



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A185

Control de ruido y vibración en dos motogeneradores de una plataforma habitacional en el Golfo de México

Victor Rastelli (a),
Nila Montbrun (a),
Boris Bossio (a),
Victoria Rastelli (b).

(a) Departamento de Mecánica, Universidad Simón Bolívar, Edif. MEU, piso 3, Valle de Sartenejas, Caracas 1080, Venezuela. E-mail: rastelli@usb.ve, nmontbru@usb.ve, bbossio@usb.ve.

(b) Departamento de Planificación Urbana, Universidad Simón Bolívar, Edif. MEU, piso 1, Valle de Sartenejas, Caracas 1080, Venezuela. E-mail: victoriahelena@gmail.com.

Abstract

Habitation platforms that operate in the oil extraction industry in the Gulf of Mexico have generator set that produces noise and vibration. Each platform has two electrical generator sets, they are also interconnected between platforms to prevent power failure. Since the initial project stage, the generators sets were fitted with noise enclosures, but on first trials before platform launching, noise and vibrations problems were found on offices and dormitories as well. The noise enclosures had gas exhaust mufflers, but ventilation air was uncontrolled. The major problem was that diesel motors were directly anchored over the metallic platform structure. This paper shows a solution to this problem highlighting the importance of noise and vibration considerations, before building the platforms.

Resumen

Las plataformas habitacionales que atienden el descanso de los que trabajan en las plataformas de extracción y procesamiento de petróleo en el Golfo de México, tienen equipos que generan ruido y vibración. Todas las plataformas incluyen equipos de generación eléctrica independiente que están interconectadas para prevenir una emergencia por falla de algún generador. Desde la etapa de diseño y construcción, se cuidó que los motogeneradores fueran confinados para controlar el ruido que producirían pero cuando se efectuaron las pruebas previas al lanzamiento de las plataformas, se observó que el ruido y la vibración de los motogeneradores afectarían considerablemente a las oficinas y habitaciones de descanso ya que estarían anclados directamente a la cubierta de servicios. El confinamiento inicial incluía silenciadores para los gases de escape de los motores diesel pero no controlaba el ruido generado por el aire de ventilación ni consideraba que la vibración de los motores viajaría por la estructura metálica, transmitiendo el ruido. En este trabajo se presenta el análisis y solución del problema de ruido y vibraciones combinado, cuyos trabajos de modificación tuvieron que hacerse en parte con las plataformas ya instaladas en el mar, destacando la importancia que tiene prevenir los problemas de transmisión de ruido y vibración, antes de construir las plataformas.

1 Introducción

En la industrialización de los procesos productivos es usual encontrar contaminación por ruido y fenómenos vibratorios como consecuencia de los sistemas dinámicos empleados en ella. Estos fenómenos suelen presentarse por el ruido que generan las máquinas por su funcionamiento y cuando existen problemas de desbalance o desalineación de ejes en máquinas rotativas, transmitiéndose la vibración a la base de la fundación donde son colocadas. También se presentan cuando ciertas máquinas especialmente diseñadas para vibrar, son colocadas en forma inadecuada sobre una estructura sin haber evaluado previamente sus características naturales. Como ejemplo cabe señalar la vibración que transmiten equipos rotativos como bombas y compresores a la base de la fundación donde son colocados, pudiendo ocasionar fatiga del material y falla de pernos, y la vibración que transmiten al sistema de tuberías al que están conectados, pudiendo ocasionar un aumento peligroso de esfuerzos en codos y juntas de expansión.

Actualmente resulta sumamente costoso reponer o reparar cualquier daño que pudiera estar ocasionado por un problema de ruido o de vibraciones, ya que además del costo directo se debe tomar en cuenta el costo que implica la parada y el arranque del sistema o de una parte de él. Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo fundamental destacar la importancia que tiene la inclusión del estudio de estos fenómenos en el diseño industrial de cualquier proceso productivo, eligiendo para ello, un problema combinado de ruido y vibraciones ocasionado por el funcionamiento de dos moto generadores que garantizan la energía eléctrica en una plataforma habitacional ubicada en el Golfo de México. A pesar de que el problema de ruido fue inicialmente previsto en la etapa de diseño e instalación, no se consideró de manera adecuada y tuvo que ser reevaluado antes del lanzamiento de la plataforma. De la inspección preliminar, cuando se efectuaron las pruebas previas al lanzamiento de la plataforma, se observó que el principal problema sería la vibración que éstos transmitirían por estar anclados directamente a la cubierta de servicios, ya que afectaría considerablemente a las oficinas y habitaciones, de manera que surgió la necesidad de incluir también, el análisis de vibraciones.

