Cámara Semianecoica para análisis del ruido de lavadoras

** Lladó, J.; Martínez, F.J.; Laiz, J.*
*** Calvillo, J.; Usón, L.*
**Dpto. de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza.*
*** Balay S.A.*

1. INTRODUCCION

Las necesidades planteadas por los fabricantes de lavadoras con el objeto de mejorar su producto, aspirando de este modo a aumentar la calidad de vida del ciudadano en lo relativo a la emisión de ruido aéreo, obliga a investigar y trabajar en las técnicas de medida del ruido en lavadoras; medida de presión sonora en cámara acústica adecuada, y medida de intensidad sonora.

Este articulo se centra en la medida de valores de presión sonora que, como es lógico suponer, depende de la cámara acústica, que deberá ajustarse a la normativa existente. Por lo tanto se hace necesario analizar los siguientes puntos:

- Lugar destinado a realizar los ensayos
- Instrumentación con que se efectuarán las medidas
- Metodología de realización de los ensayos.

2. DEFINICION DE LA CAMARA ACUSTICA

El factor fundamental en el diseño de la cámara acústica es el económico, de ahí que frente a la construcción de una cámara anecoica, que no sería suficiente y adecuadamente utilizada por el fabricante de lavadoras, se recurra a poner a punto una cámara de campo libre aproximado (semianecoica), ajustada a lo especificado en los proyectos de norma IEC 59-34 e IEC 59-36, para pruebas de ruido efectuadas a lavadoras. Esto supone que debe contar con una pared y el suelo reflectantes y el resto de paredes y techo absorbentes, además de ajustarse a la caracterización para salas de campo libre que establece ISO 3744.

Las características más relevantes de la sala son:

- Suelo y pared reflectantes con coeficientes de absorción menores que 0.06 (según normas).
- Resto de paredes y techo muy absorbentes, con superficies reflectantes muy pequeñas comparadas con la distancia de estas superficies al aparato ensayado (dimensión mayor menor que la décima parte de la distancia al aparato ensayado).
- Puerta aislante y recubierta por su parte interior con material absorbente, excepto un pequeño espacio acristalado para observación visual del desarrollo de los ensayos.
- Instalación en la sala de agua corriente, desagües, potencia eléctrica, ventilación, iluminación, y aire comprimido.
- Canal de comunicación exterior para el paso de cables de los micrófonos al multiplexor.
- Aislamiento suficiente frente a ruidos provenientes del exterior.
- Emplazamiento dentro del recinto de la fábrica de lavadoras.

Para que esta sala esté adecuada a ISO 3744 desde un punto de vista acústico, debe cumplir los siguientes requisitos:

1.- Para obtener la potencia sonora en banda ancha con ponderación A, el nivel de ruido de fondo (L_P) debe ser al menos 6 dB inferior que el menor nivel de ruido medido en cada una de las posiciones de los micrófonos, para la banda de frecuencias de que se trate.

2.- Las dimensiones de las dos superficies reflectantes de la sala (suelo y una de las paredes) deben ser mayores, o al menos l/2, que las de las caras correspondientes de la superficie de medida, para todo el rango de frecuencias interesante (frecuencia con longitud de onda l), y para cada una de las utilizaciones previstas. Según ISO 3744 deben incluirse todas las bandas de octava entre la centrada en 125 Hz, y la centrada en 8 KHz. Si se trata de bandas de 1/3 de octava, deben incluirse las que se encuentran entre la centrada en 100 Hz, y la centrada en 10 KHz.

Si se toma como referencia el informe VDI 3737 en relación a la

potencia sonora emitida por diferentes lavadoras de distintas marcas, en condiciones de lavado y centrifugado, aparece el valor de 59 dB (A) como valor mínimo esperable para la potencia sonora emitida por una lavadora. Por otra parte, y como de acuerdo con la expresión que permite calcular la potencia sonora en la sala, se puede estimar el mínimo nivel medio de presión sonora (L_p,media) en unos 49 dB(A), resulta que el nivel de presión sonora máximo admisible para el ruido de fondo se sitúa alrededor de los 40 dB (A).

