

# Técnica de monitoreo continuo (*on – line*) para la evaluación del estado técnico de los turbogrupos de 64 y 100 MW.

**F. de la Torre. Silva<sup>1</sup>, E. Palomino Marín<sup>2</sup>, C. Mesa<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Dpto. de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana 19390. Cuba. E-mail [francisco@ceim.ispjae.edu.cu](mailto:francisco@ceim.ispjae.edu.cu)

<sup>2</sup>CEIM. Centro de Estudios Innovación y Mantenimiento. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana 19390. Cuba. E-mail [epalomino@ceim.ispjae.edu.cu](mailto:epalomino@ceim.ispjae.edu.cu)

<sup>3</sup>Dpto de Termo mecánica. Empresa de Ingeniería y proyectos para la Electricidad (INEL). MINBAS. La Habana Cuba.

(Recibido el 12 de enero de 2001; aceptado el 22 de marzo de 2001)

## Resumen.

En este trabajo se presenta el resultado del estudio de factibilidad realizado a los turbogrupos de 64 y 100 MW de dos Centrales Termoelectricas, sobre el empleo de técnicas de monitoreo continuo “on line” para la evaluación del estado técnico de estos turbogrupos.

**Palabras claves:** Turbinas de vapor, vibraciones, monitoreo continuo “on line”, diagnóstico.

## 1. Introducción.

Todos los sistemas de monitoreo de vibraciones, se basan en mediciones periódicas, que se efectúan sobre la máquina objeto de estudio, sin embargo en muchos casos es imprescindible implementar lo que se conoce como monitoreo permanente o continuo de vibraciones. Su aplicación permite tener en todo momento controlado el estado funcional de la maquinaria, además de que permite obtener un aviso inmediato de todo cambio brusco que se pueda producir en la máquina costosa y/o no duplicada, cuyo funcionamiento continuo es imprescindible y vital para la producción. Además de que, los fallos se detectan inmediatamente o en muy poco tiempo, disparándose señales de alerta o alarma, antes de que se produzca una avería grave o catastrófica. *La implantación del monitoreo continuo (on - line) en estos turbogrupos, conllevaría a un cambio en la filosofía del análisis de fallos y por supuesto ajustar los avisos de alerta y alarma, así como, los disparos de emergencia a las nuevas condiciones de medición* [8]. Desde la puesta en marcha de los turbogrupos de 64 y 100 MW en dos Centrales Termoelectricas (CTE), nunca se realizó, algún tipo de monitoreo continuo de vibraciones, sin

embargo, se sabe de la existencia de antecedentes de implementación de este tipo de monitoreo, en el turbogrupo de 64 MW, según [10]. En los turbogrupos de 100 MW estaba implementado el monitoreo de las vibraciones absolutas de las chumaceras y de la excentricidad (por diseño) pero nunca funcionó. Cada condición adoptada en el sistema de monitoreo, tendrá un propósito específico y será diferente aun en maquinarias del mismo tipo, capacidad y servicio.

## 2. Ofertas de las firmas comerciales extranjeras para la implantación del monitoreo continuo (on - line) en los turbogrupos de 64 y 100 MW.

Existen varias firmas de reconocido prestigio internacional dedicadas a ofertar sistemas de monitoreo continuo (on-line) por vibraciones para turbogrupos de Centrales Eléctricas, como son [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [23] [24] [25]. Un ejemplo de estos sistemas se señalan a continuación:

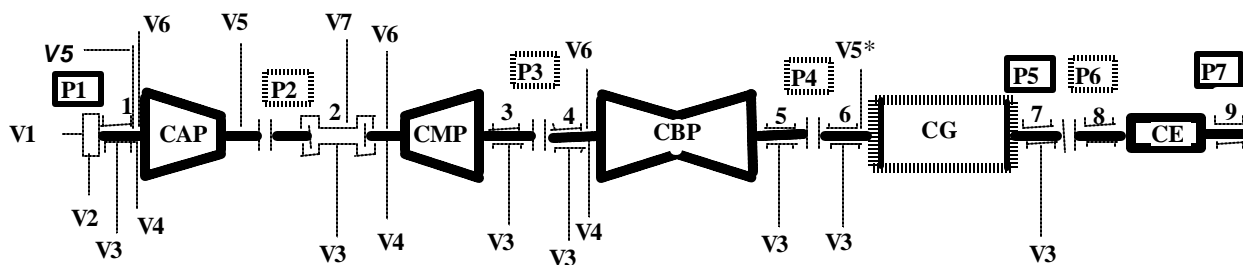
Firma	Sistema
Solartron Instruments	SI 1051 series
Brüel & Kjær	2505 / 2514 / WT9114 2515 / 7616 / BZ7027/ 3540 (COMPAS)
SKF	M800A
Vibro - Meter	MMS
Prüftechnik AG.	VibroNet
Carl Schenk	Vibro – control 4000 Vibro – control 5000

