

## CARACTERIZACIÓN DE LA POTENCIA SONORA DE MÁQUINAS EMPLEADAS EN CANTERAS

PACS: 43.50.Jh

García Dávila, P.M.; Méndez Sierra, J.A.\*; Carmona del Río, F.J.; Barrigón Morillas, J.M.;  
Gómez Escobar, V.; Vílchez Gómez, R.; Rey Gozalo, G. y Prieto Gajardo, C.  
Universidad de Extremadura, Escuela Politécnica, Dpto. de Física Aplicada,  
Avda. de la Universidad s/n,  
10071 Cáceres, Spain.  
Tel.: +34 927 257 195. Fax: +34 927 257 203.  
\*E-mail: [jmendez@unex.es](mailto:jmendez@unex.es)

### ABSTRACT

In order to characterize the sound power level and directivity of machines in quarries, it have been implemented the ISO standards 3744 and 3741. Five machines: radial (radial cutting saw), bailarín (small drill powered by compressed air), bujarda (big drill powered by compressed air), banqueador (very large mechanic drill) and hilo de corte (large wire saw), were selected in the granite quarry of Quintana de la Serena (Badajoz, Spain) for its consideration. The radial cutting saw was also measured in the reverberant chamber Acoustics Laboratory at the University of Extremadura.

### RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es la caracterización acústica de las máquinas utilizadas en las canteras de granito de Quintana de la Serena (Badajoz). Para ello, se ha procedido a realizar un catálogo de máquinas, de las cuales se han seleccionado para su caracterización acústica, aquellas que por su posibilidad de movilidad, o por su entorno acústico (ausencia de planos reflectantes) cumplen la norma UNE-EN ISO 3744 para la medida de potencia acústica. Entre ellas se han elegido: radial, bujarda, bailarín, banqueador e hilo. Para cada máquina se ha estudiado la potencia acústica que genera, así como su directividad. Se ha explicado la metodología empleada para la medida de cada una de ellas, así como el montaje y el proceso de ensayo.

Una de estas máquinas, en concreto la radial, dadas sus posibilidades de movilidad y sus adecuadas dimensiones fue también medida en la cámara reverberante (norma UNE-EN ISO 3741) de la Escuela Politécnica (UEX), pudiendo así comparar sus resultados en campo libre y en cámara por distintos métodos.

## 1.- INTRODUCCIÓN

En este trabajo nos centraremos, por operatividad, en la extracción del granito realizado en las canteras de la localidad de Quintana de la Serena, situada al oeste en la provincia de Badajoz (España), en donde ya se realizaban extracciones en la época protohistórica, desde la cual, se viene ya obteniendo una variedad de granito conocida como “Gris Quintana”, que sólo se produce en estas canteras.

El proceso de extracción del granito “Gris Quintana” se realiza en canteras a cielo abierto, empleando un sistema de bancales, cuando el frente de corte lo permite, y aplicando diferentes técnicas y métodos: taladros o perforadoras (denominadas banqueadores en la jerga de las canteras) e hilo diamantado de corte, o bien recurriendo a voladuras controladas y lanzas térmicas cuando no queda otra opción.

Como podemos imaginar, todos los procesos anteriormente mencionados son altamente ruidosos. Ahora bien, como primer paso fundamental, pensamos que es necesario conocer la potencia acústica generada por la maquinaria empleada.

Si queremos conocer qué procedimiento estandarizado debe utilizarse para la medida de la potencia sonora, podemos encontrar un resumen muy útil en la norma UNE-EN ISO 3740:2001, que aporta un listado de todas las normas ISO que pueden emplearse para la medida de la potencia [1]. De entre ellas, nosotros hemos empleado dos normas que se adecuaban a nuestras condiciones: UNE-EN ISO 3744:1996 e UNE-EN ISO 3741:2001, [2-3].

La norma UNE-EN ISO 3744 permite medir la potencia acústica de una fuente, así como conocer su directividad, para máquinas que se encuentran en campo abierto, empleando métodos en los que se mide el nivel de presión sonora a lo largo de superficies imaginarias (semiesfera o paralelepípedo) que envuelven a la fuente en cuestión, [2].