El aislamiento de la sala, no sólo disminuye los valores del ruido de fondo por debajo de los 40 dB, sino que consigue reducciones todavía mucho mayores de forma que las condiciones de medida son más favorables, ya que el rango y exactitud de las medidas aumenta, sobre todo en la determinación de espectros frecuenciales.

El material absorbente colocado en la cámara es un material poroso, ya que estos son los que mejores características absorbentes presentan para una amplia banda de frecuencias, que incluye las frecuencias medias y altas. En concreto se ha utilizado panel de fibra de vidrio PI-156 de 100 mm. de espesor de ISOVER, debido a sus características de absorción acústica y manejabilidad. Este material tiene un coeficiente de absorción medio de valor 0.8933, y una superficie aproximada de 105 m^2.

Para evaluar las dimensiones mínimas de las superficies reflectantes hay que conocer las dimensiones del volumen de referencia y del volumen de medida. Las dimensiones del volumen de referencia coinciden con las del aparato, es decir, para una lavadora consiste en un paralelepípedo (l2 x l1 x l3) de 0.6 x 0.55 x 0.85 m. (sub-claúsula 6.1.1 de ISO DIS 3744), el cual se sitúa adyacente a las dos superficies reflectantes (pared y suelo).

La superficie de medida es un paralelepípedo rectangular situado también de forma adyacente a las dos superficies reflectantes, y sus dimensiones se calculan a partir de las anteriores, teniendo en cuenta las indicaciones de la sub-claúsula 5.1.2 del proyecto de norma IEC 59/34 Parte 1ª, en la que se especifican cuales son las posiciones de los micrófonos de medida, que sirven para determinar la potencia sonora total emitida por la máquina en este tipo de recintos.

El número de micrófonos y las posiciones exactas de los mismos se determinan de acuerdo con la sub-claúsula 6.1 y el anexo B de ISO DIS 3744. En este caso el número de micrófonos es 6, y sus posiciones se indican en la figura 1 junto con las posiciones de ambos paralelepípedos.

La distancia a la que se colocan los micrófonos (d) es de 1 m (valor mínimo permitido), y la distancia entre la parte trasera de la lavadora y el muro reflectante (r), de 0.1 m.

Según esta figura el área de la superficie de medida (S) cubierta por los micrófonos de la cámara se calcula mediante la expresión:

$$S = 2\,(2ac + 2ab + bc)$$

Finalmente, las dimensiones de las superficies reflectantes deben prolongarse l/2 más allá de la proyección sobre ellas del paralelepípedo de medida. La longitud de onda máxima (correspondiente a la frecuencia mínima) será la limitante, y en este caso es la frecuencia más baja de la banda de octava centrada en 125 Hz, o sea 88 Hz, cuyo valor de longitud de onda es l = 3.90 m para una velocidad de sonido de 344 m/s. Sumando l/2 en cada lado a las dimensiones de las caras correspondientes de la superficie de medida, se obtiene:

- Superficie de pared reflectante:
  (2b + 2(l/2)) x (c + l/2) =
  = 6.50 m x 3.80 m.
- Superficie de suelo reflectante:
  (2b + 2(l/2)) x (2a + l/2) =
  = 6.50 m x 3.60 m.

Esto obliga a considerar unas dimensiones mínimas de la sala de 6.50 x 3.60 x 3.80 (largo x ancho x alto en m).

Las dimensiones reales de la cámara acústica disponible son 6.54 m x 3.78 m x 4.78 m, lo que totaliza un volumen de 118.17 m^3, asegurando el cumplimiento del segundo requisito planteado anteriormente, para todas las bandas de octava y de 1/3 de octava (dimensiones grandes de las dos superficies reflectantes).

