Ingeniería Mecánica. Vol. 14. No. 1, enero-abril, 2011, p. 40-51 ISSN 1815-5944

Artículo Original

Particularidades de la medición de presión sonora y vibraciones en grupos electrógenos MAN 18 V48/60 B

Yanexi Cepero-Aguilera, Evelio Palomino-Marín, Yanet Ponce-Toste

Recibido el 7 de octubre de 2010; aceptado el 14 de diciembre de 2010

Resumen

Como parte de las líneas de investigación del Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, se desarrolla un proyecto de investigación encaminado a establecer las pautas para la evaluación de la condición de grupos electrógenos. El presente artículo muestra las particularidades de la medición de sonido y vibraciones sobre un Grupo Electrógeno MAN 18 V48/60 B. Se analiza lo indicado en el estándar ISO 3744 concluyéndose con la imposibilidad práctica de su aplicación en el entorno industrial y para grandes máquinas como lo es el caso de los grupos electrógenos MAN 18 V48/60 B. El interés de esta investigación se enfoca al generador del grupo electrógeno y por ello no obstante, se efectuaron mediciones de presión sonora orientando el micrófono hacia los cojinetes de este, sobre los cuales también se registraron sus vibraciones siguiendo lo indicado en el estándar ISO 8528-9. El análisis comparativo de los registros espectrales de presión sonora y de vibraciones obligó a convertir los espectros FFT en espectros de ancho de banda proporcional constante. Como resultado fundamental se obtiene la no correlación de las frecuencias espectrales de presión sonora con las de vibraciones y una evaluación preliminar del generador exhibiendo una condición normal.

Palabras claves: nivel de presión sonora, medición de vibraciones, ancho de banda proporcional constante, grupos electrógenos.

Distinctive features for sound pressure level and vibration measurements over engine generator sets type MAN 18 v48/60 b

Abstract

A research project for condition monitoring of engine generator sets is developed as part of main researches at Maintenance Engineering Research Center. Sound pressure level and vibration measurements over an engine generator set MAN 18 V48/60 B are made with the goal of identify those frequencies present in both, sound pressure level and vibration spectra which could give the possibility to use sound pressure level as a symptom parameter because of the continuous feature of this kind of measurement. It is analyzed everything stated in ISO 3744 standard but it was impossible to apply such standard taking in mind the complexity of industrial environment. However, because the research is focused on generator it was registered the sound pressure level near generator bearings. Vibrations were also registered on bearings according to ISO 8528-9 standard. For comparative analysis it was necessary to convert FFT spectra into constant percent bandwidth spectra. As a result, the spectral frequencies could not be correlated in both sound pressure level and vibration spectra and a generator normal condition was found as a preliminary evaluation.

Key words: sound pressure level, vibration measurements, constant percent bandwidth, engine generator sets.

Introducción

Sin dudas, la generación distribuida constituye una alternativa estratégica para garantizar los requerimientos energéticos fundamentales de Cuba y esto presupone programas de mantenimiento que permitan garantizar indicadores de disponibilidad y confiabilidad acordes con las exigencias de este tipo de industria.

La presencia de un motor de combustión interna y de un generador como componentes básicas de un grupo electrógeno, justifican plenamente la aplicación de tecnologías predictivas y de diagnóstico, orientadas a la medición y análisis de vibraciones y sonido, la emisión acústica, el análisis de lubricante y la medición de temperatura, esta última basada preferiblemente en las tecnologías asociadas a la termovisión. [10, 11]

Es por ello que, de acuerdo a las posibilidades que ofrece un artículo de este tipo, se abordarán las pautas para la medición de sonido y vibraciones, con vista en primera instancia, a correlacionar las frecuencias dominantes en ambos registros espectrales, es decir, sonido y vibraciones, dando continuación a una investigación preliminar desarrollada a nivel de laboratorio sobre un simulador mecánico en el que se efectuaron registros de vibraciones y sonido, como resultado de la cual se pudo correlacionar algunas frecuencias significativas e incluso, fue posible cuantificar el ruido de fondo. [5, 8, 9]

Luego entonces, tomando en cuenta las evidentes diferencias que existen entre las condiciones para realizar ejercicios experimentales a nivel de laboratorio y en el entorno industrial, se procedió a efectuar registros de vibraciones y sonido sobre un grupo electrógeno ubicado en un recinto industrial y acompañado de otras seis máquinas de igual diseño y a plena operación, con el objetivo de identificar frecuencias significativas en ambos registros y poder evaluar la efectividad de la presión sonora como síntoma de estado técnico, sobre todo si se toma en cuenta que la medición del sonido producido por una maquinaria representa una medida indirecta de las vibraciones producidas por ésta [10].

Desarrollo

Consideraciones acerca del estándar ISO 3744

El estándar ISO 3744 específica varios métodos para determinar los niveles de potencia acústica en máquinas, equipos y sus componentes. El cálculo del nivel de potencia sonora está basado en la suposición de que esta magnitud emitida por la fuente es directamente proporcional al nivel cuadrático medio de la presión sonora, promediado en el tiempo y en el espacio. El método descrito en este estándar es válido para la medición de todo tipo de sonido. [1]

De especial interés resulta lo indicado en este estándar para la localización de las posiciones de los micrófonos sobre la superficie de medición, para lo cual será necesario definir un paralelepípedo hipotético de referencia. Las posiciones de los micrófonos se distribuyen entonces sobre la superficie de medición de acuerdo a una superficie hipotética de área "**S**" que envuelva tanto a la fuente como al paralelepípedo de referencia y que limite con los planos (o plano) reflectantes. [1]

La posición de la fuente bajo ensayo, así como la superficie de medición y las posiciones de los micrófonos, se definen en un sistema de coordenadas con los ejes horizontales "**x**" e "**y**" contenidos en un plano definido por la base del paralelepípedo de referencia.