La norma UNE-EN ISO 3741 permite, además, que aquellas máquinas que por sus adecuadas dimensiones y posibilidades de movilidad, puedan ser trasladadas a una cámara reverberante, se les obtenga también su valor de potencia acústica y pueda ser comparado con los valores en campo libre, [3].

## 2.- METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 2.1.- Máquinas seleccionadas

Del amplio catálogo de máquinas que pueden utilizarse en una cantera, hemos seleccionado aquellas que por sus dimensiones y ausencias de planos reflectantes, cumplen con las condiciones especificadas por la norma UNE-EN ISO 3744, [2]. Podemos observar en las Figuras 2.1 a 2.5 el conjunto de máquinas que han sido seleccionadas para la medida de su potencia acústica y directividad, junto con el nombre que se les asigna en la jerga del oficio en canteras de granito. De todas ellas, la radial (Fig. 2.1) también fue medida siguiendo la norma UNE-EN ISO 3741, [3].



**Figura 2.1:** Radial o disco de corte portátil.



**Figura 2.2:** Bailarín o broca pequeña.



**Figura 2.3:** Bujarda o broca grande



**Figura 2.4:** Banqueador o gran taladro



**Figura 2.5:** Hilo de serrado

## **2.2.- Métodos empleados**

NORMA UNE-EN ISO 3744:1996. 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, [2].

Esta norma explica un método para medir los niveles de presión acústica en una superficie de medida que envuelve a la fuente de ruido, bajo condiciones que se pueden aproximar a campo libre cerca de uno o varios planos reflectantes, con objeto de calcular el nivel de potencia acústica producido por la fuente de ruido.

Precisa los requisitos que debe tener el entorno de ensayo, la instrumentación y técnicas para obtener el nivel de presión acústica superficial, a partir del cual se calcula el nivel de potencia sonora de la fuente medida, obteniéndose un grado de precisión de ingeniería o grado 2.

Los puntos y posiciones de medida vienen especificados en la norma. En nuestro caso las semiesferas envolventes empleadas fueron de 1 y 2 metros de radio, según el caso. Y los paralelepípedos de medida eran definidos a partir de las dimensiones  $l_1$  (largo),  $l_2$  (ancho) y  $l_3$  (alto) del prisma de referencia, que se asemeja lo más posible al volumen de la máquina, tales que siendo  $d$  la distancia de medida, se verifica que  $l_1 \leq d$ ,  $l_2 \leq d$  y  $l_3 \leq 2d$ , siendo en nuestro caso  $d = 1$  metro, para máquinas pequeñas (radial, bailarín y bujarda).

En el caso de máquinas grandes, empleamos superficies paralelepípedas con las siguientes condiciones: para el banquero  $l_1 \leq d$ ,  $l_2 \leq d$  y  $l_3 \leq 5d$ ; y para el hilo de corte  $4d < l_1 \leq 7d$ ,  $l_2 \leq d$  y  $l_3 \leq 2d$ . Para el banquero se empleó  $d = 1$  m y 13 posiciones de medida, y para el hilo de corte  $d = 2$  m y 19 posiciones de medida.

El Índice de Directividad (ID), se define según esta norma, para una superficie de medida semiesférica, como la diferencia entre el nivel medido a cada ángulo y el nivel medio de todos los ángulos, corregidos todos por ruido de fondo.

En todos los casos medidos, las correcciones por ruido de fondo ( $K_1$ ) y por entorno acústico ( $K_2$ ) fueron tomadas como nulas, dada la gran diferencia de niveles existentes entre el ruido de fondo con las máquinas apagadas, y los niveles medidos con las máquinas en carga, además de la no existencia de otros planos reflectantes, descontando el suelo.

UNE-EN ISO 3741:2001. DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE POTENCIA ACÚSTICA DE LAS FUENTES DE RUIDO A PARTIR DE LA PRESIÓN ACÚSTICA. MÉTODOS DE PRECISIÓN EN CÁMARAS REVERBERANTES, [3].