Las superficies reflectantes se consiguen mediante embaldosado del suelo, y mortero fino de cemento en la pared. El resto de paredes y techo

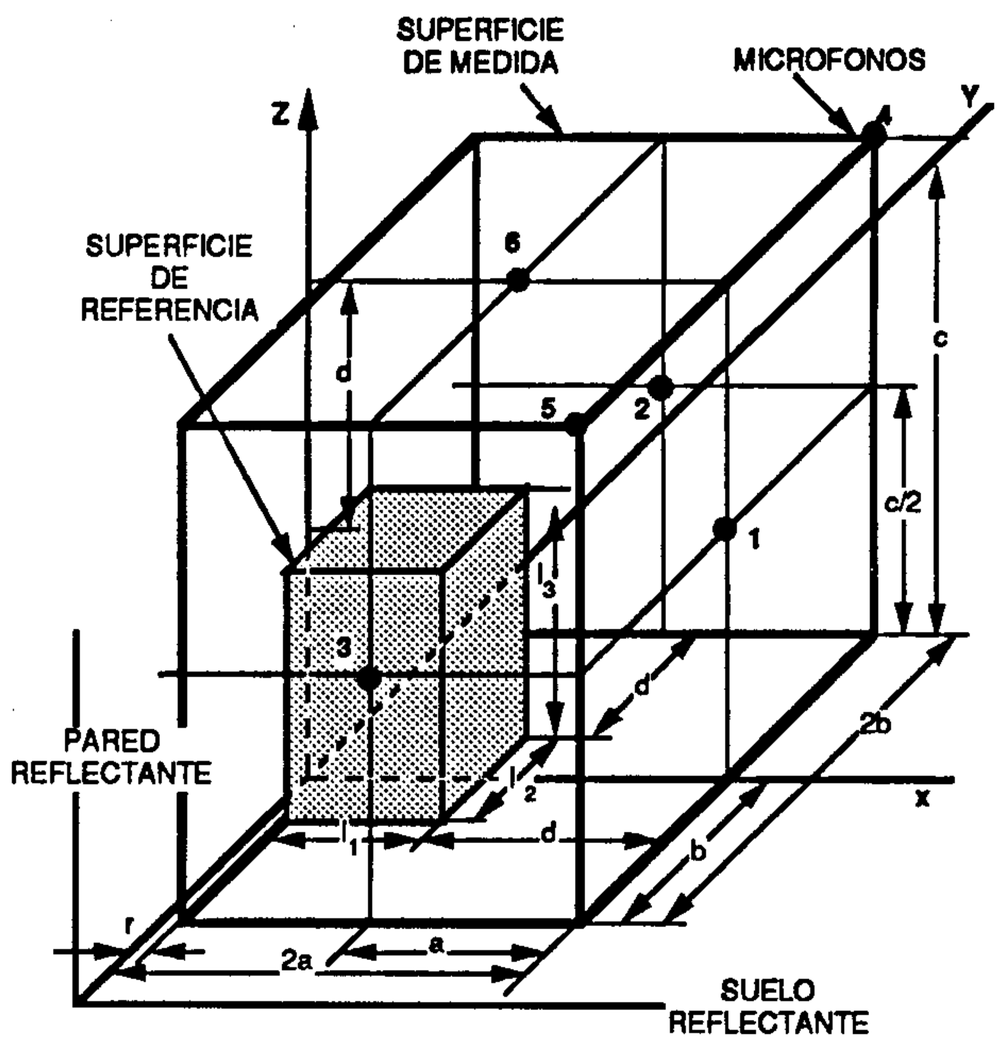

Fig. 1. Superficie de medida (posiciones de micrófonos) para una cámara semianecoica con una pared suelo reflectantes.

están recubiertos de material absorbente poroso, compuesto por paneles de fibra de vidrio, que debe cumplir un doble cometido: como material aislante respecto al ruido de origen exterior, y como material absorbente del ruido generado en el interior de la cámara.