Así mismo, las mediciones se deberán ejecutar de acuerdo a posiciones de micrófono correspondientes a un paralelepípedo rectangular, cuyas caras sean paralelas a las del paralelepípedo de referencia, en este caso, la distancia de medición "**d**", es la distancia entre la superficie de medición y el paralelepípedo de referencia. El valor preferible de "**d**" es de **1 metro**.

En la figura 1 se muestran las posiciones del micrófono en la superficie de medición paralelepipédica.

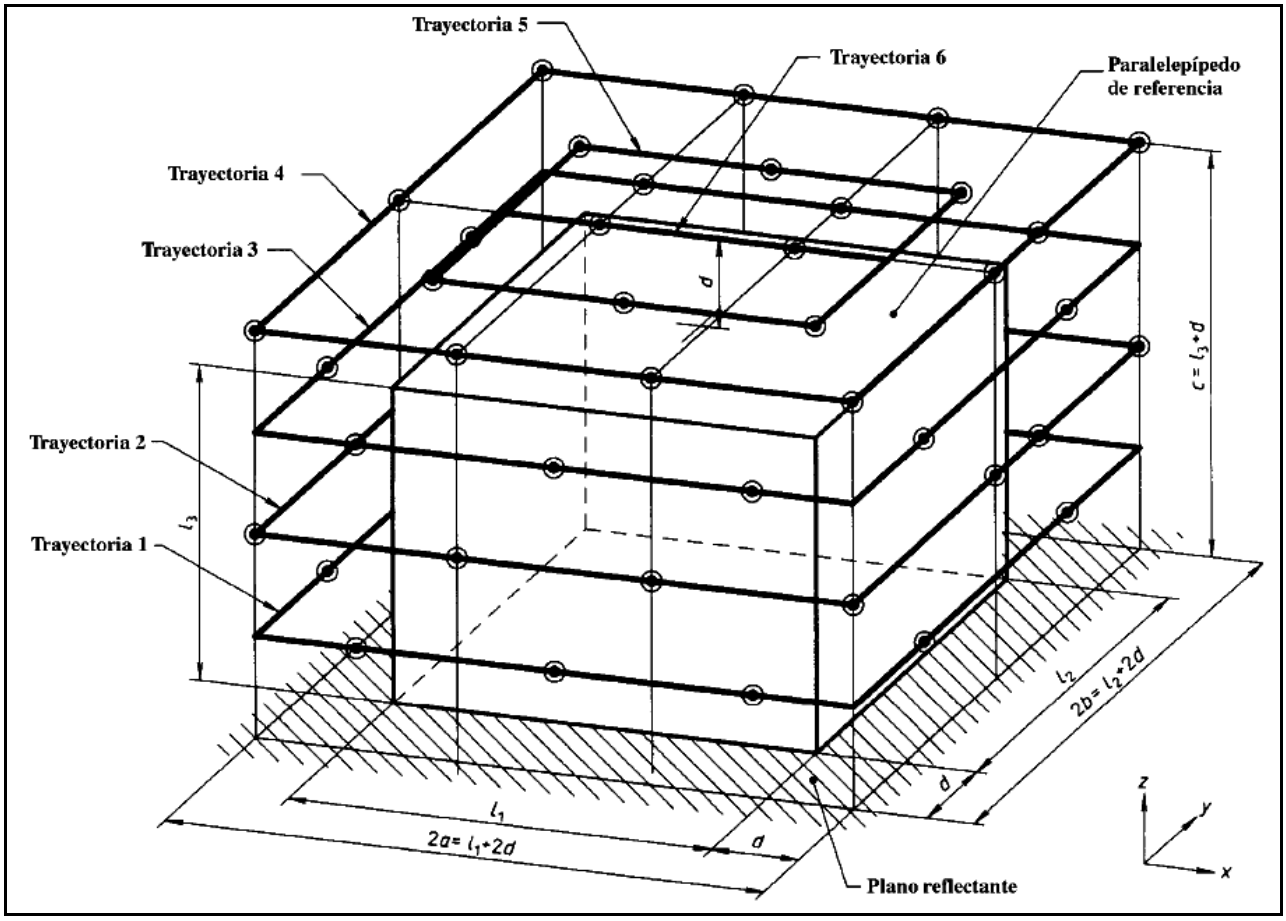


Figura 1. Superficies de medición y posiciones del micrófono para una máquina de gran tamaño

Consideraciones acerca del estándar ISO 8528-9

En principio, para la planificación de la estrategia de medición de vibraciones en el grupo electrógeno de marras, se consultó con el fabricante de la máquina y con el cliente, indagándose sobre la existencia de algún reporte de pruebas ejecutadas en fábrica o de alguna referencia que pudiese ser utilizada al menos para evaluar la condición del grupo electrógeno en cuanto a vibraciones se refiere.

Sin embargo, no se encontró una referencia suficientemente completa para la ejecución de las mediciones y por ello se acudió al estándar ISO 8528-9 que aunque no es de obligatorio cumplimiento, sí constituye una referencia importante e incluso legal para efectuar este tipo de medición.

De especial interés resulta el hecho de que el sistema de medición deberá garantizar una exactitud de un **10%** para los valores de desplazamiento, velocidad y aceleración dentro del rango de **10 Hz** a **1000 Hz** y una exactitud desde **+10%** hasta **–20%** para mediciones realizadas dentro del rango de **2 Hz** a **10 Hz**, lo cual resulta de importancia extrema, pues en no pocos casos el personal que realiza las mediciones no conoce por determinadas razones los rangos de frecuencia de operación correcta del transductor que se emplea y la modificación de estos de acuerdo al tipo de fijación que se utilice, ya sea un perno roscado o el tristemente célebre puntero.[6]

En la figura 2 se muestran los puntos recomendados por el estándar ISO 8528-9 para registrar las vibraciones en grupos electrógenos.