Esta norma explica cómo determinar la potencia acústica, radiada por fuentes acústicas, en función de la frecuencia dentro de una cámara reverberante. El cálculo de la potencia acústica a partir de las mediciones de la presión acústica está basado en la premisa de que, para una fuente que emita una potencia acústica determinada en la cámara de ensayo reverberante, la presión acústica media, promediada en el espacio y en el tiempo, es directamente proporcional a la potencia acústica y, por otra parte, depende únicamente de las propiedades acústicas y geométricas de la cámara y de las constantes físicas del aire.

Todas las mediciones en cámara reverberante fueron realizadas con una humedad del  $80\% \pm 4\%$ , temperatura de  $10 \pm 1^\circ\text{C}$  y presión atmosférica de  $102000 \pm 1500$  Pa. Los valores y márgenes de variación en los datos anteriores se mantienen dentro de los límites señalados por la norma. El ruido de fondo se mantuvo en todas las bandas de frecuencia a más de 10 dB de diferencia, también cumpliendo norma.

A diferencia de las medidas en campo abierto, en donde no importaba el polvo desprendido (el operador lleva mascarilla y no suele utilizar el dosificador de agua), en el interior de la cámara reverberante las pruebas con la radial en carga, se hicieron con un dosificador de agua, para evitar que la cámara se llenara de polvo y fuera impracticable el trabajo en su interior, y su posterior limpieza. Mostraremos cómo esto influye en los resultados.

### **2.3.- Equipamiento utilizado**

El sistema de instrumentación empleado cumple los requisitos establecidos para un instrumento de tipo 1, norma CEI 804. El equipo utilizado para las medidas en exterior siguiendo norma UNE-EN ISO 3744, es el siguiente:

- ✚ Sonómetro Brüel and Kjær modelo 2238 A.
- ✚ Micrófono Brüel and Kjær modelo 1404.
- ✚ Calibrador Brüel and Kjær modelo 4231.
- ✚ 2 trípodes.
- ✚ Caña de pescar de 5 metros (más ligera que una pértiga convencional, pero muy resistente a la vez).
- ✚ Cinta adhesiva.

Puesto que todas las máquinas medidas despiden polvo, al final de cada serie de medidas, la pantalla antiviento se ha limpiado, lavado y secado hasta volver a sus condiciones iniciales, para iniciar una nueva serie.

Para las medidas siguiendo norma UNE-EN ISO 3741, se ha utilizado la cámara reverberante de la Universidad de Extremadura (Escuela Politécnica), con un volumen de cámara de 202,04 m<sup>3</sup>, y una superficie de cámara de 210,00 m<sup>2</sup>. Para evitar el polvo que se desprende, en el caso de la cámara se ha empleado un dosificador de agua durante el proceso de corte y medida.

Se ha realizado siempre una calibración del micrófono al comienzo y al final de cada serie de medidas.

### 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1.- Espectros obtenidos

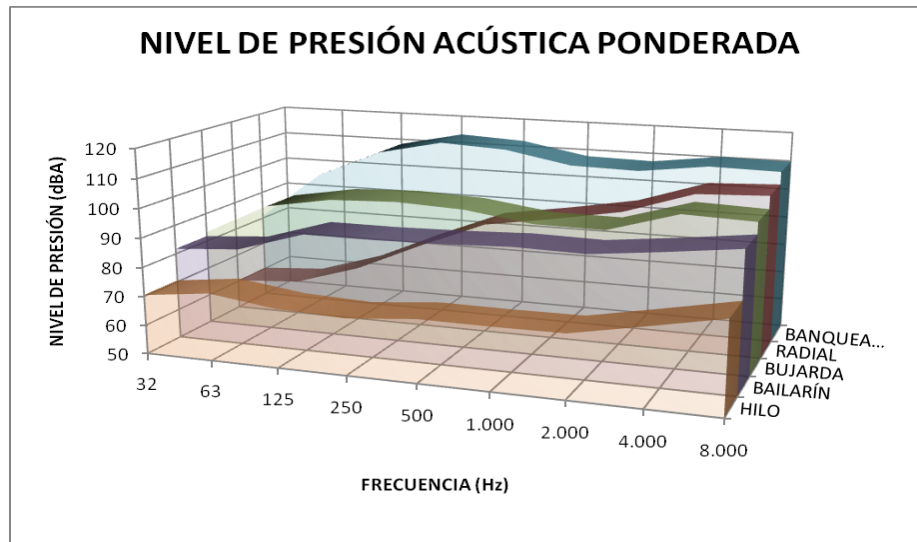
Los resultados obtenidos utilizando un mismo tipo de superficie envolvente (en este caso paralelepípedo) para todas las máquinas estudiadas se muestran en la Fig. 3.1. Podemos observar que el espectro más bajo corresponde al hilo, y el más alto al banqueador. En general, los espectros del hilo, bailarín y bujarda son aproximadamente planos, en este orden, mientras que el espectro de la radial es creciente con pendiente aproximadamente constante en cada banda de frecuencia. El espectro del banqueador crece rápidamente en las frecuencias bajas, para luego permanecer aproximadamente plano en las frecuencias mayores.

