

Comentarios sobre la normativa de estimación de potencia sonora mediante el método de intensidad.

Marta Herráez

Dpto. IMIM -ETS Ingenieros Industriales
Universidad de Valladolid.

Paseo del Cauce s/n. 47011 Valladolid.

Tel. 983 42 30 00 ext. 2.44.29; fax: 983 42 33 10

e-mail: maher@dali.eis.uva.es

PAC: 43.58 Fm

Resumen

La medida de intensidad sonora es una herramienta poderosa en la determinación in situ del nivel de potencia sonora de fuentes de ruido estacionario. Se define una superficie imaginaria que engloba completamente a la fuente y se mide intensidad sonora sobre ella. La potencia sonora de la fuente es proporcional al producto de la superficie y el promedio espacial de la intensidad sonora sobre la superficie. Existe la posibilidad de utilizar dos métodos distintos para medir la intensidad promedio. El primero consiste en la medida de intensidad en un número discreto de puntos, realizando un promedio temporal en cada uno de ellos y, posteriormente, un promedio espacial entre las distintas posiciones. En el segundo, llamado método de barrido, se realiza un promedio simultáneo espacial y temporal mientras se barre la superficie envolvente con la sonda de intensidad. Estos dos métodos se presentan en la norma internacional ISO 9614, partes 1 y 2 respectivamente.

En este trabajo, se muestra una comparativa entre la aplicación de los dos métodos. Se da una presentación general de cada uno, con comentarios generales respecto a los distintos pasos que hay que seguir, e ideas específicas y sugerencias respecto al uso de los indicadores, definidos con el objeto de verificar la validez de la estimación de potencia sonora. Se comentan las ventajas y desventajas de aplicar un método u otro y su influencia en la validez de ambos.

Summary

The measurement of sound intensity is a powerful tool for the determination in situ of the sound power level of stationary sound sources. An imaginary envelope surface is defined,

covering completely the source and sound intensity is measured over it. The sound power of the source is proportional to the product of this surface and the spatial average sound intensity of the surface. Two different methods of measuring the average intensity are possible. The first one is the measurement of the intensity over a discrete number of points, with a time average at each point and a later spatial average of the measurements at different points. In the second, called sweeping method, a simultaneous spatial and time average of the intensity is done while sweeping all the envelope surface with the intensity probe. Both methods are presented in the international standard ISO 9614, in parts 1 and 2 respectively.

In this paper, a comparison between the application of the two methods is presented. A general review of each method is given, with general comments about the different steps to follow the standard and specific ideas and suggestions about the use of the indicators, defined in order to check the reliability of the sound power estimation. The advantages and disadvantages of using one method or the other are discussed, as well as its influence on the reliability of both of them.

1.-Introducción

Tradicionalmente, se ha utilizado la medida de la presión sonora como magnitud fundamental para la determinación de potencia sonora de fuentes de ruido estacionario. Son los llamados métodos de presión, descritos en la serie de normas ISO 3740^[8]. Todos ellos presentan ensayos realizados en condiciones de entorno controladas y con un ruido de fondo mínimo, lo cual permite utilizar expresiones aproximadas

entre la presión y la potencia sonoras, sólo válidas bajo esas hipótesis.

En determinados casos, no se puede aplicar el método de presión, como, por ejemplo, cuando se tienen fuentes sonoras muy grandes o muy pesadas, que no se pueden transportar a una cámara que reúna las condiciones de entorno especificadas. Otro caso es el de fuentes que son una parte de un sistema mayor y, por lo tanto, no se pueden desmontar para transportarlas.

Por eso surgió la necesidad de presentar un método que fuera aplicable in situ, para el cual, las hipótesis de estimación de potencia no fueran tan restrictivas. En el momento en el que se empezaron a diseñar dispositivos de medida de la intensidad sonora, se vio la posibilidad de desarrollar un método de determinación de la potencia sonora mediante la medida de la intensidad, magnitud física directamente relacionada con el flujo de energía y, por lo tanto, con la potencia.