Cualquier oferta, o propuesta por parte de las firmas comerciales, deben ser cuidadosamente analizadas. Cualquier aceptación de oferta para la implementación de monitoreo continuo de vibraciones en turbogrupos, está sujeta a las siguientes condiciones:

- Posibilidades económicas con que se cuenta para la compra del equipamiento, así como del asesoramiento técnico y montaje.
- Complejidad y extensión que abarcará el monitoreo.
- Importancia del turbogrupo en el Sistema Electroenergético Nacional.
- Prioridad del monitoreo frente a otros problemas.
- Cultura tecnológica y de mantenimiento que tenga el personal vinculado a este fin.

Se solicitó ofertas a las firmas SKF, Schenk, Prüftechnik AG. y otras, seleccionándose la firma Carl Schenk AG. Darmstadt. RFA. [22] [23] [24], como proveedora del equipamiento, asesoramiento y montaje para la implementación del monitoreo continuo en los turbogrupos de 100 MW. La empresa cubana de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad (INEL) perteneciente a la Unión Nacional Eléctrica (UNE), como empresa inversionista, presenta un proyecto a partir de esta oferta que contiene algunas modificaciones respecto a la oferta original dada por la firma Carl Schenk, fundamentalmente en cuanto a los tipos de sensores utilizados y a la calidad de los cables empleados, entre otros aspectos de montaje.

Esta propuesta Schenk (Sistema Vibro Control 4000 [24]) mostrada en la Figura 1, sólo incluye, parámetros de medición vibroacústicos. Es posible asegurar que la no inclusión de algunos parámetros de medición esenciales no vibroacústicos, como por ejemplo la temperatura, se debe a un problema económico y a que en la actualidad este parámetro se registra continuamente, pero el hecho de no estar incluido dentro del sistema de análisis de los parámetros de medición pudiera dejar incompleto este sistema. El parámetro fundamental de medición de los acelerómetros será la aceleración y velocidad, teniendo en cuenta solo nivel total de la medición.



**Figura 1.** Posición de los sensores para la implantación del monitoreo continuo (on - line) en los turbogrupos de 100 MW de una Central Termoeléctrica. Propuesta de la Carl Schenk AG.

Donde:

(V1): Dilatación o expansión axial absoluta del conjunto turbogrupo (cilindro - rotor) (incluida por INEL).

(V2): Velocidad o frecuencia de rotación del rotor.

(V3): Vibración absoluta de la chumacera.

(V4): Vibración relativa del rotor respecto a la chumacera (orbitación del centro de eje del rotor).

(V5): Expansión diferencial axial relativa del rotor respecto al cilindro (pedestal).

(V5\*): Idem. a (V5), pero en dos posiciones.

(V6): Excentricidad del eje del rotor (posición radial del centro de eje del rotor).

(V7): Posición (expansión) axial absoluta del conjunto de rotores.

En esta primera etapa de implementación, este sistema de monitoreo tiene el objetivo de evaluar el estado técnico de la turbina, además de protegerla contra fallas catastróficas y reducir los costos de mantenimiento. Por lo que se podrá obtener con ésta condición de monitoreo [15][19][20][22][25]:

## **Técnica de monitoreo continuo (*on – line*) para la evaluación del estado técnico de los turbogrupos de 64 y 100 MW.**

- Alarmas de advertencias temprana.
- Alarmas de alertas de fallos significativos.
- Informes del estado del turbogrupos.

Se pretende (debido a la carestía del software Vibroexpert CM-410, que controla la adquisición y evaluación de datos), con un solo software, controlar la adquisición de datos de varios turbogrupos de forma no simultánea. Esto pudiera restar calidad a la evaluación del estado técnico del turbogrupos.