La evaluación y medición de ruido y vibraciones conducen al esclarecimiento de sus causas y determinación de niveles máximos que permiten establecer el diagnóstico necesario para estudiar y plantear la solución de control. Si el estudio de ruido y vibraciones es debidamente contemplado en las etapas de diseño y mantenimiento industrial, muchas situaciones indeseables pudieran evitarse.

1.1 Objetivo General

El objetivo inicial de este trabajo era solamente atenuar el ruido producido por los generadores eléctricos instalados en una plataforma habitacional del Golfo de México, pero ya que el principal problema sería la vibración que éstos transmitirían, se incluyó también este análisis como parte fundamental del objetivo general.

1.2 Objetivos Específicos

- Controlar el ruido transmitido por aire por los generadores.
- Proponer y diseñar las modificaciones a la suspensión de los generadores, para aislar la vibración de los mismos.
- Determinar la severidad de los niveles de vibración finales en los generadores. Los niveles serán comparados con los límites de la Norma ISO 8528-9

1.3 Justificación

Cada generador y su motor estaban inicialmente encapsulados en un confinamiento individual, con dos silenciadores reactivos en la descarga para los gases de escape. El radiador de cada motor se encontraba separado de la cabina del generador y poseía 16 pequeños ventiladores, que luego fueron sustituidos por un ventilador de 50 hp. La ventilación de la cabina del generador era independiente de la ventilación de los radiadores.

El aislamiento interno del confinamiento tenía poliestireno expandido con un revestimiento cubierto de lámina aluminizada. Este revestimiento es un excelente aislante térmico, pero no es un aislante acústico. Los generadores y sus respectivos motores de 1500 kw estaban montados sobre rieles y estos rieles descansaban sobre la estructura de la cabina, la cual se encontraba anclada directamente a la estructura de la Plataforma. No existían elementos elásticos que interfirieran la transmisión de vibración desde los motores generadores a la Plataforma.

Todas las habitaciones de la plataforma tenían acondicionamiento acústico interior, ventanas de doble vidrio normalmente cerradas y suministro de aire acondicionado, en consecuencia estaban parcialmente aisladas del ruido aéreo externo. Por otra parte, todas las habitaciones estaban sobre la misma estructura metálica que varios niveles más abajo, sostenía a los generadores. Si se permitía que la vibración de los motores generadores pasara directamente a la estructura metálica, el ruido sería reproducido fielmente por las paredes de cada habitación. No importa el espesor y consistencia del material acústico absorbente que existiera en cada habitación, eso no impediría que cada pared actuara como un reproductor de vibración y por lo tanto se escucharía perfectamente el ruido de los generadores.

2 Metodología e instrumentos empleados

Para las mediciones de niveles de ruido se empleó un sonómetro integrador de precisión, equipado con filtro de banda octava. Las mediciones iniciales de ruido se hicieron en enero 2007 mientras las plataformas estaban en construcción. En el primer semestre del 2007 se rediseñó el confinamiento, incorporando silenciadores para el aire de ventilación y se diseñó el sistema de suspensión de los moto generadores. Los cambios al sistema fueron realizados en el segundo semestres del 2007.

Las mediciones de vibración se hicieron en enero 2008, cuando las plataformas ya estaban operando en el Golfo y se emplearon acelerómetros triaxiales, acondicionadores de señales de 3 canales y tarjetas digitalizadoras. Se tomaron los niveles de vibración bajo dos condiciones de operación: en vacío y en carga. Los acelerómetros fueron colocados de forma que se pudiera determinar si los equipos presentaban vibraciones torsionales. Los puntos de medición y las mediciones se hicieron de acuerdo a la Norma ISO 8528-9 "Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 9: Measurement and evaluation of mechanical vibrations".

Posteriormente las señales en tiempo fueron procesadas para obtener el espectro de amplitud y de fase vs. frecuencia de aceleración de cada señal. La velocidad de muestreo de la tarjeta de adquisición se seleccionó en 4 khz, ya que sólo interesaba analizar las frecuencias bajas. Finalmente, las señales de aceleración fueron integradas, para obtener las señales de velocidad de vibración. Al procesar las señales se obtuvieron también los valores rms de las señales de velocidad y de aceleración.

Debido a que los motores (V16) y los generadores estaban montados sobre una plataforma de dos rieles rígidos (skid), se diseñó un sistema para que los rieles estuvieran

soportados por 8 bases elásticas, calculado para disminuir la transmisión de la vibración producida por los generadores.