2.-Conceptos generales

La energía sonora radiada por una fuente se va propagando a través de un área cada vez mayor, según la onda se va alejando de la fuente. Seleccionando una superficie S que encierre la fuente, se puede calcular la potencia sonora radiada como la integral ^[2]:

$$W = \int_S \vec{I} \cdot d\vec{S} = \int_S \vec{I} \cdot \vec{n} dS = \int_S I_n \cdot dS$$

Como se puede observar, la integral incluye la componente del vector intensidad en la dirección normal a la superficie.

En general, la fuente es direccional y la intensidad no es la misma en todos los puntos de dicha superficie. Por lo tanto, se utiliza una aproximación para evaluar la integral: se divide la superficie en pequeñas áreas, cada una de tamaño S_i , de manera que la intensidad en cada una de ellas sea prácticamente constante. La potencia sonora se evalúa mediante la suma del producto de la componente normal del vector intensidad asociado a la superficie S_i por el valor de la misma:

$$W = \sum_i I_n S_i$$

Si todas y cada una de las subáreas S_i tienen el mismo área, la expresión anterior se reduce al producto entre la intensidad sonora promedio sobre la superficie de medida \bar{I} y la superficie total S :

$$W = \bar{I} \cdot S$$

Esta misma relación, expresada en función de los niveles, toma la forma:

$$L_w = \bar{L}_I + 10 \log S$$

La expresión anterior es válida siempre que la fuente no sea altamente direccional, en cuyo caso, hay que elegir subáreas de distinta superficie, aumentando la discretización en la zona donde más se emite, para que la aproximación de que I_n sea constante siga siendo cierta.

En la determinación de potencia sonora mediante el método de intensidad, se realiza una medida directa de la intensidad, lo cual hace posible determinar la potencia sonora, a partir de la expresión anterior, sin ningún tipo de restricción del entorno. Sin embargo, en este método todavía es necesario hacer la aproximación de la superficie de integración S a los elementos S_i y, en cada uno de ellos, medir la componente normal del vector intensidad I_n . Este valor se puede obtener, o bien haciendo una medida en un único punto, o bien, haciendo un barrido con la sonda de intensidad sobre la superficie.

3.- Visión general de la normativa existente

La presentación del método de estimación de potencia sonora mediante la medida de intensidad, se muestra en una norma de reciente aparición, ISO 9614, que tiene dos partes. La Parte 1 presenta el método de medida en puntos discretos y, la Parte 2, el método de barrido. Estos métodos sólo son válidos para determinación de potencia de una fuente de ruido estacionario y en presencia de un ruido de fondo también estacionario. Mediante su aplicación, se obtiene una estimación de la potencia sonora de esa fuente montada en ese entorno, que se supone que es el lugar habitual de funcionamiento del equipo. Dicha estimación será un valor aproximado del valor real, con un determinado nivel de precisión, según se especifica en la norma ISO 12001^[9], que recoge los valores máximos de desviación standard de reproducibilidad, por bandas de frecuencia, clasificados en tres grados. El más preciso se denomina grado 1 o precisión, después está el grado 2 o ingeniería y, por último, el grado 3 o ensayo. Así, se acotan los errores debidos a variaciones de las condiciones de entorno y/o de la instrumentación utilizada. Sin embargo, la reproducibilidad no tiene en cuenta la variación de potencia sonora por cambios de condiciones de operación de la fuente ni por condiciones de montaje.

En contraposición con los métodos de determinación de potencia por presión (en los que, según el grado de precisión de los resultados que se desee, se elige la aplicación de una norma u otra), en el método de intensidad, la norma es única y el grado de precisión se determina posteriormente a la realización de las medidas. Por ello, en la norma se sugiere el cálculo de unos parámetros, llamados indicadores. Su valor se compara con unos límites (cuyo valor depende del grado de precisión elegido) en lo que se vienen a llamar criterios, a partir de los cuales se obtiene una estimación de la calidad de la medida y, por lo tanto, de su grado de fiabilidad. También, en el caso de que no se cumplan esos límites, se proponen una serie de acciones para llevar a cabo, que suponen cambios en la configuración del test de medida inicial, para mejorar la precisión de la misma.