Los espectros medios obtenidos, tanto para aviones a reacción, como aviones de hélice, se encuentran generalmente situados en el rango de los 115 a 130 dB para todas las frecuencias, de forma que sólo el banqueador en nuestro caso llega a alcanzar estos niveles, [4-5].

Hemos podido comprobar que aquellas máquinas que funcionan automáticamente, sin la presencia de un operario, como es el caso del hilo de corte y del banqueador, presentan directividad aproximadamente circular, es decir, todas las direcciones por igual. En cambio, aquellas máquinas que precisan de un operario, que las sostiene, maneja y dirige, presentan una ligera desviación en la directividad circular, debido precisamente al pequeño efecto de apantallamiento que ejerce el operario.

A diferencia con lo mostrado anteriormente, en el caso de aviones, el ID presenta grandes variaciones en función del ángulo, obteniéndose diagramas de tipo lobulado, [4-5].





**Figura 3.1:** Espectros obtenidos por el método del paralelepípedo para las cinco máquinas estudiadas.

### 3.2.- Potencia acústica medida

En la Tabla 3.1 podemos observar los valores de potencia acústica obtenidos para las diferentes máquinas estudiadas, siguiendo las normas UNE-EN ISO 3744 y 3741, según distintas superficies envolventes, a diferentes distancias.

Podemos observar que los valores de potencia acústica obtenidos son valores altos, desde los 100 dB hasta prácticamente los 136 dB, tal y como era de esperar en este tipo de máquinas. Todas las medidas coinciden admitiendo la desviación de 1,5 dB que establecen las normas UNE 3741 y 3744 para este tipo de medidas, en las condiciones especificadas, para los siguientes casos:

- ✓ En la repetición del mismo experimento dos veces con las mismas condiciones (ensayos 1-4, 7-8 y 15-16 en la Tabla 3.1).
- ✓ Tanto si la superficie de medida envolvente es una semiesfera o un paralelepípedo, en los casos del bailarín, bujarda y radial, en los que se han podido aplicar los dos tipos de superficie, dado el tamaño de las máquinas estudiadas (ensayos 5-6, 9-10, 12 y 14). En el caso del banqueador y el hilo de corte, debido a su gran tamaño esto no ha sido posible, aplicando sólo una superficie paralelepipedica (ensayos 3-4 y 15-16).
- ✓ Para el caso de la radial, los resultados obtenidos aplicando superficie semiesférica de radio 1 ó 2 m, como también aplicando superficie paralelepipedica con distancia 1 ó 2 m, son todos coincidentes entre sí (ensayos 11-14).
- ✓ De hecho, una desviación máxima de 0,5 dB también explicaría las diferencias entre las medidas de los ensayos anteriormente mencionados.

Los resultados obtenidos para la radial en cámara (norma UNE 3741, ensayo 7-8) y la radial en campo abierto (norma UNE 3744, ensayo 11-14), muestran una diferencia de unos 5 dB a favor de esta última situación, debido a que el corte en campo abierto del granito se hizo en seco, mientras que en la cámara el corte se hizo mojando la muestra de forma continua, para evitar el exceso de polvo en la cámara, lo que implica que el trabajar en mojado, debido al efecto "lubricante" del agua, genera un nivel menor que en la situación de corte seco. Los valores obtenidos para la radial en cámara funcionando sin carga (ensayo 1-2) son mucho menores a aquellos obtenidos trabajando con carga: 15 dB aproximadamente menos respecto a las medidas en cámara, y unos 20 dB respecto a los valores en campo libre.