En cada generador se empleó el esquema de medición que se muestra en la figura 1, con el sistema de coordenadas:

- La coordenada Z es la vertical
- La coordenada X es axial, paralela a la dirección del eje de giro del generador
- La coordenada Y es radial, perpendicular al eje de giro del generador

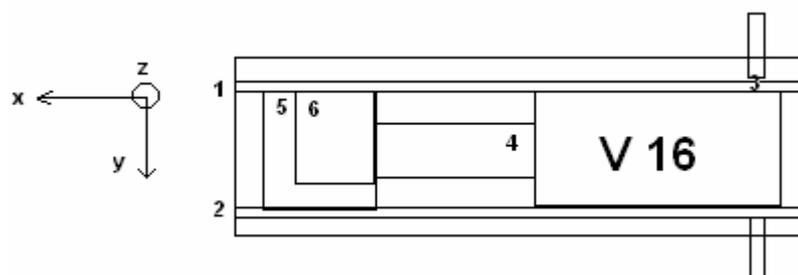


Figura 1. Indicación de la posición de los puntos de medición y sistema de coordenadas

Primero se colocaron los dos acelerómetros en los puntos 1 y 2 en los extremos de los patines de soporte (skid) para discriminar si existía vibración torsional. Posteriormente, se colocaron los acelerómetros en los puntos 1 y 3 para discriminar si existía cabeceo. Finalmente, se colocó un acelerómetro en los puntos 4 (generador), 5 y 6 (tableros internos).

Para determinar la presencia o ausencia de vibraciones torsionales, se examinó la diferencia de fase, entre las señales verticales, de los puntos 1 y 2 en las frecuencias que arrojaron amplitudes importantes en el espectro. De igual manera, para determinar la presencia o ausencia de cabeceo, se examinaron las fases entre las señales 1 y 3. Los puntos 4, 5 y 6 se emplearon para determinar la severidad de la vibración en el generador y en los tableros internos.

3 Soluciones consideradas

3.1 Control de ruido aéreo de los generadores

La primera solución considerada fue instalar silenciadores disipativos en la entrada y descarga de aire de los confinamientos de los generadores y en la entrada y salida de aire del radiador. Esta solución no se pudo implantar por la caída de presión que generaría la colocación de estos silenciadores pero además, por la falta de espacio disponible.

Otra solución considerada fue eliminar el radiador externo y sustituirlo por un intercambiador de calor, líquido a líquido pero esta solución requería la instalación de una bomba de circulación de agua externa y por razones de tiempo, fue descartada.

Se consideró emplear el espacio disponible sobre las cabinas para colocar cámaras de expansión pero esta solución se descartó por problemas de espacio. Como la utilización de barreras acústicas también fue descartada, la única opción viable fue la instalación de “Louvers” acústicos, que son silenciadores disipativos de escaso espesor (30 cm) que no proporcionan grandes atenuaciones.

3.2 Control de vibración de los generadores

Los generadores y los motores estaban montados sobre rieles comunes para no perder la alineación entre los equipos. La solución considerada consistió en levantar los rieles y colocar bases aislantes debajo de ellos. Esta acción requería la modificación de las cabinas de confinamiento de los generadores y la instalación de bases y extensiones debajo de los rieles de soporte de los moto generadores con el objetivo de alejar la frecuencia de giro de los motores (frecuencia de excitación) de la frecuencia natural de vibración del sistema suspendido para cuidar que no ocurriera el fenómeno de resonancia cuando ambas frecuencias coinciden. Los generadores giran a 1800 rpm (30 hz), por lo cual se persiguió que la frecuencia natural del sistema suspendido a diseñar, fuera menor a 5 hz.

4 Cálculos de atenuación de ruido

En Febrero 2007 se midieron los niveles de ruido alrededor de los generadores operando a 1000 Kw. Frente a la succión del radiador, a un metro de distancia se obtuvieron 96.4 dBA y el espectro indicado a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1. Espectro de ruido a un metro de la succión del radiador

Frecuencia [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nivel [dB]	100.0	95.5	95.9	94.0	91.8	89.5	80.2	73.8

El objetivo de diseño era alcanzar 85 dBA a un metro de distancia, en cualquier posición frente al equipo. Al analizar los detalles del confinamiento existente se observó que el calibre de la lámina utilizada era excelente, pero el aislante interno era de tipo térmico y no acústico. Sin embargo, se consideró que no valía la pena sustituirlo por otro aislante porque aunque se hubiera instalado material acústico absorbente, la ganancia en decibeles hubiera estado sólo en el orden de 3 dBA. La única solución viable fue el empleo de Louvers, que son silenciadores tipo persiana, los cuales tienen espesores reducidos, atenuaciones reducidas pero también, baja caída de presión. Los Louvers seleccionados fueron instalados como puede observarse en la figura 2 y sólo se permitieron alcanzar niveles finales de 90 dBA.