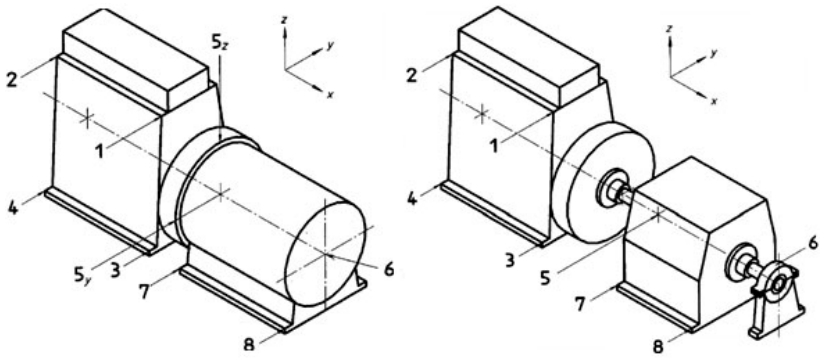


Figura 2. Ubicación de los puntos de medición

Según prevé este estándar, las frecuencias de excitación de los motores de combustión interna que accionan a los generadores, se enmarcan en el rango de entre **2 Hz** a **300 Hz**. Sin embargo, se debe tomar en consideración la influencia de la estructura portante y por ello se sugiere efectuar mediciones en el rango de entre **2 Hz** y **1000 Hz**. En la Tabla C.1 de la página 10 del estándar ISO 8528-9 se muestran valores de desplazamiento, velocidad y aceleración que deben ser tomados como referencia para evaluar la condición del grupo Electrógeno [6].

Los ejercicios experimentales

Esta investigación se realizó en una Central Termoeléctrica Cubana donde se encuentran instalados Grupos Electrógenos del tipo MAN 18 V48/60 B (observe la figura 3), con una capacidad nominal de generación de 18.4 kW, con una frecuencia de 60 Hz y operando a una velocidad de rotación de 514 rpm.[7]

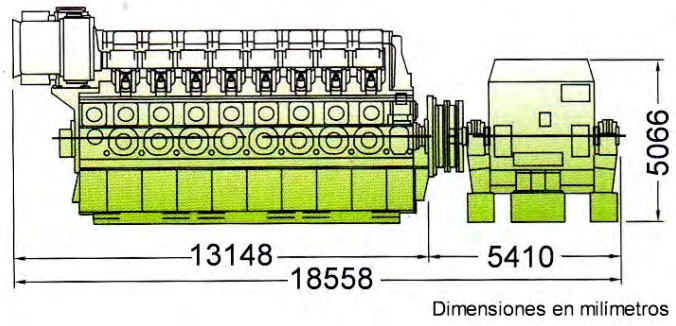


Figura 3. Grupo electrógeno MAN 18 V48/60 B

De acuerdo al alcance del proyecto inicial de investigación y tomando en cuenta que no son las vibraciones y el sonido los mejores parámetros síntomas para evaluar el estado técnico de motores de combustión interna, se decidió trabajar exclusivamente con el generador, que aunque opera acoplado al motor de combustión interna, es una máquina rotatoria y en este tipo de máquina sí ha quedado demostrada – desde hace más de 40 años – la eficacia de las vibraciones como parámetro síntoma, sólo que en lo que respecta a los objetivos de esta investigación, se intenta además utilizar el sonido para viabilizar los ejercicios de medición.

Atendiendo a lo previsto en el estándar ISO 3744 se definió el paralelepípedo de medición tomando en cuenta desde luego, las dimensiones del generador del grupo electrógeno MAN 18 V48/60 B. Nótese que el generador tiene aproximadamente **5 metros** de largo por **5 metros** de alto, lo cual indudablemente compromete el aspecto práctico de la medición de sonido de acuerdo con este estándar ISO 3744 [7]. Para definir la cantidad de puntos de medición se partió de lo recomendado en el propio estándar ISO 3744, definiendo el paralelepípedo de medición con dimensiones externas de alrededor de **6 m** x **7.4 m** x **6.7 m**, según se observa en la figura 4. Los puntos para la ubicación del micrófono fueron definidos a una distancia mutua de **1 metro** aproximadamente.

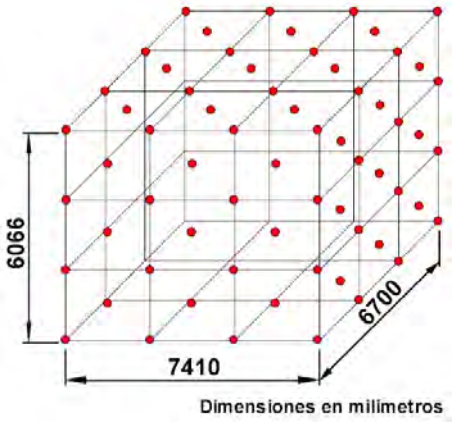


Figura 4. Dimensiones externas del paralelepípedo de referencia

De manera que, por cada cara del paralelepípedo se tendrán alrededor de 25 puntos de medición y asumiendo que se mediría en las dos áreas laterales del generador y en el área frontal libre de este, se tendría que medir en nada más y nada menos que **75 puntos**. Además de ello, la ubicación del generador en altura desde el piso supera el metro.

Todo esto presupone el empleo de un dispositivo que permita ubicar el micrófono, conjuntamente con el instrumento, en las posiciones indicadas en la figura 4 y prever algún tipo de soporte para el operador del sonómetro, pues la inmensa mayoría de las posiciones supera la altura promedio de un ser humano.