Concretamente, en el método de puntos discretos, se presentan los tres grados de precisión (como muestra la tabla 2 de la ISO 9614-1^[11]), mientras que en el método de barrido^[12], los resultados se presentan en sólo dos grados, ingeniería y ensayo. De su elección dependen los límites propuestos en los criterios. En la actualidad, el grupo de trabajo ISO/TC43/SC1/WG25 está elaborando la Parte 3 de la ISO 9614, que recogerá el método de barrido para un nivel de incertidumbre de precisión ^{[10][13]}.

4.- Fuentes de error

La incertidumbre en la determinación del nivel de potencia sonora está relacionada con la naturaleza del campo sonoro de la fuente, con la del campo sonoro del ruido de fondo, con la absorción de la fuente bajo ensayo, con el tipo de muestreo, con el campo de intensidad y con el procedimiento de medida utilizado.

Por eso, en la norma de puntos discretos se define un indicador asociado a cada una de estas fuentes de error del método. Para limitar el error asociado al mismo, se evalúan los criterios y sólo cuando todos ellos se cumplen positivamente, se evalúa la potencia. La norma de barrido también presenta indicadores, pero con una filosofía diferente, ya que, primero se estima la potencia y después se evalúan los indicadores.

A continuación se presenta un estudio comparativo de los indicadores y los criterios que llevan asociados.

A- Comprobación de la estacionariedad del campo

Los dos métodos sólo son válidos para campos sonoros estacionarios. El campo sonoro existente es suma del creado por la fuente (que debe ser estacionario, sino no se podría aplicar este método) y del ruido de fondo. Por lo tanto, lo que realmente se verifica en este apartado es la variación temporal del ruido de fondo.

En la norma de puntos discretos^[11] se define que el campo es estacionario en el tiempo si, para cada posición de medida, sus propiedades promediadas en el tiempo, durante el periodo de medida individual, son iguales que aquellas obtenidas en la misma posición cuando el periodo de promediación se extiende sobre el tiempo total empleado para medir en todas las posiciones. Sin embargo, en el método de barrido^[12], donde se realiza simultáneamente un promedio temporal y espacial, se define un campo sonoro estable. Ya no se habla de estacionario, puesto que se varía la posición de medida. A continuación se va a analizar qué tipo de comprobación se propone en cada caso.

En el método de puntos discretos, se propone realizar una medida distinta de la estrictamente necesaria para la determinación de potencia. En ella, se realiza un conjunto de M registros de medida de intensidad I_k tomados en una posición de medida "típica", con un tiempo de promediación pequeño. A partir de sus valores, se define el indicador de la variabilidad temporal del campo sonoro F_1 , que es el cociente entre la des-

viación standard y el valor medio temporal de los espectros obtenidos^[11]:

$$F_1 = \frac{1}{\langle I \rangle} \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{k=1}^M [I_k - \langle I \rangle]^2}$$

En la norma, se recomienda que la medida se realice con la fuente encendida, que el número de muestras sea 10 y que el tiempo de promedio esté entre 8-12s o un múltiplo del número de ciclos, en el caso de señales periódicas. Esta medida debe realizarse tanto al principio como al final del proceso de medida, para verificar que la variabilidad temporal del campo sonoro es mínima. El criterio al que está sometido este indicador acepta una variación de la intensidad máxima posible de $F_1 < 0.67$ (que supone una variación menor de 2dB), para considerar que el ruido es estacionario. Este límite es el mismo en todas las bandas de frecuencia y no depende del grado de precisión con el que se trabaje.