### **3. Consideraciones sobre la oferta Schenk.**

- No se incluye la oferta de los sensores para la medición de temperaturas en el metal de las chumaceras.
- No se incluye oferta para la medición de la dilatación o expansión axial absoluta del conjunto turbogrupos. En este tipo de turbogrupos, por cuestiones de diseño del mismo, es esencial el control de éste parámetro. El sensor WTS2, fue incluido por INEL a partir de catálogos que ofertan sensores de la propia firma Schenk.
- El sistema no permite el análisis de las vibraciones de baja frecuencia, ya que no se oferta el módulo que realiza dicha función, sin embargo, la mayoría de las manifestaciones vibratorias en estos turbogrupos ocurren en esta gama de frecuencias .
- No existe compatibilidad analógica entre las señales de los sensores que actualmente están montados en el turbogrupos (sensores no vibroacústicos) y el control de registro de señales del sistema (Vibroexpert CM-410), por lo que no podrán ser utilizadas los registros de estas señales.
- No puede ser medida la fase ya que no se ofertó el módulo para este fin (el sensor SD - 052 es utilizado para medir fase y velocidad, pero los módulos que analizan la señal son diferentes), por lo que no podrá ser analizado el desbalance a partir de la valoración de la fase (entre otros) con este sensor.
- No se realizó un análisis en frecuencia para determinar cual es el mejor parámetro de medida, gama de frecuencia a cubrir y los niveles adecuados de alarma.

- Para poder realizar un análisis de diagnóstico más certero, el software Vibroexpert CM - 410 requiere de otros parámetros de medición entre los que se encuentran:
  - Frecuencia de la red.
  - Frecuencia del generador.
  - Temperatura en el metal de la chumacera.
  - Presión en el escape de la turbina (vacío en el condensador).
  - Potencia activa del generador.
  - Corriente activa y reactiva del generador.
  - Control del árbol de levas (apertura y cierre del servomotor principal).
- La cablearía brindada en la oferta para la transmisión de las señales no es la adecuada para las condiciones adversas en que trabajan.

### **4. Propuesta de modificación a la oferta original Carl Schenk para la implementación del monitoreo continuo (*on - line*) en los turbogrupos de 64 y 100 MW.**

Partiendo del estudio realizado en los turbogrupos de 64 y 100 MW respecto a :

- Problemas fundamentales en los turbogrupos.
- Estado técnico actual de los turbogrupos.
- Motivos que originaron interrupciones en los turbogrupos.
- Condiciones probables que son responsables de fallas en los turbogrupos.
- Características vibratorias de los turbogrupos.
- Criterio de especialistas basados en la experiencia.
- Tendencias y recomendaciones reflejada en la literatura especializada.
- Clasificación de la maquinaria a monitorar.
- Parámetros de medición más representativos que caracterizan los turbogrupos.

Se presentó una propuesta para monitoreo continuo (*on-line*), que abarque no solo parámetros vibroacústicos, sino también los no vibroacústicos, que caracterizan también el estado técnico del turbogrupos. Cualquier propuesta que se haga para monitoreo continuo (*on - line*) de parámetros vibroacústicos, tendrá en esencia, similares puntos de medición y parámetro de

medición, la diferencia estará, para cada caso, en la necesidad de medir o controlar dichos parámetros debido a las características propias del turbogruppo. Los parámetros de medición (V1), (V2), (V3), (V4), (V5), (V5\*), (V6), (V7) tienen igual significado. Se adicionan:

(V2\*): Referencia de fase.

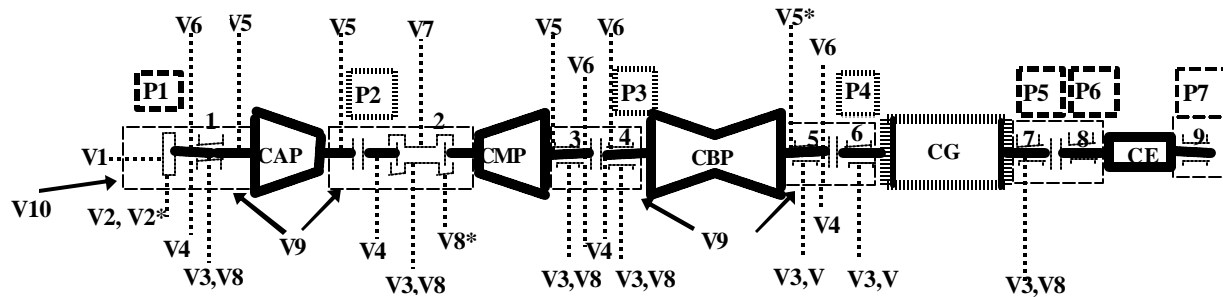
(V8): Temperatura del metal babbitt de la chumacera radial.

(V8\*): Temperatura del metal babbitt de la chumacera de empuje (tacones de trabajo).