En general, todos los valores de potencia acústica obtenidos están por debajo de aquellos que corresponden a aviones a reacción, exceptuando el caso del banqueador, que puede llegar a superar hasta en 2 dB a la potencia acústica de un Boeing 747 [4-5]. En cambio los espectros e índices de directividad obtenidos para las máquinas en canteras, ya hemos visto que no tienen nada que ver con aquellos correspondientes a aviones a reacción.

DESCRIPCIÓN	Nº ENSAYO	L <sub>w</sub> (dBA)
RADIAL EN CÁMARA SIN CARGA	1	101,5
	2	101,6
HILO, PARALELEPÍPEDO (d= 2 m)	3	106,9
	4	107,0
BAILARÍN, SEMIESFERA (r=1 m)	5	107,1
BAILARÍN, PARALELEPÍPEDO (d = 1 m)	6	107,8
RADIAL EN CÁMARA CON CARGA	7	114,9
	8	115,5
BUJARDA, PARALELEPÍPEDO (d = 1 m)	9	120,0
BUJARDA, SEMIESFERA (r = 1 m)	10	120,4
RADIAL, PARALELEPÍPEDO (d = 2 m)	11	120,4
RADIAL, PARALELEPÍPEDO (d = 1 m)	12	120,6
RADIAL, SEMIESFERA (r = 2 m)	13	120,8
RADIAL, SEMIESFERA (r = 1 m)	14	121,0
BANQUEADOR, PARALELEPÍPEDO (d = 1 m)	15	135,6
	16	135,8

**Tabla 3.1:** Valores de potencia acústica (dBA) obtenidos para las máquinas estudiadas, siguiendo las normas UNE-EN ISO 3744 y 3741, según distintas superficies envolventes, a diferentes distancias. Para algunas máquinas el experimento se repitió dos veces.

#### 4.- CONCLUSIONES

Un conjunto de máquinas (radial, bailarín, bujarda, banqueador e hilo) empleadas en canteras de granito han sido estudiadas aplicando las normas UNE-EN ISO 3741 y 3744, para la medida de su potencia acústica y directividad, obteniéndose los siguientes resultados:

- Los espectros de niveles de presión sonora, medidos en bandas de octava, para cada una de las máquinas estudiadas, tanto por el método de semiesfera como el de paralelepípedo, presentan ligeras diferencias en ambos métodos, debida a la variación de distancia de medida respecto a la máquina.
- La directividad es equivalente en todas las direcciones, encontrándose una muy ligera disminución debida al efecto de apantallamiento que ejerce el operario en aquellas máquinas en que su presencia es necesaria.
- Los métodos empleados, tanto de paralelepípedos como semiesferas, a diferentes distancias, y también los de cámara reverberante, han conducido a resultados coincidentes, dentro de los márgenes de error que dan las normas.

- Todos los valores de potencia acústica encontrados están en el rango de 100 – 136 dB, valores muy altos que obligan a tomar medidas de protección en el uso de estas máquinas.

## 5.- AGRADECIMIENTOS

A la cantera GRANITOS ORELLANA por habernos permitido el uso de sus instalaciones y maquinaria. A las entidades financiadoras del proyecto: Junta de Extremadura, Consejería de Economía, Comercio e Innovación y al Fondo Social Europeo.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] NORMA UNE-EN ISO 3740: 2001. Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica emitidos por las fuentes sonoras. Directrices para el uso de normas básicas.
- [2] NORMA UNE-EN ISO 3741: 2000. Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica de las fuentes de ruido a partir de la presión acústica. Método de precisión en cámaras reverberantes.
- [3] NORMA UNE-EN ISO 3744: 1996. 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.
- [4] C. Asensio, I. Pavón, M. Ruiz, R. Pagan y M. Recuero, “*Estimation of directivity and sound power levels emitted by aircrafts during taxiing, for outdoor noise prediction purpose*”, Applied Acoustics 68 (2007) 1263–1279.
- [5] C. Asensio, I. Pavón, M. Ruiz, R. Pagan y M. Recuero, “*Aircrafts’ taxi noise. Sound power level and directivity frequency band results*”, Technical Note, Applied Acoustics 70 (2009) 986–1008.