



APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS ESPECTRAL DE VIBRACIONES E IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE RUIDO DE LA PLANTA ENFRIADORA BRAW-90

PACS: 43.50.Jh

Campillo Davó, Nuria; Peral Orts, Ramón; Velasco Sánchez, Emilio
Universidad Miguel Hernández de Elche
Av. de la Universidad s/n
03202 Elche
España
Tel: 966 658 579
Fax: 966 658 979
E-mail: ncampillo@umh.es

ABSTRACT

The predictive maintenance is a new concept of machinery control consisting of examine this regularly, predicting failure causes before being produced. The main purpose of this work is establish the necessary parameter for the functional analysis of the cooling plant BRAW-90, located in the Laboratorio de Máquinas y Motores Térmicos of the Universidad Miguel Hernández, by the application of predictive maintenance techniques. To obtain this, the main sources of sound have been identified and a study of vibrations has been carried out applying spectral analysis techniques.

RESUMEN

El mantenimiento predictivo es un nuevo concepto de control de maquinaria consistente en inspeccionar los equipos regularmente, prediciendo las causas de fallo antes de que éste se produzca. El objetivo principal de este trabajo es establecer los parámetros necesarios para el análisis funcional de la planta enfriadora BRAW-90, ubicada en el Laboratorio de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Miguel Hernández, mediante la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo. Para ello, se han identificado las principales fuentes de ruido mediante un análisis acústico de la planta y se ha realizado un estudio de vibraciones de sus componentes aplicando técnicas de análisis espectral.

INTRODUCCIÓN

El correcto mantenimiento de la maquinaria ha sido una cuestión que siempre ha preocupado en las grandes cadenas de producción, puesto que un paro de la maquinaria supone, en gran cantidad de ocasiones, pérdidas de producción muy importantes. Desde siempre, la práctica de mantenimiento más extendida ha sido el denominado *mantenimiento correctivo*, con el cual la máquina funciona hasta que se produce un fallo, que es cuando éste se repara. Posteriormente, surgió una nueva técnica de mantenimiento, denominada *mantenimiento periódico preventivo*, con el que se realizan acondicionamientos periódicos de la maquinaria, con ayuda de los históricos de averías, evitando así los problemas que estadísticamente se esperan. A continuación, el *mantenimiento predictivo* comenzó a convertirse en una importante técnica de mantenimiento, puesto que sólo se actúa cuando se sabe que la máquina va a fallar. La última novedad dentro del campo del mantenimiento es el *mantenimiento proactivo*, basado

en el análisis de las causas principales de fallo de la maquinaria. Así, si se solucionan las causas de fallo, se eliminarán también los mecanismos de fallo que de ellas se derivan.

El trabajo que se expone a continuación se centra en el análisis funcional de la máquina enfriadora que está ubicada en uno de los laboratorios de la Universidad Miguel Hernández y que se emplea principalmente para prácticas de las carreras de Ingeniería Industrial e Ingeniería Técnica Industrial. Para la realización de este análisis se han aplicado dos técnicas de mantenimiento predictivo: el análisis de vibraciones y el análisis acústico.

CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA ENFRIADORA BRAW-90

La planta enfriadora BRAW-90 la comercializa la empresa *Clima Roca York, S.L.* Se trata de una unidad reversible con bomba de calor aire-agua, con un sistema centralizado que produce agua fría, o fría y caliente, que se distribuye por una red de tuberías a los fan-coils (ventiloconvectores) que atienden, con control propio, a cada habitación. La disposición de la planta que está ubicada en el laboratorio no es la habitual, puesto que esta máquina se usa para prácticas, y por tanto, durante su utilización se debe poder acceder con facilidad a los distintos elementos que la componen. La planta BRAW-90 trabaja con alimentación eléctrica de 230V, monofásica y a 50Hz. Emplea refrigerante R-22, y consta de los siguientes componentes:

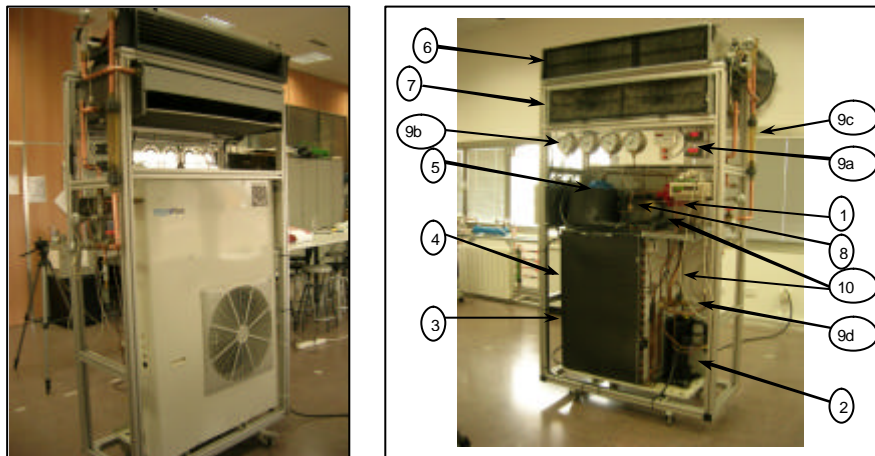


Figura 1: Planta enfriadora BRAW-90

1. Bomba centrífuga para circulación de agua
2. Compresor scroll *Copeland* modelo ZR40K3
3. Condensador
4. Ventilador axial de 5 álabes (en la imagen, detrás del condensador)
5. Evaporador (intercambiador coaxial agua-refrigerante)
6. Fan-coil *Carrier* modelo 42NF75HF
7. Fan-coil *Roca* modelo FQE-32
8. Vaso de expansión
9. Elementos de regulación y medida: cuadro de control con indicadores de las potencias consumidas en compresor y fan-coils (9a), manómetros (9b), rotámetro (9c), presostato (9d)
10. Red de tuberías

INSTRUMENTACIÓN

Para la adquisición de las señales acústicas y de vibración, y su posterior procesamiento espectral, se ha empleado el analizador de señal OROS OR252 Serie II. La instrumentación empleada para cada uno de los estudios ha sido la siguiente:

Análisis acústico:

- Preamplificador, tipo 26CA, de GRAS
- Micrófono, modelo 40AE, de GRAS
- Pantalla antiviento esférica
- Calibrador de nivel sonoro, modelo 4231, de Brüel & Kjaer

Análisis de vibraciones:

- Acelerómetro, modelo 601A01, de IMI

ANÁLISIS REALIZADOS SOBRE LA PLANTA

Con el fin de determinar las características funcionales de la planta enfriadora, se han realizado dos tipos de análisis: se ha efectuado el análisis sonoro de la planta y como resultado se ha obtenido su huella acústica. A su vez se ha abordado el estudio de vibraciones de cada uno de los componentes del sistema de la planta enfriadora. Se ha empleado la técnica de análisis espectral, a partir de las medidas de vibración obtenidas, para examinar y detectar posibles problemas en los elementos de cada componente de la planta, y conocer el estado de funcionamiento de la máquina en su conjunto. Posteriormente, se han analizado y comparado los datos de cada estudio, con el fin de corroborar los resultados obtenidos.

Análisis Acústico

El análisis acústico se ha desarrollado siguiendo las siguientes fases:

1. Determinación de los puntos de medida alrededor de la máquina y la distancia entre ellos.
2. Adecuación de la máquina a las condiciones operativas apropiadas.
3. Toma de medidas acústicas en los puntos anteriormente seleccionados.
4. Análisis de las medidas adquiridas y de los valores del nivel sonoro en cada punto.
5. Elaboración de la huella sonora.

Para determinar los puntos de toma de medidas, se ha fijado una distancia de 1m alrededor del perímetro de la máquina; esta distancia cumple con lo indicado en la Norma UNE-EN ISO 3743-2, donde la distancia mínima debe ser: $d_{\min} = 0.3 \cdot V^{1/3}$ siendo V el volumen de la cámara de ensayo en metros cúbicos. Aunque la habitación en la que se realizó la toma de datos no reúne las condiciones necesarias indicadas en esta norma para ser una cámara de ensayo reverberante especial, se ha seguido como guía, en algunos aspectos, el método recomendado en ella. Una vez establecido este perímetro, se han marcado sobre él puntos equidistantes con una separación de 40cm. A su vez, el perímetro de puntos se ha aplicado a una serie de alturas, puesto que la huella acústica se ha elaborado para toda la altura de la máquina, ya que se ha admitido la aproximación de que todo el sonido que emite la planta se concentra a lo largo de una línea vertical situada en el centro de la planta (fuente de sonido lineal vertical). De esta manera, se forma una nube de puntos que rodea la planta. A continuación se muestran las diferentes alturas establecidas y las posiciones de medida alrededor de la máquina.