Por otro lado, en el método de barrido, las medidas necesarias para esta comprobación son las propias de estimación de potencia, no una medida adicional como en el caso anterior. Se pide realizar dos barridos distintos (en direcciones ortogonales entre sí) sobre cada elemento S_i . Y se verifica la estabilidad del campo comparando las dos estimaciones de potencia parcial (asociada a la superficie barrida) obtenidas. El criterio 3 refleja la máxima diferencia permitida entre barridos como la desviación standard s (tabla 2^[12]):

$$|L_{w,1} - L_{w,2}| \leq S$$

que, como se puede observar, depende de la banda y del grado de precisión.

Analizando cada uno de los métodos por separado, se pueden hacer los siguientes comentarios:

- Respecto al primero, existe el inconveniente de que el chequeo no se realiza simultáneamente a la medida, sino al principio y al final de la misma. De esta manera, no se detectan las posibles variaciones transitorias que puedan existir durante la misma. Además, hay que añadir que no se describe de una manera muy clara cómo se debe realizar. Para empezar, no se especifica claramente en qué posición hay que medir: la palabra "posición típica" es realmente ambigua. Algo similar ocurre con la definición de un "tiempo de medida corto" que, en principio, deberá estar relacionado de alguna manera con el tiempo de medida que se utilice posteriormente en las medidas de presión e intensidad para la determinación de la potencia sonora, relación que en la norma no se refleja.

Al respecto, hay que comentar que se han realizado algunos estudios experimentales^{[4][16]}, considerando distintos puntos y distintos tiempos de medida de los que se deduce lo siguiente. En general, habrá que elegir la posición más desfavorable, es decir, la más afectada por la presencia del ruido de fondo y, cuanto menor sea el tiempo de promediado (del orden de 2s es muy adecuado, con unas 100 muestras), se hace un seguimiento mejor de la historia temporal del ruido, aunque el criterio no se ve muy afectado por la elección de un tiempo distinto.

- En el método de barrido, se solventan algunos de estos problemas. La estabilidad del campo se comprueba simultáneamente a la medida, lo cual es más correcto y representativo que lo aplicado en puntos discretos, además de ser más rápido. Por otro lado, se evalúa la estabilidad para el tiempo de medida elegido en cada superficie, no para un valor de tiempo diferente, y para las posiciones que realmente se utilizan en la estimación de potencia. Por ello, este chequeo parece más adecuado. No es correcta, sin embargo, la idea generalizada de que este paso del método permite mejorar la precisión de los resultados obtenidos. En realidad, sólo sirve para comprobar que verdaderamente se cumplen las hipótesis de las que parte la aplicación del mismo⁽¹⁾.

Como conclusión, se puede deducir que el método de barrido presenta una manera más eficaz y rápida de analizar cómo afecta la evolución temporal del campo sonoro a la estimación de potencia. El método de puntos discretos presenta una información más clara de la historia temporal del campo en cada banda, pero no en su relación con el valor de potencia.

B- Adecuación del equipo de medida

Otra fuente de error del método es el desfase eléctrico que añade la cadena de medida. Es importante que éste sea claramente inferior al desfase que existe, entre presión y velocidad de la partícula, en la posición del campo sonoro en la que se realiza la medida. Ambos son función de la frecuencia y, por esta razón, estas normas no permiten la estimación directa del nivel de potencia global en dBA, ya que el equipo lleva asociado un comportamiento distinto en frecuencia⁽¹⁾⁽²⁾.

La magnitud asociada al desfase eléctrico de la cadena de medida es el índice de presión-intensidad residual L_{pIo} o, si ya se considera el nivel de precisión con el que se trabaja, la capacidad dinámica L_d de la misma. Su valor se obtiene a partir del proceso de calibración. Las especificaciones que debe cumplir dicho índice están recogidas en la norma IEC 1043⁽⁷⁾, en la que se presentan los requisitos exigidos, clasificados como clase 1 y 2. Deben utilizarse instrumentos de clase 1, para niveles de precisión e ingeniería, e instrumentos de clase 2 para ensayo.

