiones de espacio resulta prácticamente imposible relacionar todos los resultados derivados de esta investigación. No obstante, es menester destacar que el poder contar con sistemas multicanales para la medición *off-line* en conjunción con sistemas *on-line*, posibilita evaluar la calidad de la medición y evaluar el comportamiento orbital del rotor en múltiples planos de medición.

Así mismo, resulta de suma importancia el empleo de transductores de proximidad como eslabón básico en la obtención de información directa sobre el comportamiento dinámico de los rotores.

## 9. Bibliografía

1. Brüel & Kjaer, Schenck: VIBROCONTROL 1100, Cost-Effective Monitoring of Machine Vibration and Bearing Condition. C 1339/4e. Germany 1999.
2. Forland, C.: Why fase information is important for diagnosing machinery problems. ORBIT, Volume 20, No. 2, Second/Third Quarter 1999, pp. 29-31.
3. Laws, B.: Turbine generator vibration transducer selection criteria for machinery protection and management. ORBIT, Volume 19, No. 4, Fourth Quarter 1998, pp. 20-25.
4. Nilo, P.J. and Sace, E.: ADRE® for Windows® system detects an unbalance problem on an IP turbine rotor. ORBIT, Volume 20, No. 4, Fourth Quarter 1999, pp. 61-65.
5. Palomino Marín, E.: Elementos de medición y análisis de vibraciones en máquinas rotatorias. U.T.O., Bolivia, 2000.
6. Palomino, E.: Análisis de vibraciones en el Bloque No.8 de la Central Termoeléctrica Máximo Gómez. Reporte de asistencia técnica. Cuba 1999.
7. Schenck: VIBROSENSORS. Transducers for Vibration Measuring and Machine Monitoring. BV-P1001e. Germany 1999xxxxxx

---

## ADRE, intensive use of the orbital plot in turbogenerators diagnosis.

### Abstract:

Multiple are the positive attributes that characterize the on-line systems for the monitoring and analysis of vibrations in the industrial machinery. However, in many occasions these sacrifice their capacity analysis for summarizing the results of the mensurations, with the spirit of facilitating the specialist –with a glimpse- the checkup of the evolution of the levels of vibrations in the machine under observation. The present work summarizes significant experiences obtained as a result of the interconnection of the on-line monitoring system VIBROCONTROL®, installed in an 100 MW power generator, with the multichanal system ADRE®, employee as system of monitoring off-line. The most excellent results in the investigation, are sustained in the use of the presence of relative movement and seismic transducers under the supervision of the VIBROCONTROL®, through which and with the intervention of the ADRE® system, is possible to identify inadequacies in the on-line monitoring and standing defects are diagnosed in the turbogenerator, including sequels left in this by transitory defects.

**Key words:** seismic transducer, transducer of eddy currents, orbit, phase, keyphasor.