Por tal motivo, los autores realizaron la siguiente valoración, en torno a la viabilidad práctica de la realización de las mediciones de sonido atendiendo a lo indicado en el estándar ISO 3744 y para este caso en específico:

1. Número excesivo de puntos de medición (75 puntos sólo para el generador), sobre todo si se tiene en cuenta que la medición de sonido se previó ser realizada con el ánimo de simplificar el trabajo de localización de fuentes importantes de vibraciones.
2. Imposibilidad práctica de garantizar la ubicación del micrófono en todas y cada una de las 75 posiciones definidas en el paralelepípedo de medición.
3. Excesivo ruido de fondo.

A pesar de estos inconvenientes, se realizó la medición de presión sonora orientando el micrófono hacia los pedestales del generador, tal y como se observa en la figura 5a, precisando que para el pedestal del **Generador Lado Coupling** la distancia desde el micrófono a la superficie del pedestal fue de **400 mm** así como de **200 mm** para el pedestal del **Generador Lado Libre**.

El instrumento de medición empleado fue el Sonómetro ***Brüel & Kjær, Observer™ Tipo 2260***. Observe la figura 5b. La configuración de las mediciones se muestra en la Tabla 1. [4]

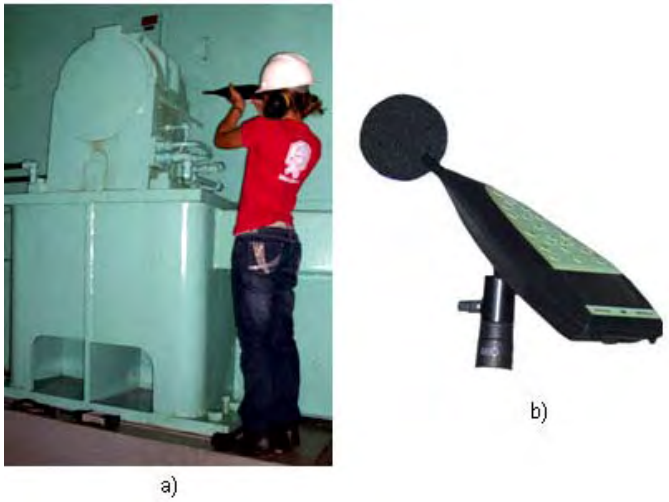


Figura 5. Mediciones de sonido en el generador.

a) Medición en el pedestal lado libre. b) Sonómetro *Brüel & Kjær, Observer™* Tipo 2260

Tabla 1. Configuración del Sonómetro *Brüel & Kjær, Observer*™ Tipo 2260 para la realización de las mediciones de presión sonora en la Unidad No. 2

Ancho de Banda:	1/3 Octava
Pico Máximo:	150,0 dB
Rango:	51,4 -131,4 dB
Medición en Banda Ancha:	A L
Medidas en octavas:	L
Hora de Calibración:	17/05/2010, 10:24:31
Nivel de Calibración:	94,1 dB
Sensibilidad:	-27,4 dB

Debido a exigencias operativas de la Central Eléctrica no fue posible registrar el ruido de fondo [3] ya que no se logró obtener el permiso necesario para detener la Unidad No.2 objeto de medición, lo cual constituye un inconveniente adicional para la realización de las mediciones de sonido en este tipo de Planta y a la vez un obstáculo real y habitual en el entorno industrial.

En la figura 6 y en la figura 7 se muestra el registro de presión sonora obtenido en el generador del grupo electrógeno No.2 en su **pedestal lado coupling** y en su **pedestal lado libre** respectivamente.

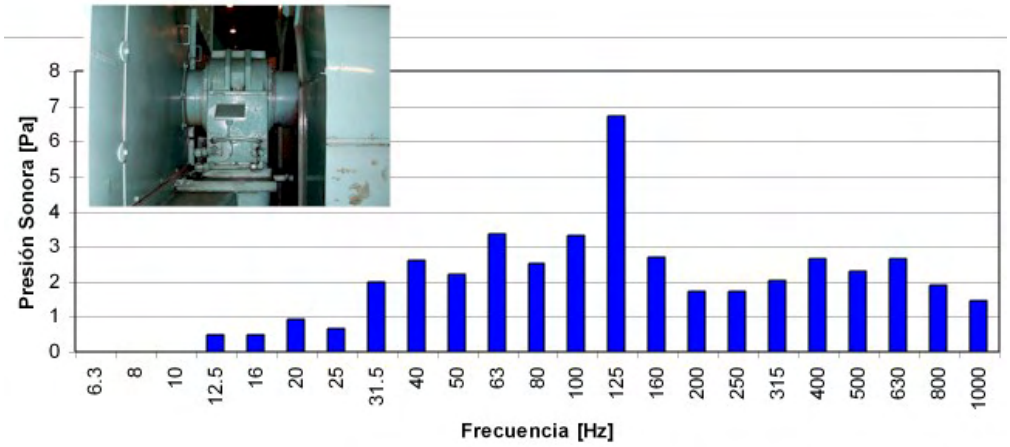


Figura 6. Registros de presión sonora obtenidos en el pedestal lado coupling del generador del grupo electrógeno No.2

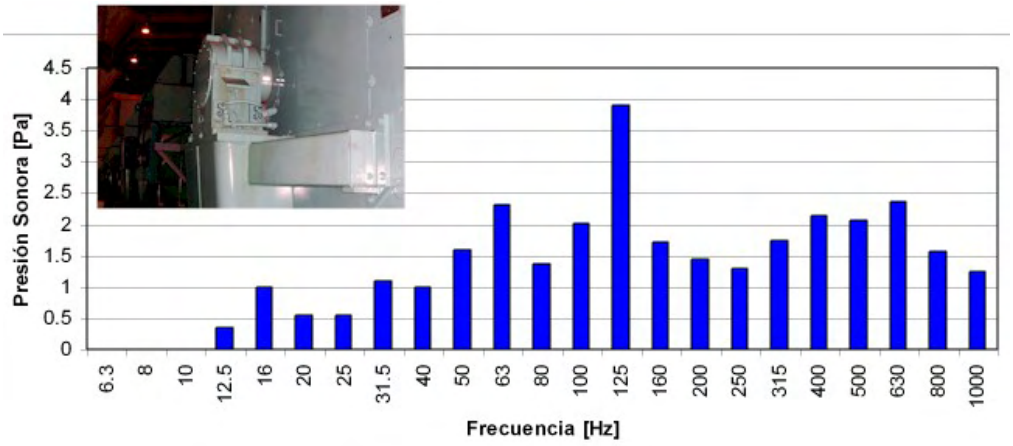


Figura 7. Registros de presión sonora obtenidos en el pedestal lado libre del generador del grupo electrógeno No.2