En el exterior de la sala de medida se sitúa el puesto de observación y registro. Consiste en un banco de trabajo en el que se guardan los instrumentos y accesorios, y sobre el que se monta la cadena de medida y registro de presión sonora, además de la alimentación exterior. Los dispositivos de control marcha-paro, e iluminación, se encuentran al alcance de la mano. La observación y comprobación del correcto desarrollo del ensayo, se realiza visualmente a través de una ventana practicada en la doble puerta que permite la visión del aparato que está siendo sometido a prueba.

3. CADENA DE MEDIDA Y REGISTRO

La cadena básica disponible de captación, medida de niveles de presión sonora y registro, está compuesta por los siguientes elementos:

- Calibrador acústico (sólo para calibración)
- Micrófonos de condensador (1/2") de campo libre con pantallas antiviento de 1/2" (6 unidades)
- Preamplificadores de micrófono (6 unidades)
- Multiplexor de 8 canales
- Sonómetro integrador de precisión
- Filtro de frecuencias sintonizables
- Registrador gráfico logarítmico de un canal
- Cables de conexión para instrumentos
- Fuente de alimentación externa DC para sonómetro y registrador

Estos elementos componen un equipo de campo bastante completo, que junto con la cámara semianecoica descrita anteriormente permitirá obtener valores normalizados de potencia sonora.

4. CALCULO DE LA POTENCIA SONORA EMITIDA

La expresión que permite determinar la potencia sonora a partir de medidas de presión, utilizando una cámara según ISO 3744, es:

$$L_{W,A} = (L_{P,media} - K) + 10 \lg \left(\frac{S}{S_0}\right)$$

donde:

$L_{P,media}$ = Nivel medio de presión sonora obtenido por el conjunto de micrófonos de medida.(dB)

$$L_{P,media} = 10 \lg \left(\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} 10^{\frac{L_{pi}}{10}}\right) \text{ dB(A)}$$

siendo: L_{pi} (i = 1,... 6), las lecturas de presión sonora, en dB(A), proporcionadas por cada uno de los seis micrófonos.

K = Coeficiente de corrección (adimensional) por entorno de la sala acústica, que tiene en cuenta la influencia de las superficies reflectantes que se encuentran próximas al aparato de ensayo. Se determinó experimentalmente, obteniendose un valor de 1.52.

S = Superficie de medida de la presión sonora cubierta por los micrófonos (m^2)

S_0 = Superficie de referencia (1 m^2)

Finalmente queda:

$L_{W,A} = L_{P,media} + 10.3$ dB(A)

5. METODOLOGIA DE MEDIDA

La prueba completa de medida de ruido emitido por una lavadora y que se realiza en la cámara semianecoica con la cadena de medida y registro disponible, se estructura en tres fases. La primera de ellas pretende determinar la cronología del ruido producido para poder identificar aquellos momentos del programa de lavado en que se producen mayores niveles, así como la continuidad del ruido, existencia de picos especialmente molestos, sentido de giro más ruidoso, etc.

La segunda fase consiste en determinar la potencia sonora en banda ancha y con ponderación A, para aquellas secuencias del programa que producen mayores niveles de presión sonora (detectables en el registro de la historia del ruido) y otros momentos de interés. La potencia sonora se determina para funcionamiento continuo, sin tener en cuenta las variaciones de nivel de ruido producidas en el transitorio (por ejemplo en el arranque de centrifugado hasta el asentamiento de la ropa).

La tercera fase consiste en determinar el espectro frecuencial para algunos momentos de funcionamiento continuo. Se realiza para el lavado, para cada uno de los distintos centrifugados, y en algunos casos también para la entrada de agua. Se utilizan los filtros con ancho de banda del 23%, y del 3%, este último para detectar picos de ruido a determinadas frecuencias.

Si la lavadora tiene las dimensiones habituales, bastará colocarla sobre el lugar marcado, y se utilizarán las posiciones de micrófono marcadas en el suelo. En caso contrario, la lavadora (u otro aparato), se colocará centrada en la pared reflectante a una distancia de esta entre 10 y 15 cm., cuidando de que no topen con la pared las partes sobresalientes.