Como indicadores asociados al desfase entre presión y velocidad del campo sonoro en una posición o sobre una superficie, se definen los siguientes parámetros:

- En el método de puntos discretos, como magnitud asociada al desfase del campo en una posición, se define el índice de presión-intensidad local F_{2i} , que es la diferencia entre el nivel de presión sonora L_{pi} y el nivel de intensidad sonora, en módulo, $L_{|i|}$ medidos en cada punto⁽¹⁾:

$$F_{2i} = L_{pi} - L_{|i|}$$

Y, de igual manera, se define otra magnitud asociada al desfase que existe, en promedio, sobre toda la superficie de medida, que es el índice de presión-intensidad global F_2 . Se define como la diferencia entre el promedio espacial del

nivel de presión sonora y el promedio espacial del nivel de intensidad sonora, en módulo⁽¹⁾:

$$F_{2i} = \bar{L}_p - \bar{L}_{|i|}$$

- Para el método de barrido, se utiliza un indicador, que se denota como F_{pI} y se define a partir del nivel de presión promedio, el de potencia estimada y de la superficie de medida⁽¹⁾⁽²⁾.

$$F_{pI} = L_p - L_w + 10 \log S$$

Conceptualmente, tiene un significado físico similar, pero no igual, al del indicador F_2 . En el caso de F_{pI} , se considera la potencia con signo, es decir, se tiene en cuenta la dirección del vector intensidad. Salvo esto, su definición coincide con la de F_2 cuando las S_i son iguales. Pero la definición de F_{pI} parece más confusa, ya que realmente parte de un valor estimado de potencia, que aún no se sabe si supera positivamente todos los criterios. Y es menos intuitivo, por su definición, que su valor esté asociado al desfase del campo. Por otro lado, es más versátil que la de F_2 , ya que las subáreas no tienen porqué ser iguales.

Es importante resaltar que, en ambos casos, los indicadores definidos son función del ruido de fondo existente, ya que éste afecta al valor del nivel de intensidad. Al respecto, en la norma de barrido se recomienda, en general, intentar trabajar con superficies con una posición relativa, respecto a las fuentes de ruido de fondo, que tengan un indicador asociado $F_{pI} < 10\text{dB}$. Y si esto no se cumple, habrá que elegir una velocidad de barrido lenta, menor que 0.25 m/s. En el criterio 1 de cada norma, se realiza la comparación de la capacidad dinámica L_d con los indicadores globales de superficie, F_2 y F_{pI} respectivamente. Con ello, se analiza si la instrumentación utilizada es la adecuada para medir, en ese campo y sobre esa superficie, con la fiabilidad requerida. Esta comparación se realiza en cada banda de frecuencia, con lo cual se obtiene información sobre el rango de frecuencias en que es posible aplicar el método.

En el caso de que el criterio no se cumpla, será necesario variar la superficie de medida. Si no existe una presencia de ruido de fondo importante, la superficie elegida deberá ser mayor. Sin embargo, si la presencia de ruido de fondo es importante, la norma sugiere elegir una superficie menor. No en todos los casos esta medida es la más adecuada, como se puede ver en algunos estudios con resultados experimentales⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

Además, en el caso de puntos discretos, se puede comparar L_d con el valor de F_{2i} , con lo que se estima qué porcentaje de las medidas en cada posición están fuera del rango de fiabilidad. El criterio de esta comparación no aparece en la norma, pero es un parámetro interesante a tener en cuenta, ya que da información sobre cuántas y cuáles de las medidas realizadas no están dentro del rango permitido.

De lo indicado en este apartado se puede concluir que los criterios presentados en ambos métodos son muy similares, con la diferencia de la consideración o no del signo de la intensidad. De hecho, resultados posteriores a la aprobación

de la norma de puntos discretos^[1] sugieren que es preferible utilizar la definición del indicador con signo (F_3 en la parte 1 de la norma, F_{p1} en la parte 2). Por lo demás, su evaluación es clara y no presenta problemas.