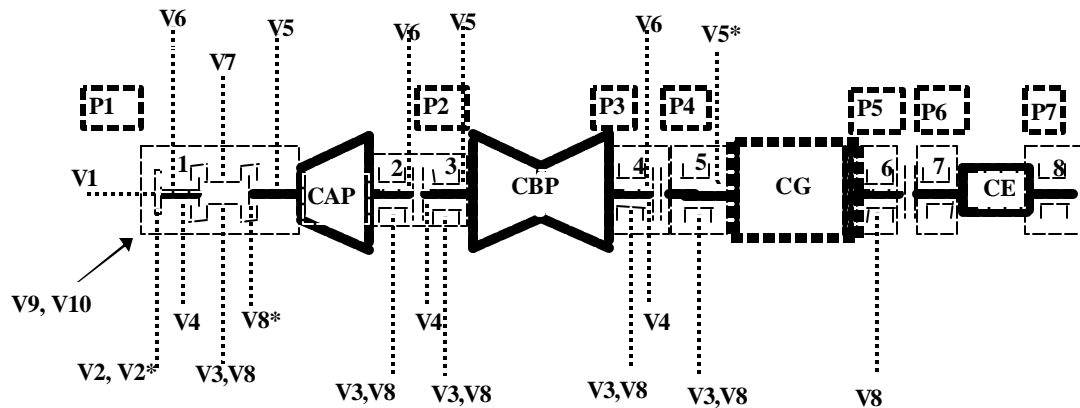
(V9): Expansión axial absoluta de los pedestales respecto al cimiento.

(V10): Posición de la válvula de estrangulación o reguladora (apertura o cierre del servomotor principal).

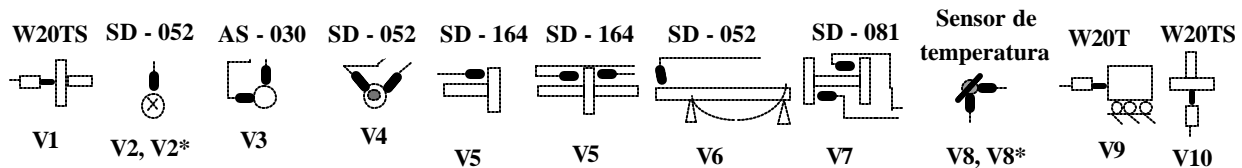
En la Figura 2 (turbogruppo de 100 MW) y en la Figura 3 (para el de 64 MW), se representa la ubicación de las zonas y los parámetros de medición (Vi) y en la Figura 4, se muestra una representación esquemática de la configuración de los sensores para cada parámetro de medición.



**Figura 2.** Turbogruppos de 100 MW. Zona de ubicación de los sensores, parámetros de medición (Vi), pedestales (Pi) y chumaceras.



**Figura 3.** Turbogruppo de 64 MW. Zona de ubicación de los sensores, parámetros de medición (Vi), pedestales (Pi) y chumaceras.



**Figura 4.** Representación esquemática de la configuración de los sensores para turbogruppos de 64 y 100 MW según el parámetro de medición.

## 5.-Consideraciones sobre ésta propuesta.

El sistema de supervisión de turbinas expone los 6 parámetros de medición esenciales que recomienda la literatura para llevar a cabo el monitoreo continuo. Los mismos se incluyen en ésta propuesta, sin embargo, debido al estado actual que presentan estos turbogrupos (64 y 100 MW) y a los problemas de diseño que presentan los turbogrupos de 100 MW, se decidió complementar ésta supervisión con los restantes parámetros expuestos. Las razones son las siguientes :

- La expansión axial absoluta del conjunto turbogrupo (V1) (conocida también como expansión de la carcasa), brinda una medida general del comportamiento térmico del turbogrupo. No es en la actualidad (para los nuevos diseños de turbinas) un parámetro usado comúnmente en el monitoreo continuo, sin embargo, para éstos turbogrupos, cuya fecha de diseño data de casi 40 años, sí es importante tenerlo en cuenta.
- La velocidad o frecuencia de rotación del rotor actualmente se controla mediante un tacómetro cuyo principio de funcionamiento es mecánico. No es un parámetro decisivo a controlar dentro del sistema de monitoreo continuo (pero sí lo es dentro del sistema de regulación del turbogrupo) sin embargo, si consideramos esencial y posiblemente decisivo la medición de la fase (V2\*) debido a que dadas las características vibratorias de estos turbogrupos, pueden ser detectados problemas como desbalance, desalineamiento, resonancia y roce, entre otros.
- Aunque se confiere mayor importancia a la medición del parámetro (V4), dadas las características de diseño de las chumaceras de estos turbogrupos, es importante conocer el nivel de vibración absoluta que reportan las chumaceras (V3), de esta manera se podrá valorar (por los problemas que presentan estos turbogrupos) el estado del conjunto chumacera - cargador - pedestal - cimiento.
- La tendencia actual es medir la vibración relativa del rotor respecto a la chumacera referido a dos ejes (V4). Con esta medición se obtiene como es el comportamiento del rotor dentro de la chumacera, es decir la orbitación del centro de eje del rotor.
- Dada la forma de compensación de las cargas que provocan los flujos de vapor en cada uno de los rotores y de que los cambios o diferencia de temperatura de los rotores provoquen expansiones axiales excesivas, se hace necesario controlar como

se comporta cada una de éstas expansiones respecto a cada cilindro. El parámetro (V5) y (V5\*) garantizan éste control.