Al variar las posiciones de los micrófonos, debe modificarse el valor del coeficiente de corrección por entorno (K). En el caso de que las dimensiones del aparato sean superiores a las de la lavadora, sobre todo en anchura y altura, debe tenerse en cuenta que las dimensiones de las superficies reflectantes, ya no estarán de acuerdo con las especificaciones de la norma ISO 3744, por lo que deberán corregirse los valores de bajas frecuencias. Esta corrección en el caso de la potencia sonora en pon-

deración A, no debería ser importante, pero la modificación del coeficiente de corrección por entorno (que depende del valor de la superficie de medida) es muy probable que sí lo sea, y por tanto, los valores sin corregir deberán tratarse con cierta reserva.

Si las dimensiones del aparato son menores que las de la lavadora, puede colocarse en el mismo lugar que esta, y se pueden utilizar las mismas posiciones para los micrófonos, y el mismo valor para el coeficiente de corrección por entorno.

Una vez situada la lavadora en su posición correcta, se conectará a la red eléctrica, y a la toma de agua y desagüe. Deben usarse tubos de material elástico y adecuada sección, para la alimentación de agua a la lavadora, y para su drenaje. Debe ponerse especial atención para prevenir radiaciones de ruido procedentes del flujo de agua, a través de tapes y válvulas, así como todo tipo de vibraciones inducidas en los tubos por la lavadora.

Para la realización de pruebas de ruido normalizadas, la lavadora deberá cargarse con un lote de ropa previsto a tal efecto. Este lote está compuesto por 30 paños de algodón 100%, de medidas 0.7 x 0.7 m^2 con un peso para lote seco y nuevo de 2250 grs. Este peso corresponde con el 50% de la capacidad nominal, supuesta esta de 4.5 Kgrs., según se especifica en IEC 59-34. Para centrifugado, se tomará una carga descentrada de 600 gramos compuesta por gomas pegadas a la superficie del tambor.

Durante la prueba de medición no debe utilizarse ningún agente detergente, y además, el agua debe ser fría, seleccionando en el termostato de la lavadora la menor temperatura posible.

Si la máquina que se somete a prueba es totalmente nueva y no ha lavado nunca, deberá someterse a dos ciclos completos antes de comenzar las pruebas.

La lavadora también debe disponer de filtros antiparásitos, para evitar el paso de interferencias que se transmiten a través de la red eléctrica a la fuente de alimentación externa, y de ahí a los instrumentos.

Antes de comenzar el ensayo, deberá consignarse la marca, modelo, características, y componentes del aparato que se va a medir. Una característica funcional especialmente importante que deberá ser anotada, es la velocidad angular de giro del tambor en cada centrifugado con la carga de ropa que llevará durante la prueba.

5.1. Registro de la historia temporal del ruido de la lavadora

En este ensayo solo se utilizan el multiplexor, el sonómetro y el registrador alimentado con papel adecuado. La lavadora se someterá al programa de lavado más enérgico para tejidos de algodón, en frío y sin detergente.

El ensayo consiste en la obtención del nivel de ruido equivalente (L_{eq}) para el programa completo de lavado, y el registro sobre el papel (ver figura 2) de:

- La comprobación de la calibración del registrador.
- El nivel de ruido de fondo inicial durante un tiempo de 2 minutos.
- El nivel de ruido producido por la lavadora durante el programa