C- Influencia del ruido de fondo

- En el método de puntos discretos, para detectar la presencia de un ruido de fondo considerable, se define el indicador de potencia parcial negativa F_3 , que tiene la misma definición que F_2 pero considerando el signo de la intensidad^[11]:

$$F_3 = \bar{L}_p - \bar{L}_i$$

Y se evalúa la diferencia:

$$F_3 - F_2 = L_{ij} - L_i$$

es decir, la diferencia entre el nivel de intensidad promedio con y sin signo. Cuando esta diferencia es distinta de cero, significa que se ha medido intensidad negativa a través de la superficie de medida, es decir, un flujo neto de energía hacia la fuente, que provendrá de la presencia de un ruido de fondo considerable.

- Por otro lado, en el método de barrido, se define el indicador $F_{+/-}$ ^[12]:

$$F_{+/-} = 10 \log \left[\frac{\sum_i |W_i|}{\sum_i |W_i|} \right]$$

De nuevo, como en el apartado anterior, su expresión analítica se define a partir de valores estimados de potencia parcial W_i , que aún no se sabe si son correctos. Conceptualmente, tiene el mismo significado físico que el indicador F_3-F_2 presentado anteriormente y su definición coincide exactamente cuando las S_i son iguales.

En ambos casos, el indicador está sometido al mismo límite, debe ser menor que 3dB. La diferencia es que la norma de barrido sólo obliga a pasar este criterio en el caso de un grado de precisión ingeniería. Para el grado de ensayo, es opcional. Mientras, en la norma de puntos discretos, no se realizan distinciones según la precisión, siempre hay que pasar el criterio.

D- Adecuación de la discretización elegida

Sólo en el método de puntos discretos aparece un criterio que chequea si el número de puntos de medida y su localización es correcta. En el método de barrido no se incluye este chequeo de la cantidad de superficies S_i elegida. La razón es que, al final, se mide sobre toda la superficie. La elección de menor cantidad de superficies llevará asociada superficies mayores, con tiempos de promediado mayores, al estar limitada la velocidad de barrido. Con ello, el error asociado se compensa^[12].

En la ISO 9614-1, la norma recomienda utilizar una densidad mínima de 1 punto/m², con un número mínimo de puntos superior a 10, distribuidos uniformemente. En el caso

de una superficie de medida grande ($S > 50m^2$), basta tomar 50 puntos.

Para comprobar si el número de puntos de medida N utilizado es correcto, se emplea el indicador de no-uniformidad F_4 , que es el cociente entre la desviación standard y el valor medio de las medidas de intensidad sobre la superficie de medida. Refleja la variación de la intensidad sobre la superficie, normalizada con el valor de potencia^[11]:

$$F_4 = \frac{1}{\bar{I}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [I_i - \bar{I}]^2}$$

El criterio 2 indica el número de puntos que se necesitan a partir del valor que toma F_4 y C , (parámetro que depende del grado de precisión que se requiera y de la frecuencia):

$$N > C \cdot F_4^2$$

Si no se cumple la desigualdad anterior, es porque F_4 tiene un valor muy grande, por lo tanto, indica que, en alguna zona de la superficie de medida, hay una variación muy grande de la intensidad. Esto puede ser debido a dos causas muy distintas: o bien, que la fuente es altamente direccional y, realmente, la cantidad o distribución de puntos de medida no es correcta; o bien, que el ruido debido a fuentes externas predomina en esa zona. El hecho de que este indicador sea sensible a dos parámetros que conllevan error en el método hace que, de alguna manera, haya que discriminar cual es el origen del valor de F_4 , ya que la solución en cada caso es distinta. Por ello, hay que volver a analizar el valor de $F_3 - F_2$.

La presencia de un ruido de fondo suficientemente importante como para hacer que la intensidad sea negativa en algunas de las posiciones de medida, hace que el valor del indicador F_4 aumente desmesuradamente y que el número de puntos sugeridos por el criterio sea realmente no factible. La razón es que la desviación standard de una distribución que contiene valores positivos y negativos aumenta considerablemente. En estos casos, aunque la norma no lo especifica, estudios teóricos y experimentales^{[2][3][4]} sugieren que sería más interesante definir un valor distinto del indicador para cada distribución, positiva y negativa, que se podrían denotar F_+ y F_- , y someter a cada uno de ellos al criterio por separado, para obtener un valor más realista del número de puntos necesarios.