Figura 2. Vista de los dos generadores confinados, con los silenciadores de descarga de gases y los louvers de ventilación.

5 Cálculos de aislamiento de vibraciones

El peso de los motores generadores sobre los rieles era de 11437 kg (25219 lbs). Se estudiaron las siguientes configuraciones para los soportes elásticos que se debían instalar:

- Con 4, 8 y 10 puntos de apoyo.
- Suspendiendo la cabina completa
- Suspendiendo los motores generadores dentro de la cabina

El factor de transmisibilidad oscila entre 10% y 1.1% dependiendo de la selección del número de puntos de apoyo y de la rigidez de cada uno de ellos. La última decisión fue aislar los motores generadores desde los rieles, levantándolos dentro de la cabina, lo cual requería modificar la altura del techo de la misma. Se decidió emplear 8 soportes de 7000 lbs/in de rigidez de tipo sísmico. Con este esquema, la frecuencia natural bajó a 4.65 Hz y el factor de transmisibilidad alcanzó 2.4%.

La ventaja de emplear 8 puntos de apoyo es que se podrá graduar la carga en cada uno de ellos y en el límite, si se quiere disminuir todavía más la transmisibilidad, bastará con aflojar la graduación de elevación de algunos soportes. Con esto variará la carga en cada resorte y se pudiera modificar (reduciendo) la rigidez total y alterar la transmisibilidad.

6 Resultados de las mediciones de vibración

Los espectros se graficaron hasta 1 khz para cubrir el rango exigido por la Norma, sin embargo, la información contenida en la data, permite analizar hasta 2 khz (frecuencia de Nyquist, para una velocidad de muestreo de 4 khz). Se analizó cada señal más allá del rango de 1 khz y no se observaron anomalías entre 1 y 2 khz, por esta razón no se muestran las componentes superiores a 1kHz.

En los espectros no debe prestarse atención a las componentes de muy baja frecuencia (menores a 1 hz), los cuales pueden ser generados por efectos de “fuga” de la FFT, por la ventana de tiempo utilizada (efecto alias) o producido (en otros casos) por los preamplificadores. El amplificador de los acelerómetros es del tipo de “carga” (charge amplifier) por lo cual el sistema de medición introduce una componente DC (a frecuencia 0) que es falsa.

7 Análisis de las señales de vibración

A continuación se incluye en la figura 3, un grupo de los espectros de vibración tomados en los puntos 1 y 2 de uno de los generadores (con carga) luego del aislamiento.

No se encontraron puntos de excesiva vibración en ningún generador. Todas las señales están por debajo de los límites de 40 mm/s y 50 mm/s (valores rms de la señal de velocidad), para generadores de más de 40 kw girando a 3600 rpm, según la tabla C.1 de la Norma ISO 8528-9. Se examinaron las fases de las señales, buscando la existencia de vibraciones torsionales y no se encontraron indicios de su presencia. Cuando se notaron picos de amplitud coincidentes (en frecuencia), se buscaron los valores de diferencia de fase (para esa frecuencia). Del análisis se encontró que cuando ocurren amplitudes coincidentes, las diferencias de fases son aleatorias y en ningún caso existen valores cercanos a 180°. Como dato curioso se notó que cuando los generadores funcionaban sin carga, la vibración era ligeramente mayor que cuando los generadores funcionaban bajo carga eléctrica. Sin embargo, en cada caso se comprobó que los niveles de vibración estaban siempre por debajo de los límites de norma ISO 8528-9 lo cual confirmó que los generadores estaban operando en un excelente estado.