- La existencia de flexión en el rotor puede ser conocido a partir de valorar la posición radial del centro de eje del rotor con el parámetro (V6). La existencia de flexión, provoca rozaduras entre partes móviles y fijas, fundamentalmente entre diafragmas y bandaje de los álabes. En los turbogrupos de 100 MW, no es posible tecnológicamente medir este parámetro.
- Es posible que en turbogrupos de menor potencia de generación y con menos ejes de rotores conectados, no sea importante la medición de la posición (expansión) axial absoluta del conjunto de rotores (V7), sin embargo, en una configuración también con tres ejes de rotores de turbina conectados en línea, cuya fuerza de empuje alcanza valores de 20000 N (para turbogrupos de 100 MW), es esencial ésta medición.
- Es imprescindible conocer la temperatura del metal babbitt de la chumacera, tanto la radial (V8), como la de empuje (V8\*). Reporta los problemas de rozadura entre partes móviles y fijas. Aunque éste parámetro se mide en la actualidad, si no se tiene en cuenta en el sistema de monitoreo, se perdería una valiosa información.
- La medición de la expansión axial absoluta de los pedestales (V9) (para los casos de pedestales que conforman un patín), se hace necesario en aquellos casos en los que frecuentemente se trancan dichos pedestales, como ocurre en los turbogrupos de 100 MW (pedestales P1, P2, P3, P4). Un problema de éste tipo, en cualquiera de ellos puede ser la manifestación de otro problema.
- Se ha estudiado la incidencia que tiene (sobre las vibraciones) el orden de apertura y cierre de las válvulas de admisión (V10), por lo que consideramos que para los turbogrupos de 100 MW debe ser incluido dentro del sistema de monitoreo.

Aunque el resultado de la evaluación de las mediciones de dos o más parámetros, brinden semejante información acerca del estado del turbogrupo, no invalida el uso de más de un parámetro, ni puede verse como repetitivo, ya que el hecho de que se obtenga similar información por más de un parámetro, corrobora que existe un problema cuya causa puede llegar a conocerse, además, siempre existirá la incertidumbre de falla del sistema de medición cuando la información es obtenida por sólo una vía [1] [5].

### Ubicación de los sensores.

La ubicación de los sensores para cada parámetro de medición se muestra en la Figura 2, para los

turbogrupos de 100 MW y en la Figura 3 para los de 64 MW. La simbología de representación de cada sensor se muestra en la Figura 4.

- Los sensores para los parámetros (V2, V2\*, V4 y V6) son sensores de desplazamiento, de no contacto (de proximidad) y se ubican dentro de los pedestales (en las zonas libres del rotor) en dirección radial al rotor. La medición de (V4) se realiza respecto a dos ejes diferentes que se encuentran a 90°, uno del otro, generalmente en la vertical y horizontal, mientras que (V2 y V2\*) es respecto a discos con un dentado calibrado.
- Para los parámetros (V5, V5\* y V7), sensores de desplazamiento de no contacto y ubicados dentro de los pedestales, referido a discos del rotor, en dirección axial del rotor.
- Para los parámetros (V1, V9 y V10), sensores de desplazamiento, con contacto, ubicados fuera de los pedestales, referidos al cimentado.
- El sensor para el parámetro (V3) es un transductor de aceleración el cual se fija en la

chumacera en la dirección radial. Esta medición se realiza en la dirección radial, respecto a dos ejes diferentes, generalmente vertical y horizontal.

- Por último los sensores para la medición del parámetro (V8 y V8\*) son termo-resistencias que se ubican en las chumaceras (dentro de agujeros previamente realizados) de forma tal que exista contacto del sensor con el metal babbitt de la chumacera. En las chumaceras radiales se mide (V8) en dos posiciones en la mitad superior (lado del regulador y lado del generador) y en dos posiciones, en la inferior, mientras que en la de empuje axial (V8\*) se mide en cada tope o tacón de los 8 con que cuenta el collarín del lado de trabajo (para los turbogrupos de 100 MW).