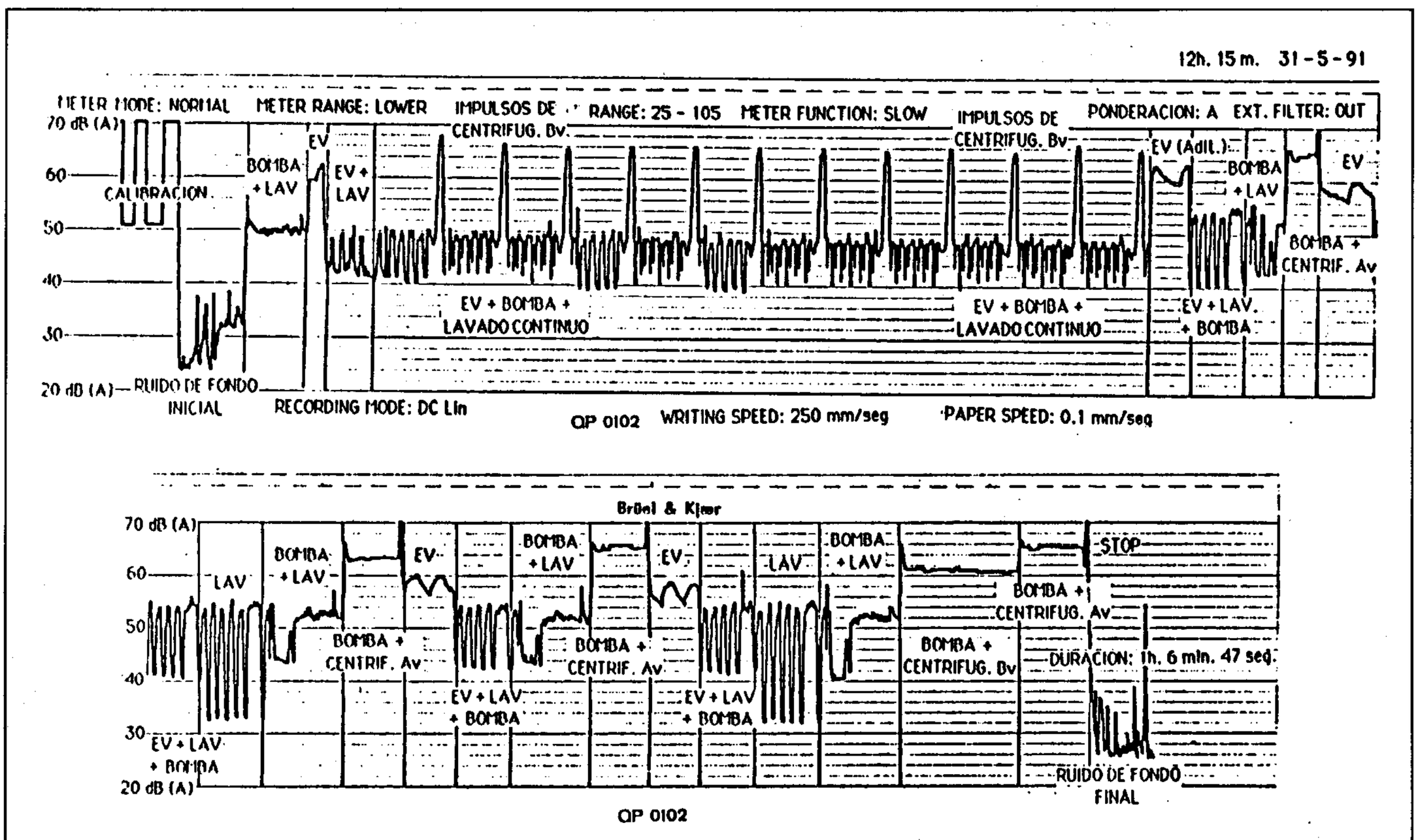

Fig. 2. Gráfica de la historia cronológica del ruido.

completo de lavado especificado anteriormente.

- El nivel de ruido de fondo final durante un tiempo de 2 minutos.

Además de los datos que han sido anotados durante el registro temporal:

- L_{eq} del ruido de fondo inicial
- L_{eq} *del ruido de fondo final*
- L_{eq} y duración del programa completo de lavado

Se deben extraer otros datos a la vista del registro obtenido, como son:

- reconocimiento de las diferentes secuencias del programa de lavado
- nivel de ruido continuo máximo y secuencia del programa en que se producen
- pico de nivel de ruido máximo y causa que lo produce

Así mismo se consigna la fecha y la hora de inicio de la prueba.