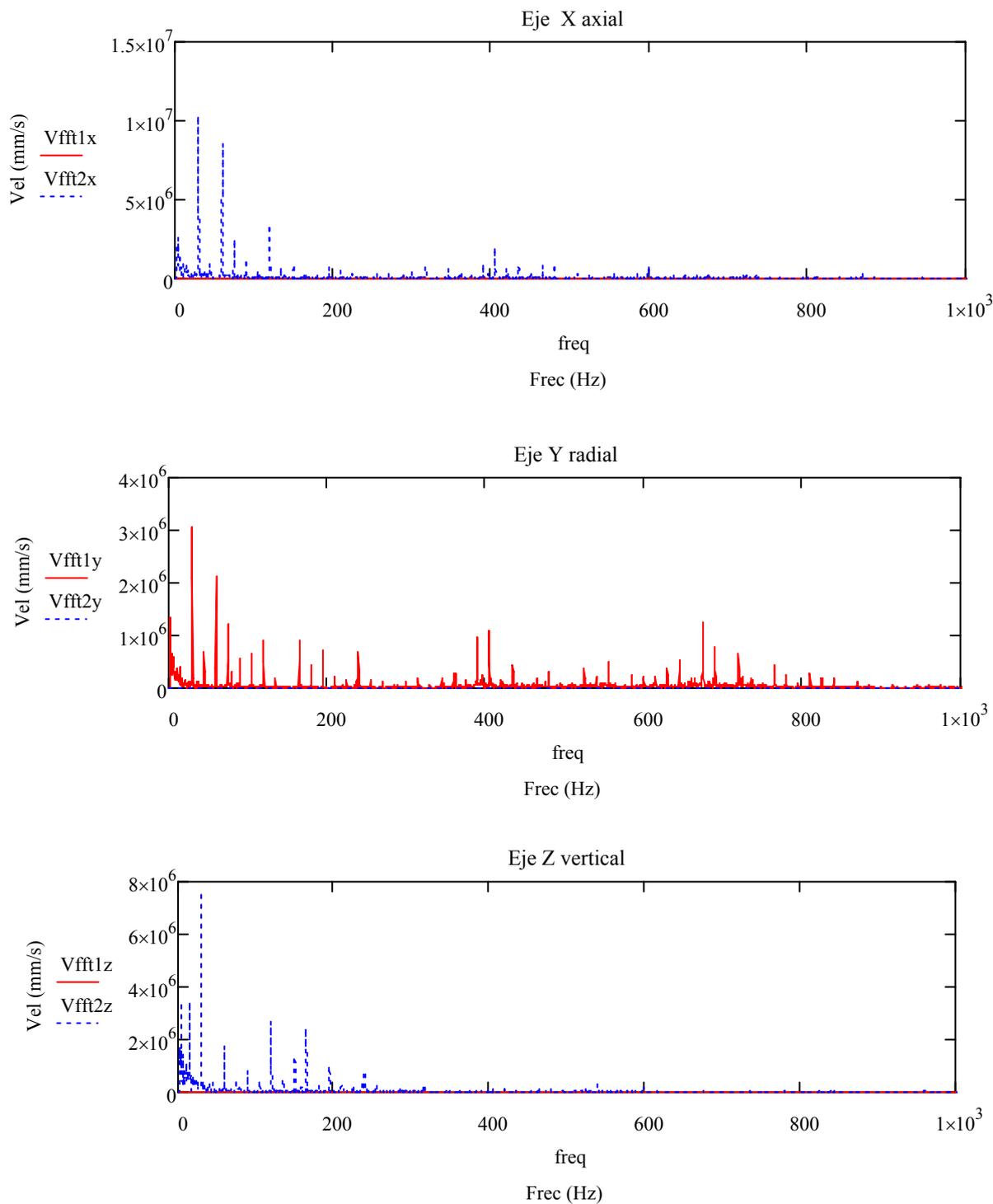


Figura 3. Espectros de vibración en los puntos 1 y 2 de uno de los generadores

8 Conclusiones

El problema que se presentó con el confinamiento inicial de los equipos de generación eléctrica en una plataforma habitacional fue que no era suficiente como para alcanzar los

valores establecidos por las normas acústicas pero lo más grave fue que la transmisión de vibraciones no fue considerada a pesar de que los equipos estaban anclados a la superficie de la plataforma. Se propusieron soluciones de control de ruido y de vibraciones que luego de su instalación pudieron ser evaluadas. Lamentablemente, por problemas de espacio y de caída de presión, la solución de control de ruido no logró que se alcanzaran 85 dBA a un metro de distancia de los equipos pero en cuanto a las vibraciones que se generarían en la plataforma habitacional, pudieron ser evitadas porque las bases aislantes colocadas en los generadores lograron que disminuyeran a valores por debajo de los límites permitidos por las normas.

Referencias

- Crocker, M.(2007). "Handbook of noise and vibration control". John Wiley & Sons.
- May, D.(1978). "Handbook of Noise Assessment", Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series.
- Norma ISO 8528-9 "Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 9: Measurement and evaluation of mechanical vibrations".
- Rastelli V.; Montbrun N. ; Bouza A.(1998). "Environmental Pollution and Noise Control of two power generator sets placed into a recreative area". 16th International Congress on Acoustics, Seattle, USA.
- Vér, I.; Beranek, L.(2006). "Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications". John Wiley & Sons.
- Wells, R.(1979). "Noise Measurements: Methods in Handbook of Noise Control". C.M. Harris, McGraw-Hill.