Una comparación entre la cantidad de sensores, por cada parámetros de medición, entre la propuesta realizada por éste trabajo y la oferta referida en [24], se muestra a continuación:

**Tabla 1.-** Comparación entre la oferta de Schenk y propuestas diferenciadas.

	V1	V2	V2*	V3	V4	V5	V5*	V6	V7	V8	V8*	V9	V10	Total
<b>S-100</b>	1	1	--	14	6	2	2	3	2	--	--	--	--	31
<b>P-100</b>	1	1	1	14	10	3	2	4	2	28	8	4	1	(38) 79
<b>P-64</b>	1	1	1	10	6	2	2	3	2	24	8	1	1	(27) 62

Donde:

S-100: Oferta Schenk para turbogrupos de 100 MW.

P-100: Propuesta para los turbogrupos de 100 MW.

P-64: Propuesta para los turbogrupos de 64 MW.

( ): No se tienen en cuenta los parámetros:

V2, V8, V8\*, V9, V10.

Es evidente que se encarecería el costo del equipamiento al agregar los parámetros V2, V8, V8\*, V9, V10, pero consideramos que es necesario debido a las características de éstos turbogrupos, además, la incorporación de éstos parámetros reportaría indirectamente un aumento en la fiabilidad de la respuesta del sistema de monitoreo, por lo que tenderá a disminuir los costos en general debido a fallas o averías.

Si comparamos los siguientes costos, tomando como referencia el costo para la implementación del monitoreo continuo se tiene que:

- Costo del equipamiento e instrumentación para la implementación del monitoreo continuo (turbogrupo de 100 MW) : **\$ 101,637.7 USD.**
- Costo de un día de producción perdida: **\$ 102,000 MN** (tomando como referencia una generación de 85 MW-h, a un precio de venta de 50 Pesos MN el MW) o \$ 247,860.0 USD (tomando como referencia el precio por cada kW consumido en el sector residencial, para una generación de 85 [MW - h]).
- Costo de una unidad generadora: » **\$ 79,000,000 USD** (no se ha podido conocer oficialmente. Este valor es un estimado del costo de las unidades de 100 MW).

Indiscutiblemente, el monitoreo de maquinarias representa un costo adicional, que no está directamente reflejado en el incremento de la producción, pero se ha demostrado que influye decisivamente en una reducción del tiempo dejado de producir, lo cual implica disminuir pérdidas monetarias. En sí mismo esto es un avance

## **Técnica de monitoreo continuo (*on – line*) para la evaluación del estado técnico de los turbogrupos de 64 y 100 MW.**

significativo, ya que hay una gran diferencia entre el costo y tiempo requerido para rectificar o reponer el componente que está fallando, comparado con el costo y tiempo requerido para corregir un daño mayor, resultado de una falla.

El costo del sistema de monitoreo de multiparámetros extensivamente, así como, el equipamiento a emplear, representa una pequeña fracción del costo total de la maquinaria y similarmente menor que el costo de un día de producción perdida.

### **6.-Resultados esperados con la aplicación de técnicas de monitoreo continuo en los turbogrupos de 64 y 100 MW.**

Es importante tener en cuenta que antes de haber montado este sistema permanente de monitoreo de vibraciones, era esencial que se hubiera realizado un análisis en frecuencia, para determinar, cual es el mejor parámetro de medida, la gama de frecuencia a cubrir y los niveles adecuados de alarma. Lamentablemente eso no fue realizado [5].

Los requisitos que según proyecto cumplirán estos sistemas son los siguientes:

- Alto grado de fiabilidad operativa.
- Gran estabilidad a largo plazo.
- Buena inmunidad frente a las condiciones ambientales adversas.
- Estables, frente a las irregularidades que puedan dar lugar a falsas alarmas.

Condiciones ambientales adversas a las que se verá sometido el equipamiento instalado:

- Altísimas temperaturas.
- Alta humedad y polvo.
- Acción de agentes corrosivos.

#### ***Beneficios esperados con la implementación del monitoreo continuo en estos turbogrupos: [2] [4]***

- Operación segura: Garantiza que durante el tiempo que se este operando el turbogrupo, exista seguridad en su funcionamiento. Por ejemplo, durante los siguientes estadios de funcionamiento:

- Arranque a partir de los diferentes estados térmicos de la turbina.
- Operación con carga, en régimen estacionario.
- Adaptación a los cambios (por ejemplo, variación de carga) en las condiciones de operación.
- Parada.
- Situaciones de emergencia.
- Aviso de deterioro o cambio de condiciones: Aunque un sistema de monitoreo, no previene el problema, puede avisar su presencia, antes de que se produzca una falla catastrófica.
- Provee de una descripción precisa de la condición de la máquina, para determinar la frecuencia y extensión del mantenimiento y reparar sin comprometer la integridad del equipamiento en condición satisfactoria, por el desensamble, para la inspección visual [4].
- Avisa la amenaza de falla, la cual pudiera ser peligrosa para el personal y maquinaria contigua.
- Disminución en los costos de reparación debido a la prevención con mayor precisión del daño. Los costos de reparación son generalmente muy grandes, comparados con los costos del equipamiento para la supervisión [7].
- La posibilidad de registro de magnitudes, mediante las cuales, se detectan irregularidades de funcionamiento, además de posibilitar encontrar las causas de posibles problemas.