5.2. Determinación de la potencia sonora emitida por la lavadora

A partir de la historia del ruido deben extraerse conclusiones acerca de las secuencias del programa completo de lavado que producen una emisión de ruido importante, así como cual es el sentido de giro que, en lavado, produce un mayor nivel sonoro.

Con estos datos se determina la potencia sonora en banda ancha y con ponderación A, en las siguientes fases del programa completo de lavado, en funcionamiento contínuo, sin tener en cuenta variaciones del nivel de ruido producidas en el transitorio:

PRESELEC. TIEMPO [h.]		0,007	0,010		0,007	0,010		0,010	
FUNCION		ENTR. AGUA	LAVADO		BOMBA	CENTRIFUGADO BAJA VELOCIDAD		CENTRIFUGADO ALTA VELOCIDAD	
			IZQDA.	DCHA.					
CARGA		ROPA	ROPA	ROPA	ROPA	ROPA	DESC.	ROPA	DESC.
NIVELES DE PRESION SONORA OBTENIDOS POR LOS MICROFONOS [dB(A)]	MICRO 1	56,3	49,4	48,9	50,1	60,7	62,2	63,0	66,4
	MICRO 2	55,1	53,9	52,4	53,3	63,1	63,3	63,6	67,1
	MICRO 3	55,2	53,9	52,8	52,5	63,8	63,3	63,9	66,8
	MICRO 4	52,1	48,9	47,3	47,3	59,1	59,3	60,1	63,1
	MICRO 5	52,3	48,3	47,3	48,1	59,0	59,1	60,1	62,9
	MICRO 6	55,3	51,8	50,3	49,6	63,3	63,2	63,4	66,6
NIVEL MEDIO DE PRESION SONORA [dB(A)]	$L_{p,m}$	54,65	51,60	50,39	50,69	61,93	62,08	62,62	65,80
POTENCIA SONORA [dB(A)]	$L_{W,A}$	64,95	61,90	60,69	60,99	72,23	72,38	72,92	76,10

Fig. 3. Tabla de potencia sonora.

- Lavado en ambos sentidos de giro.
- Cada centrifugado distinto (al menos el de alta y el de baja velocidad).
- Entrada de agua (para dar tiempo a la medida, será necesario desconectar el presostato de la lavadora).
- Vaciado por parte de la motobomba.
- Otros momentos de interés si los hubiera.

Para determinar la potencia sonora en banda ancha (figura 3), no es necesario ni el filtro ni el registrador, sino solamente el multiplexor y el sonómetro. Mediante la utilización del filtro, cabe también la posibilidad de calcular la potencia sonora en bandas de 1/3 de octava, sin embargo, en el caso concreto de los electrodomésticos el dato a facilitar, según la normativa, es el nivel de potencia sonora en banda ancha y con ponderación A (L_{WA}), por lo que dicha prueba no tiene mucho interés.

5.3. Determinación del espectro frecuencial del nivel de presión sonora en funcionamiento continuo

Para la realización de esta prueba se utiliza la cadena completa de medida , y se registra el espectro frecuencial de la presión sonora, con ponderación A, en la posición del micrófono nº 1.

Sobre el mismo papel de registro (uno para cada anchura de filtro; 23% y 3%) se superponen las gráficas del espectro frecuencial, correspondientes a las siguientes fases del programa de lavado, siempre en funcionamiento contínuo:

- Ruido de fondo (negro).
- Lavado continuo en el sentido de giro más desfavorable (azul).
- Centrifugado baja velocidad (verde).