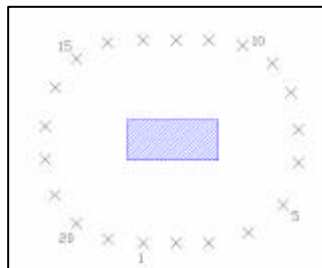


Figura 2: Perímetro de puntos

Altura	Distancia al suelo (cm)
1	40
2	70
3	90
4	110
5	130
6	150
7	170
8	190
9	210

Tabla 1: Alturas estudiadas

En cada uno de los puntos se han tomado muestras de sonido de 10 segundos de duración. Posteriormente se ha obtenido el nivel de presión sonora de cada muestra, empleando para ello el índice *Nivel sonoro continuo equivalente* ($LA_{eq,10}$). Con los valores de nivel de presión equivalente en cada punto del perímetro, y conocida la distancia entre los puntos de medida y la carcasa de la máquina, se pueden calcular los niveles de presión en la proyección de cada punto sobre la carcasa de la máquina, según la siguiente expresión [1]:

$$L_{PA} = L_{PB} + 20 \cdot \log\left(\frac{d_B}{d_A}\right)$$

Siendo B el punto en el que se conoce la presión sonora y A el punto para el que se desea obtener el valor de la presión. En este caso, B es un punto cualquiera del perímetro de la máquina, y A es la proyección del punto B sobre el contorno (o carcasa) de la máquina.

Una vez tomado el nivel de presión sonora en todos los puntos, y después de obtener el nivel de presión sonora en los puntos del contorno, se ha procedido a la elaboración de la huella acústica de la planta. Para ello se ha empleado el software *ArcView GIS*, versión 3.1, que genera la huella sonora a partir de los valores especificados para cada punto, mediante la interpolación de estos valores como si fuesen puntos situados en celdas de una rejilla.

Análisis De Vibraciones

El análisis de vibraciones se ha desarrollado siguiendo las siguientes fases:

1. Determinación de las localizaciones de las mediciones en cada componente de la planta.
2. Parámetros a medir (desplazamiento, velocidad o aceleración).
3. Adecuación de la máquina a las condiciones operativas apropiadas.
4. Toma de medidas en los puntos anteriormente señalados.
5. Análisis de las medidas adquiridas.

Para determinar la posición y dirección de las medidas con el transductor, se han contemplado y respetado los siguientes criterios de selección:

- la accesibilidad al punto de medida para la instalación del sensor,
- la geometría del componente de la máquina a analizar,
- las condiciones de temperatura a las que se encuentran las superficies de los elementos de la planta durante su funcionamiento, y que pueden falsear la medida e incluso dañar el sensor.

Los componentes de la planta para los que se han realizado medidas han sido: compresor, bomba, evaporador, ventilador y fan-coils. Para cada uno de ellos se han tomado muestras de 10 segundos, en diferentes direcciones (axial, radial vertical o radial horizontal) o puntos, dependiendo de sus características. El rango de frecuencia que se ha estudiado ha sido de 0 a 2kHz, ya que la gran mayoría de fallos en las máquinas se producen para estas frecuencias. Para la adquisición de la señal se ha empleado un muestreo de 401 líneas, por lo que la resolución espectral con la que se ha realizado el análisis es de 5Hz y la frecuencia de muestreo de 5.12kHz (0.2s). Posteriormente, para generar los espectros, se ha empleado un muestreo de 801 líneas, con lo que el periodo de tiempo de señal necesario es de 0.1s.