Una vez implementado el sistema de monitoreo continuo pudieran ser resueltos los detalles de diseño ingenieril, pudiendo comenzar con la evaluación de la maquinaria en sí misma dadas por:

- Diseño, Servicio, Construcción.
- Tipo de operación.
- Soportería de estructuras.
- Respuesta a un mal funcionamiento.

La evaluación de las características asociadas con cada mal funcionamiento, es identificada de acuerdo con la respuesta, confiabilidad y facilidad de la medición, por lo que, el método de monitoreo, pudiera ser empleado para utilizar las características accesibles más eficientes como indicadores de cambio mecánico de condiciones.

Durante el diseño de este sistema de monitorado, se tuvo en cuenta los compromisos necesarios dados por:

- Posicionamiento de transductores (caso de máquinas complejas como lo son los turbogrupos o puntos de difícil o imposible acceso).
- Destrucción de la cablería (dado por los rigores ambientales).
- Disponibilidad de instrumentación.

Además se tuvo en cuenta las condiciones derivadas de la respuesta dinámica de las turbinas de vapor, las cuales dependen de:

- Diseño, Aplicación, Servicio, Velocidad.
- Construcción, Potencia del rotor.
- Condiciones del vapor.

## 7.-Conclusiones

- 1) Se determinó la ubicación de los puntos de medición, así como, de los parámetros de medición más representativos que caracterizan el comportamiento de los turbogrupos de 64 y 100 MW, tomando como base las características vibratorias fundamentales y los problemas más comunes que afectan el funcionamiento de los mismos.
- 2) Se presenta en este trabajo una propuesta para el sistema de monitorado continuo de los turbogrupos de 64 y 100 MW, tomando como base las características vibratorias fundamentales, así como los problemas más comunes que afectan el buen funcionamiento de los mismos.
- 3) Se realizó una propuesta de instrumentación para la implementación del sistema de monitorado continuo en los turbogrupos de 64 y 100 MW, en base a una oferta de instrumentación de la firma SCHENK.

## 8.-BIBLIOGRAFÍA

1.-BATISTA, P. A. Vibraciones y balance dinámico de turbogrupos y máquinas rotatorias similares. Documento. Empresa de mantenimiento a centrales eléctricas (EMCE). MINBAS. Cuba. 1989.

2.-LISMAN B. C. et al. Ajuste y explotación de turbinas de vapor industriales (texto traducido por Ing. Hilario Reyes, Central Termoeléctrica Mariel). Editorial Energía. Moscú. URSS. 1968.

3.-MAJOR, A. Vibration analysis and design of foundations for machines and turbines: dynamical problems in civil engineering. Akademiai Kiado. Budapest. Collet's Holdings. Book. London. England. 1962.

4.-MITCHEL, J. S. An introduction to machinery analysis and monitoring. Book. Tulsa. Oklahoma. Pennwell books. USA. 1981.

5.-PALOMINO, M. E. Instrumentos para la medición de vibraciones. Documento para postgrado. ISPJAE. Cuba. 1994.

6.-SCHEGLIAIEV, A. Turbinas de vapor. Libro de texto. TI y TII. Editorial MIR. Moscú. URSS. 1978.

7.-SHAIJUTDINOV. Manual de mantenimiento y reparación de turbinas de vapor. Manual. Vice - ministerio de educación técnica y profesional. MINED. Cuba. 1976.

8.- S / A. Libro de interrupciones. Documento. Departamento de control de generación. Central Termoeléctrica Máximo Gómez (Mariel). MINBAS. Cuba. 1977 - 1997.

9.-S / A. Mantenimiento predictivo. Folleto. Brüel & Kjær. 2850 Naerum. Denmark. 1984.

10.- S / A. Philips turbine supervision and vibration measuring equipment. Pamphlet. Philips Industrie elektronik GmbH Hamburg. 1963.

11.- B & K. On - line Vibration monitoring of critical machinery. Brüel & Kjær. Naerum. Denmark. Catálogo 132 - 10.