Así mismo y atendiendo a lo previsto por el estándar ISO 8528-9 se definieron los puntos de medición de vibraciones señalados e identificados en la figura 8. Observe que igualmente se indica el sistema de

referencia, es decir, el eje “y” identifica la dirección radial horizontal, el eje “z” identifica la dirección radial vertical y el eje “x” identifica la dirección axial.

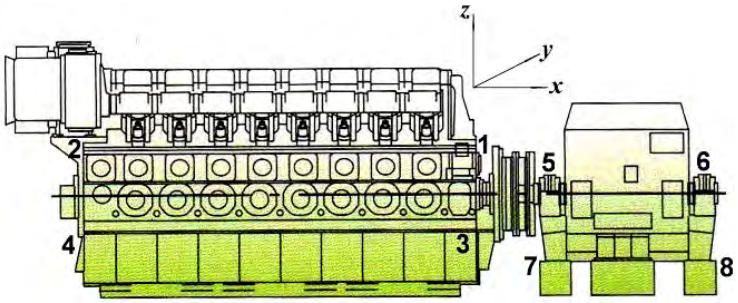


Figura 8. Identificación y ubicación de los puntos de medición.

Para la realización de las mediciones de vibraciones se contó con el Colector Analizador de Vibraciones *Pocket VibrA Pro* de la compañía Canadiense *Hyatt Industries Ltd*. Este equipo está basado en un PDA (*Personal Data Assistant)* industrial que incorpora una tarjeta de adquisición de datos y un software nombrado precisamente *Pocket VibrA Pro*. Observe la figura 9a.

Con el empleo de este instrumento, se tomaron registros espectrales en un rango de 2 Hz a 1000 Hz y se midió simultáneamente aceleración y velocidad de las vibraciones rms, de acuerdo a lo previsto en el estándar ISO 8528-9, empleándose para ello un acelerómetro del tipo C3-250 cuya función respuesta de frecuencias se muestra en la figura 9b y que exhibe una sensibilidad de 250 mili Volt por gravedades.
[10 -12]

Se efectuaron registros espectrales en un total de **36 puntos**, de ellos **24** en el **Motor de Combustión Interna** y **12** en el **Generador**.

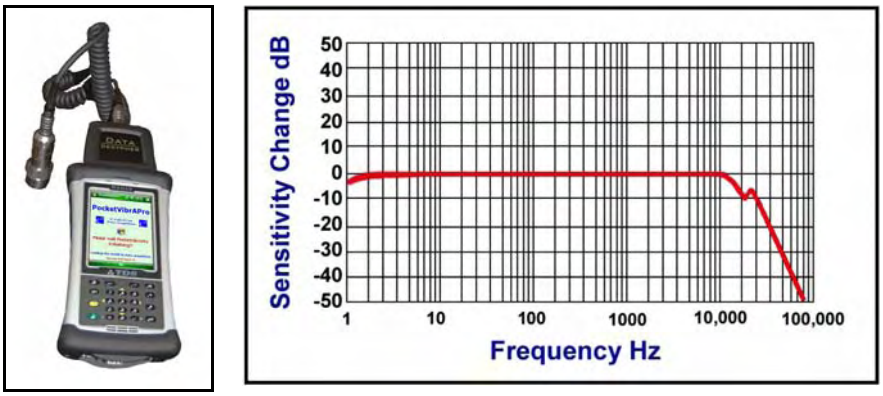


Figura 9. El Colector Analizador de Vibraciones Pocket VibrA Pro

a) El instrumento. b) Función Respuesta de Frecuencias del acelerómetro C3-250 empleado durante la realización de los ejercicios experimentales.

Discusión de los resultados

Luego de registrados los espectros de presión sonora y de velocidad de vibraciones, se procedió a la comparación de ambos. Sin embargo, se presentaron dos inconvenientes al momento de efectuar las comparaciones. Por una parte, el nivel de presión sonora se expresa en **dB** según la expresión (1) y el espectro de presión sonora se obtiene a través de un filtrado de ancho de banda proporcional constante, en este caso de tercios de octava [3].

$$db = 20\log\left(\frac{P}{P_0}\right) \qquad (1)$$

Siendo “**dB**” el nivel de presión sonora, expresado en decibel, “**P**” la presión sonora que se desea expresar en decibel y “$\mathbf{P_0}$” el valor de presión correspondiente al umbral auditivo, **20 μPa**.[3]

Por otro lado, los espectros de vibraciones tienen sus amplitudes expresadas en términos de velocidad de vibraciones en milímetros por segundo y son obtenidos a través de la FFT (*Fast Fourier Transform*) que como

se conoce, es un algoritmo optimizado de la Transformada Discreta de Fourier. Esta última se puede apreciar en las expresiones (2) y (3) en sus formas directa e inversa respectivamente. [10]

$$A(k) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} a(n).e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} \qquad (2)$$

$$a(n) = \sum_{k=0}^{N-1} A(k).e^{j\frac{2\pi kn}{N}} \qquad (3)$$

para n=0, 1, ..., N-1; k=0, 1, ..., N-1.

Siendo "**N**" el número de muestras discretas de un segmento de la señal vibroacústica. En el caso particular de las vibraciones como señales a procesar, a(n) es real y A(k) es compleja.