RESULTADOS

Resultados del Análisis Acústico

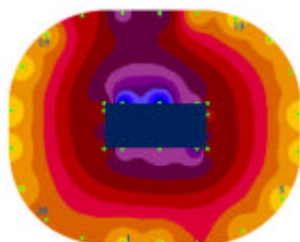


Figura 3: Altura 1

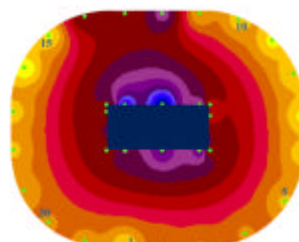


Figura 4: Altura 2

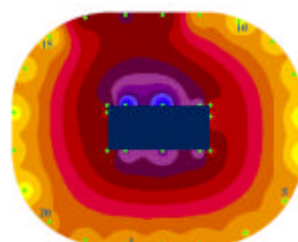
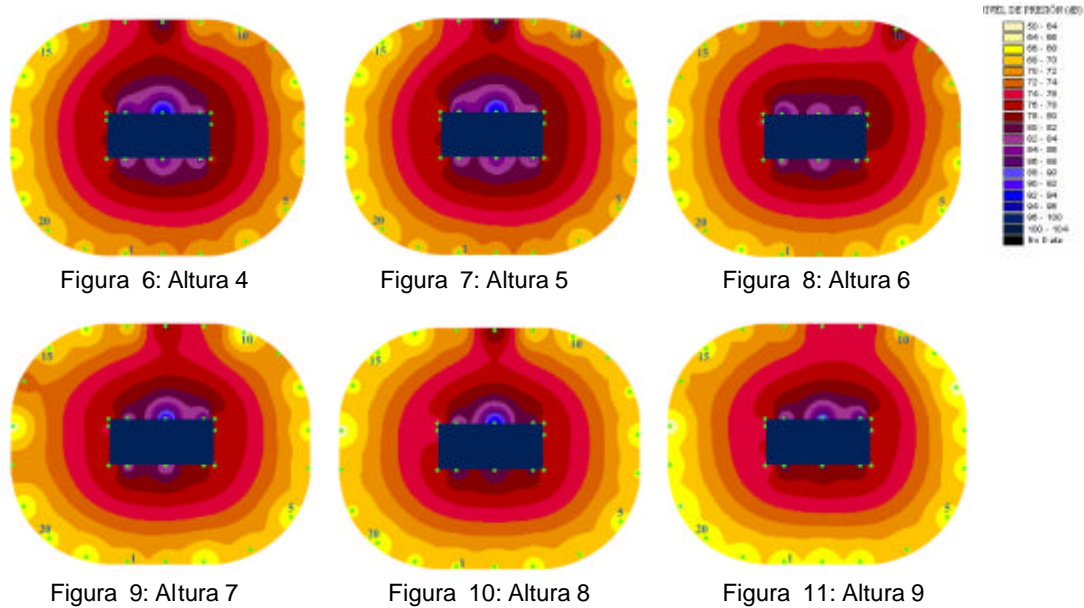


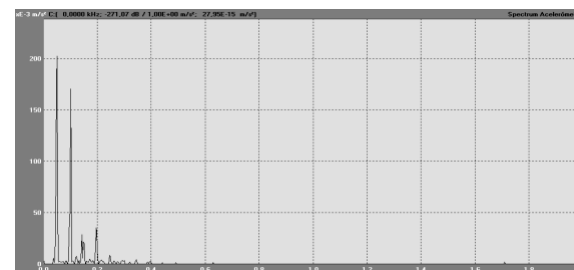
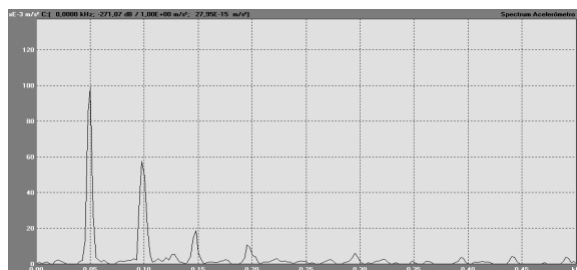
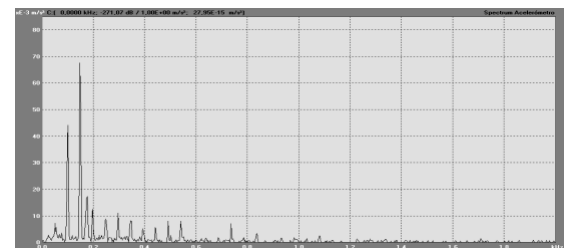
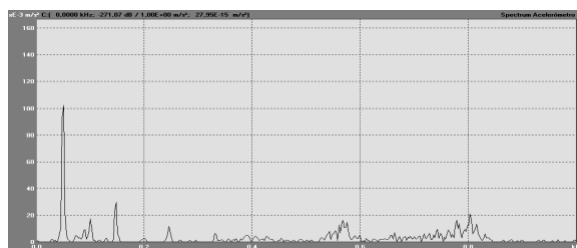
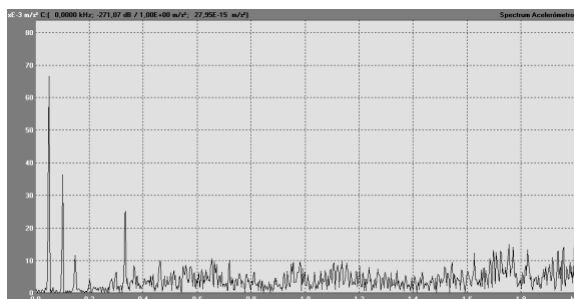
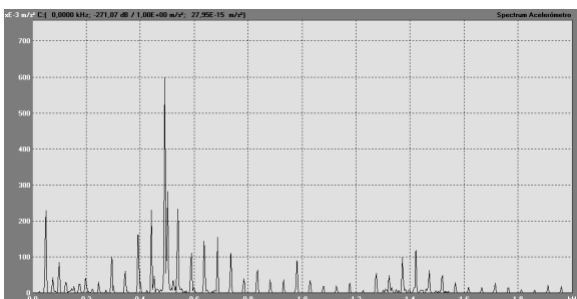
Figura 5: Altura 3