12.- B & K. System development. Order tracking multiplier - type 5050. Brüel & Kjær. Naerum. Denmark. Catálogo 132 - 11.

13.- B & K. Machine condition monitoring and analysis. Brüel & Kjær. Naerum. Denmark. Catálogo 132 - 12.

14.- B & K. Product data. Application software BZ7027 for automatic machine condition monitoring with types 2515 and 7616. Brüel & Kjær. Naerum. Denmark. Catálogo 132 - 14 - 6. ISPJAE. Cuba.

15.- CSI. Programa computacional de mantenimiento MASTER TREND. CSI. Computational System Incorporated. 835 innovation drive. Knoxville. 17 Place Guy d' Arezzo, Box 4. 1060 Brussels. Belgium.

16.- SKF. SKF Condition Monitoring. Standardized Methodology for program implementation. SKF Condition Monitoring. San Diego. USA.

17.- SKF. Guidelines for implementing a portable condition monitoring program. SKF Copyright 1996 by SKF Condition Monitoring. Inc. 4141 Ruffing Road. San Diego. USA.

18.- SKF. SKF Condition Monitoring. M800A Programmable Machinery Monitoring System. Turbine Supervisory Instrumentation. SKF Copyright 1996 by SKF Condition Monitoring. Inc. 4141 Ruffing Road. San Diego. USA.

19.- SOLARTRON. SI 1051 ON - LINE Vibration Monitoring Systems. Solartron instruments Ltd. Victoria Road. Farnborough Hampshire. England. 1995.

20.- SOLARTRON. MPS. Modern Power Systems. Vibration analysis. Integrating static and dynamic vibration monitoring and analysis. Solartron Ltd. 1994.



## Técnica de monitoreo continuo (*on – line*) para la evaluación del estado técnico de los turbogrupos de 64 y 100 MW.

21.- SOLARTRON. VIMP (Vibration isolated measurement pod) 3595 series. Solartron instruments. A division of Solartron Group Ltd. Victoria Road. Farnborough. Hampshire GU14 7PW. 1994.

22.- SCHENCK. Methods, applications and solutions for conventional and vibration - diagnostic condition monitoring of turbo - sets in power stations and industrial plants. SCHENCK Seminar C - 45. CARL SCHENCK AG. Darmstadt. RFA.1995.

23.- SCHENCK. Series 40. Instrumentos de medida inteligentes, para diagnóstico de máquinas, equilibrado

en servicio y alineamiento. CARL SCHENCK AG. Darmstadt. RFA.

24.- SCHENCK. Oferta del sistema de monitoreo continuo Vibrocontrol 4000 para turbinas de 100 MW. SCHENCK Process a Corporate Division of CARL SCHENCK AG. Darmstadt. RFA.

25.-MMS. Machinery Monitoring System. Vibro - Meter SA, Fribourg / Switzerland. 112-008/5-5-3000 E. Suiza. 1994.

---

## Technique of continuous monitored (on - line) for the evaluation of the technical state in steam turbine units of 64 and 100 MW.

### Abstract:

In this work an study of feasibility is presented. This study is carried out in steam turbine units of 64 and 100 MW, and show the use of continuous monitored technique (on line) for the evaluation of the technical state of these turbine units.

**Key Words:** Steam turbines, vibrations, continuous monitoring on line, turbines supervision, Diagnosis, technical state evaluation.

---

## SISTEMAS INGENIERILES COMPUTARIZADOS

### Curso de posgrado.

**Temática:** Sistemas Objeto. Sistemas de dirección. Organización estructural de los sistemas de dirección. Principios del enfoque cibernético. Tareas Ingenieriles de toma de decisiones : Análisis externo e interno. Modelación y simulación matemática. Funciones aproximatorias. Organización racional de los procedimientos de cálculo de ingeniería. Caracterización de los Cálculos de ingeniería como tareas de optimización multiobjetivo. Características generales de los tipos de métodos de optimización en la solución de tareas de ingeniería. Uso combinado de las técnicas de optimización y simulación de sistemas.

**Duración:** 45 HORAS

**Coordinador:** Dr José Arzola Ruiz

**Correo Electrónico:** udm@aacero.colombus.cu

### *Resumen Curricular del Coordinador*

Dr. Ciencias Técnicas. Investigador Titular y Profesor Titular del ISPJAE. Especialista en cibernética técnica, control automático y sistemas de dirección organizativos, tecnológicas y de control de procesos. Es autor de dos libros sobre estos temas. Ha impartido cursos de post-grado relacionados con su línea de trabajo. Actualmente trabaja en el desarrollo de un enfoque integrador para el diseño de sistemas automatizados relacionados con la industria.