De la expresión (2) se puede inferir que de la FFT se obtienen espectros de ancho de banda constante y por ello, los espectros de estas dos magnitudes físicas se hacen incomparables en el formato en que ambos se obtienen de los instrumentos de medición, particularmente en el eje de frecuencias.

De aquí, que haya sido necesario expresar en **Pascal** los niveles de **Presión Sonora** para mitigar el efecto de la escala logarítmica del **decibel** y convertir los espectros de vibraciones en espectros de ancho de banda proporcional constante, de manera que ambas escalas de amplitudes fuesen expresadas en magnitudes físicas primitivas y las escalas de frecuencia fuesen similares, en términos de tercios de octava [3]. A manera de ejemplo, se muestran en la Figura los registros espectrales de velocidad de las vibraciones expresado en **mm/s rms** y de presión sonora expresado en **Pascal**, ambos obtenidos en el punto "**5y**".

La conversión de la escala en **decibel** a **Pascal** se logró empleando la forma inversa de la definición original del **decibel** según se aprecia en la expresión (4).

$$P = P_0 10^{\left(\frac{dB}{20}\right)} \qquad (4)$$

Así mismo, el contenido de cada banda de ancho porcentual constante en los espectros de vibraciones fue obtenido empleando la expresión (5), toda vez que la ponderación aplicada durante la obtención de los registros espectrales de vibraciones fue del tipo Hanning (Ponderación para el procesamiento digital de señales, que lleva el nombre de su inventor *Julio von Hann*).[2]

$$A_{CPB} = 0.8165\sqrt{\sum_{i=1}^{n} A_i^2} \qquad (5)$$

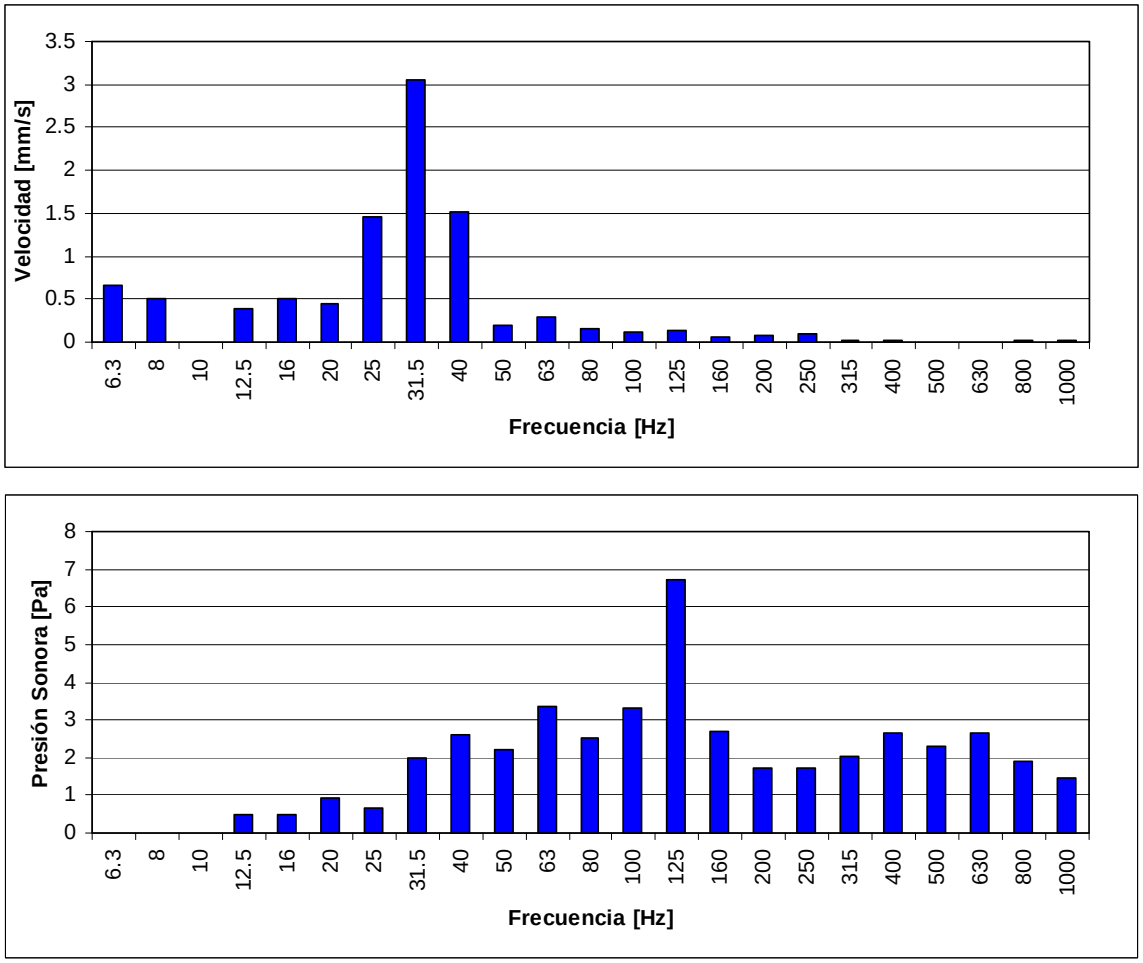


Figura 10. Espectros de vibración y presión sonora registrados en el generador, pedestal lado *coupling*, orientación horizontal (5y)

En total fueron registrados 6 espectros de vibraciones en *milímetros por segundo*, tres por cada pedestal del generador, así como dos espectros de *presión sonora* con el micrófono orientado en el plano horizontal.

Para el análisis comparativo de los espectros de presión sonora y vibraciones se tuvieron en cuenta sólo las mediciones de vibraciones realizadas en la orientación horizontal, por haber sido orientado el micrófono también en la dirección horizontal, es decir, según el eje "**y**" indicado en el estándar ISO 8528-9.