Según se aprecia en la evolución de las huellas sonoras cuando se recorre la máquina en su altura, los mayores niveles de ruido se obtienen para las alturas inferiores, es decir, donde se capta el sonido emitido por el compresor y el ventilador.

Por otro lado, para las huellas en las alturas superiores, se observa que en las zonas cercanas a los fan-coils el nivel de presión sonora es mayor, pero no por la existencia de mayor ruido, sino debido a que las corrientes de viento que generan estos elementos producen perturbaciones sobre el micrófono que la pantalla antiviento no es capaz de reducir.

Resultados del Análisis De Vibraciones



Del examen que se obtiene de los espectros generados para cada elemento, se puede extraer suficiente información como para determinar las características de funcionamiento de éstos. Así, los componentes que mayores problemas mecánicos presentan son el compresor y la bomba.

En el espectro del compresor, los picos que presenta alrededor de los 500Hz parecen indicar que existe un fallo de pista interna en uno de sus rodamientos, de severidad importante dada su elevada amplitud. Además, parece existir una pequeña holgura en un elemento rotativo así como una zona de resonancia a altas frecuencias.

Respecto a la bomba, por un lado se refleja la presencia de un desequilibrio en uno de sus álabes o la posible desalineación del eje del rotor. Por otro lado, aparece una gran cantidad de energía que, considerando las características técnicas de la bomba y su disposición de montaje, indica que existen burbujas de aire reclusas en su interior.

El espectro generado del ventilador muestra un desequilibrio, posiblemente en algún álabe, fallo muy típico en este tipo de elementos.

Por último, los espectros del evaporador y de los fan-coils, tienen en común la presencia de muy poca energía, lo que apunta a que estos componentes están funcionando en perfectas condiciones.

CONCLUSIONES

Para la realización del análisis acústico, se ha seguido una serie de procedimientos basados, en ciertos aspectos, en normativa relacionada con el caso de estudio. De este modo, además de lograr el objetivo inicial del proyecto, también se ha definido un método de trabajo para determinar niveles de presión acústica emitidos por maquinaria que no genere flujos de aire. Por otro lado, como resultado concreto del análisis acústico, se ha determinado que, de todos los elementos que componen la planta enfriadora, el que mayor nivel de ruido genera es el compresor.

En lo referente al análisis de vibraciones, los resultados muestran que el componente de la máquina que mayor nivel de vibración presenta, es nuevamente el compresor. Este elemento presenta una amplitud de vibración en la medida axial de 600m/s^2 , producida por los fallos mecánicos que presenta.

Como se observa, los resultados que se obtienen en el primer análisis coinciden con los del segundo, pudiendo concluir que los niveles de ruido generados por la planta vienen producidos por las fuerzas que provocan la vibración, es decir, los fallos mecánicos.

No obstante, debido al bajo ratio de funcionamiento anual de la planta, los fallos que pueden presentarse en el compresor (que como se ha visto, es el elemento más afectado) no van a producir la rotura inminente de este elemento de la máquina, por lo que la planta podrá seguir funcionando durante un largo periodo de tiempo. Por último, destacar que el trabajo elaborado puede servir como inicio de un plan de mantenimiento predictivo de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CYRIL M. HARRIS. *“Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido”*. Ed. McGraw Hill, S.A. (1998)
- [2] DLI ENGINEERING CORP. *“Introduction To Machine Vibration”*
[<http://www.dliengineering.com/vibman-spanish.htm>]
- [3] HIGINIO RUBIO ALONSO. Tesis Doctoral *“Caracterización de Defectos Localizados en Sistemas Mecánicos Rotativos Mediante Análisis de Vibraciones”*. Universidad Carlos III de Madrid, 2003

- [4] PASTOR SANTAMARINA POL. *“Vibraciones Mecánicas en Ingeniería”*. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones, D.L. 1998.