5.- Conclusiones

Las normas de determinación de potencia sonora mediante la medida directa de la intensidad constituyen, en la actualidad, una gran ventaja, frente a los métodos tradicionales de presión. Su extendida aplicación y versatilidad las hacen más atractivas de aplicar y más precisas en sus resultados. Uno de sus inconvenientes es que la instrumentación requerida para su aplicación aún presenta un coste elevado.

La norma de barrido se muestra como la más actualizada, más rápida y, a la vez, con resultados más exactos^{[1][10]}, aunque

el método que presenta parece más impreciso. Los parámetros elegidos para su realización dependen más de la elección del usuario y, en muchos casos, aún sin realizar el barrido de una manera sistemática, (respecto a la velocidad de barrido y a la posición de la sonda, por ser éste manual), sin embargo, los resultados son buenos: El hecho de que, al final del proceso se haya recorrido prácticamente toda la superficie envolvente hace que sea el método con mejores resultados.

Por otro lado, el método de puntos discretos es más minucioso y más restrictivo y, por ello, la información global de todo el campo sonoro que se obtiene mediante su aplicación es mayor. Permite conocer con más claridad cuáles de las fuentes de error afectan más a la estimación de potencia y en qué medida. Hoy en día, después de varios años de aplicación de este método, se han encontrado pequeñas lagunas que sugieren la incorporación de alguna modificación que permite una aplicación más correcta del mismo.

Bibliografía

- [1] Fahy, F. J., International standards for the determination of sound power levels of sources using sound intensity measurement: an exposition. *Applied Acoustics*, Vol. 50 No. 2 pp. 97-109 (1997).
- [2] Fahy, F. J., Sound Intensity. 2nd Edition. E&FN Spon (1995).
- [3] Herráez, M., Alternative proposal for the evaluation of the field non-uniformity indicator F₄, described in the ISO 9614-1. *Proceedings of INTERNOISE'97*. Budapest (Hungary) pp. 1701-1704 (1997).
- [4] Herráez, M., Estudio experimental de los parámetros que afectan a la estimación de potencia sonora por el método de intensidad. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid (1996).
- [5] Herráez, M., Experimental measurement of F₂ in the L_w determination using the I-method. *Proceedings of FORUM ACUSTICUM'96*. Antwerpen (Belgium) pp.175 (1996).
- [6] Herráez, M., A study of different parameters that affect the estimation of the sound power level using the intensity technique at discrete points. *Proceedings of ICA'95*. Trondheim (Norway) pp. 85-89 (1995).
- [7] IEC 1043 Electroacoustics - Instruments for the measurement of sound intensity. Measurement with pairs of pressure sensing microphones (December 1993).
- [8] ISO 3740 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources. Guidelines for the use of basic standards and for the preparation of noise test codes (1980).
- [9] ISO 12001 Acoustics - Noise emitted by machinery and equipment. Rules for the drafting and presentation of a noise test code (1996).
- [10] Pettersen, O. K. Ø., Olsen, H., On spatial sampling using the scanning intensity technique. *Applied Acoustics*, Vol. 50 No. 2 pp. 141-153 (1997).
- [11] UNE-EN ISO 9614-1 Determinación de niveles de potencia acústica emitidos por las fuentes de ruido por intensidad del sonido. Parte 1: Medida en puntos discretos (Diciembre 1995).
- [12] UNE-EN ISO 9614-2 Determinación de niveles de potencia acústica emitidos por las fuentes de ruido por intensidad del sonido. Parte 2: Medición por barrido (Febrero 1997).
- [13] Yano, H., Tachibana, H., Koyasu, M., Accuracy of sound-power level determination by the scanning intensity measurement. *Proceedings of INTERNOISE'97*. Budapest (Hungary) pp. 1323-1326 (1997).