De todo este análisis se pudo concluir con lo siguiente:

Generador, cojinete lado *coupling*

Las vibraciones exhiben un comportamiento significativo en las bandas de **25 Hz**, **31.5 Hz** y **40 Hz** aunque, de acuerdo a lo indicado en la Tabla C.1 de la página 10 del estándar ISO 8528-9, las amplitudes están muy por debajo de lo dado como Alerta y Alarma, toda vez que por ejemplo, para la banda dominante de **31.5 Hz** se obtiene una amplitud de **3.046 mm/s** lo cual está muy por debajo de lo indicado en este estándar. Observe la Figura 10.

Así mismo, en cuanto a la Presión Sonora, se observa claramente que la frecuencia dominante es de ***125 Hz*** y no se observa correspondencia significativa alguna con las componentes de vibraciones. Observe la Figura 10.

No obstante, en la propia figura 10 se observa que en el espectro de Presión Sonora se tienen componentes en las bandas que resultan significativas en el espectro de vibraciones, pero no se puede afirmar que son correspondientes con las componentes de Presión Sonora.

Generador, cojinete lado libre

En este caso y de acuerdo al lo mostrado en la figura 11, las vibraciones exhiben un comportamiento significativo en las bandas de **31.5 Hz y 40 Hz** aunque, de acuerdo a lo indicado en la Tabla C.1 de la página 10 del estándar ISO 8528-9, las amplitudes también están muy por debajo de lo dado como Alerta y Alarma. Observe por ejemplo en la figura 11, que para la banda dominante de **31.5 Hz** se obtiene una amplitud de **1.69 mm/s** lo cual está muy por debajo de lo indicado en este estándar.

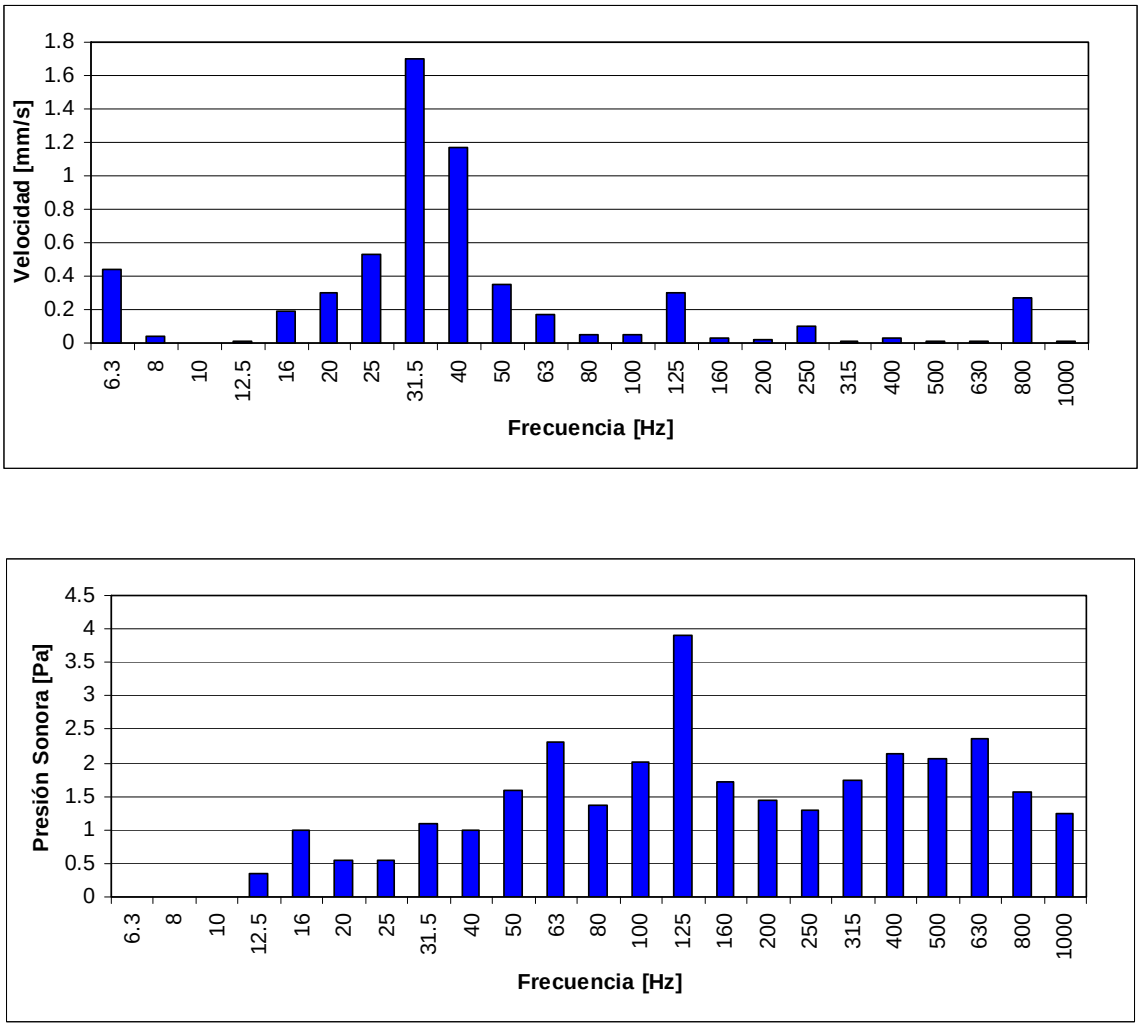


Figura 11. Espectros de vibración y presión sonora registrados en el generador, pedestal lado libre, orientación horizontal (6y).

Por su parte, la Presión Sonora exhibe la frecuencia dominante a **125 Hz** y no se observa correspondencia significativa alguna con las componentes de vibraciones. Vea la Figura 11.

Sin embargo, en el espectro de Presión Sonora se tiene componentes en las bandas que resultan significativas en el espectro de vibraciones, sin que esto garantice el poder afirmar que son correspondientes con las componentes de Presión Sonora. Observe la Figura 11.

A continuación, en la Tabla 2 se resumen los Niveles Totales RMS registrados en el Generador.

Tabla 2. Niveles Totales de Vibraciones RMS, expresados en milímetros por segundos

Punto	Orientación	Nivel Total [mm/s] RMS
5	*y*	3.90
	z	0.65
	x	1.64
6	*y*	2.27
	z	0.50
	x	0.68
7	*y*	1.68
	z	0.83
	x	0.25
8	*y*	1.34
	z	0.68
	x	0.27

De acuerdo con la Tabla 2 y tomando en cuenta lo indicado en la Tabla C.1 de la página 10 del estándar ISO 8528-9, se puede aseverar que en ningún caso se supera el nivel de **10 mm/s RMS**, válido como nivel de alerta para Generadores instalados directamente al fundamento sin que medie un sistema de aislamiento de vibraciones.

Conclusiones

1. Luego de estudiado el estándar ISO 3744 y después de evaluar *in situ* las condiciones prácticas para la realización de los ejercicios experimentales de registro de Presión Sonora en el generador del grupo electrógeno MAN 18 V48/60 B, se evidenció la imposibilidad práctica real de satisfacer los requerimientos de este estándar sobre todo atendiendo la cantidad de puntos que presupone el llamado paralelepípedo de medición.
2. Del análisis de los espectros vibroacústicos se puede concluir que no existe correspondencia entre las frecuencias dominantes de los espectros de Presión Sonora y de Vibraciones, toda vez que en los registros de vibraciones, convertidos a espectros de ancho de banda porcentual constante, resultan significativas las bandas de **25 Hz**, **31.5 Hz** y **40 Hz** y sin embargo, en los registros de presión sonora, sólo resulta significativa la banda de **125 Hz**.
3. En general, el generador exhibe niveles de vibraciones por debajo de lo indicado como nivel de alarma en el estándar ISO 8528-9, no encontrándose en los registros espectarles de vibraciones, evidencias de algún defecto con características significativas dado por la ausencia, en primera instancia, de armónicos significativos.
4. El hecho de que como resultado del análisis de las mediciones efectuadas, tanto en vibraciones como en presión sonora, no se haya evidenciado correlación alguna entre las componentes espectrales, esto no significa que tal correlación no exista físicamente para otros tipos de máquinas o para máquinas similares a la estudiada, pero obteniendo registros espectrales, por ejemplo, de intensidad sonora.
5. Los resultados obtenidos no son definitivos y constituyen sólo un punto de partida para continuar esta investigación e incluso, para extenderla a otros tipos de máquinas.

Referencias

1. AENOR. Acústica. *Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante*. UNE-EN ISO 3744. España: AENOR. 1996.
2. BERRY, J. *Proven method for specifying both 6 spectral alarm bands as well as narrowband alarm envelopes using today's predictive maintenance software systems*. USA: Technical Associates of Charlotte Inc., 1992.
3. BRÜEL & KJÆR. *Measuring sound*. Denmark: K. Larsen & Son A/S. 1984. p. 44.
4. BRÜEL & KJÆR. *Modular precision sound analyzer – 2260 Observer* ™ [Consultado el: mayo de 2010]. Disponible en: http://www.bksv.co.uk/Support/UKFaq/2260%20Observer.aspx
5. ELÍAS GÓMEZ, D. "Procesamiento y análisis de registros espectrales y de presión sonora con vistas al monitorado de la condición en Grupos Electrógenos". Tesis de Diploma. Cuba: CEIM-CUJAE, 2009. p. 54.

6. ISO. *Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets. Part 9: Measurement and evaluation mechanical vibrations.* ISO 8528-9. First edition. Switzerland: ISO. 1995.
7. MAN B&W Diesel A/S. *Stationary Engine. Programme*. 2nd edition. Germany: MAN B&W Diesel A/S, 2006. Reg. No. 39 66 13 14.
8. MBA, D. "Acoustic Emissions and monitoring bearing health". UK: *Tribology Transactions.* vol. 46 nº. 3, 2003. p. 447-451. ISSN: 1547-397X
9. MBA, D. y RAO, B.K.N. "Development of Acoustic Emission Technology for Condition Monitoring and Diagnosis of Rotating Machines; Bearings, Pumps, Gearboxes, Engines and Rotating Structures". USA: *The Shock and Vibration Digest*, 2006. vol. 38, nº. 1, p. 3-16. ISSN: 0583-1024
10. PALOMINO, E. *Elementos de medición y análisis de vibraciones en máquinas rotatorias*. 5ª edición. CUBA: CUJAE, 2007. ISBN 959-261-043-6.
11. PALOMINO, E. *Monitoreado y predicción: actualidad industrial*. 2ª Edición. CUBA: CUJAE, 2010. ISBN 978-959-261-319-5.
12. TORRES, F. y ROYO, J. A. "Análisis de vibraciones e interpretación de datos". España: *Mantenimiento: Ingeniería Industrial y de Edificios*. 2000. nº. 136, p 39-48. ISSN 0214-4344.

Evelio Palomino-Marín[I], Yanexi Cepero-Aguilera[I], Yanet Ponce -Toste[II]

I. Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento. CEIM.

Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" – CUJAE

Calle 114 #11901 e/119 y 127. Marianao. La Habana. CP 19390. Cuba

Teléfono: +(537) 266 3644

E-Mail: epalomino@ceim.cujae.edu.cu , ycepero@ceim.cujae.edu.cu

II. Instituto "Carlos J. Finlay". Avenida 27 y Calle 198, No.19805. La Lisa. Ciudad de la Habana. CUBA.

Teléfono: +(537) 208 0987