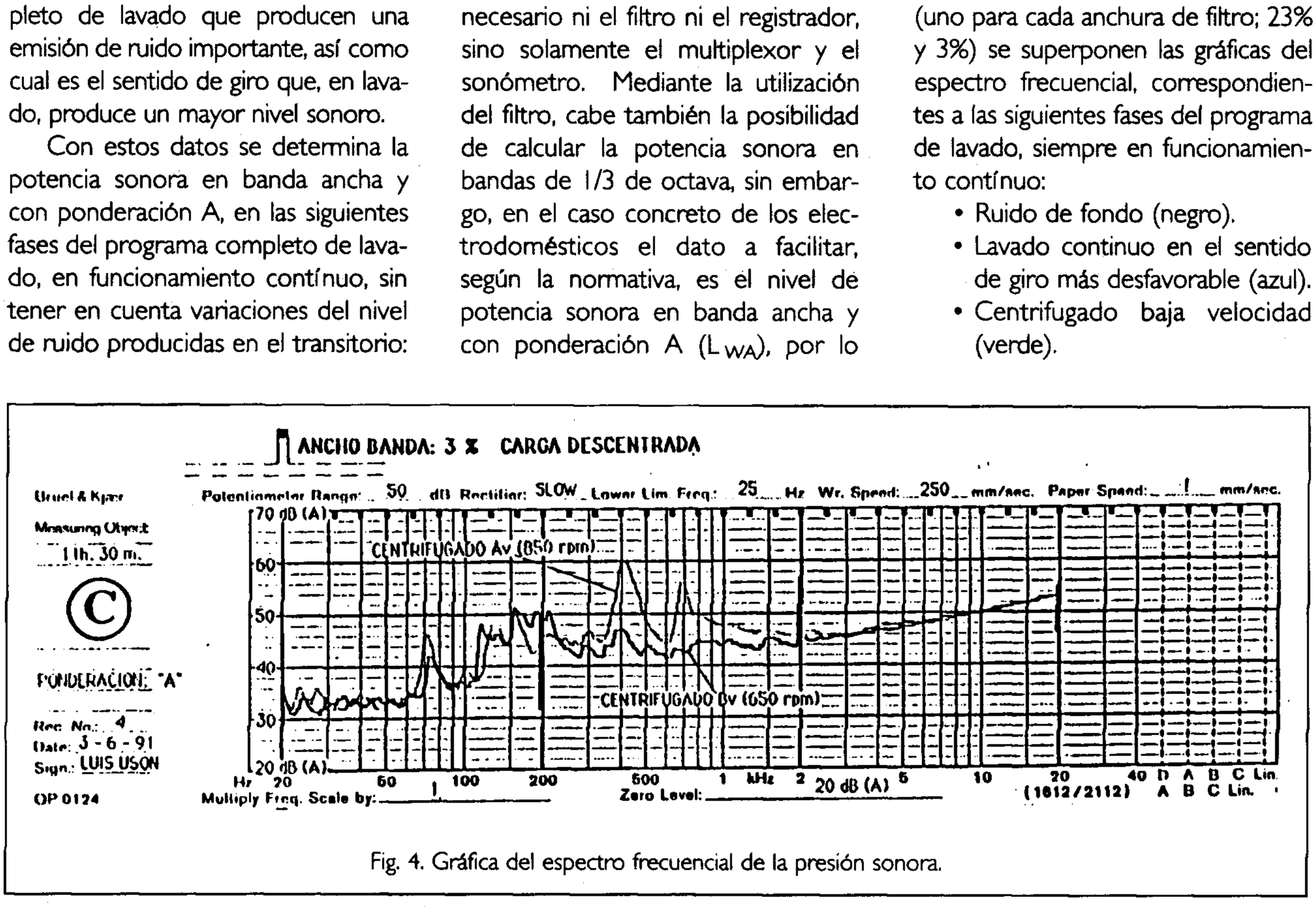

Fig. 4. Gráfica del espectro frecuencial de la presión sonora.

• Centrifugado alta velocidad (marrón).

En algún caso particular, puede también resultar interesante representar el espectro correspondiente a la entrada de agua (verde). En este caso, para dar tiempo a la medida, será necesario desconectar el presostato de la lavadora.

Además de las gráficas (figura 4) en sí para cada una de las secuencias del programa analizadas, puede resultar interesante determinar, cuales son los valores máximos de presión sonora aparecidos en el espectro así como la frecuencia a la que se dan estos máximos, y la diferencia existente con el ruido de fondo a esa frecuencia. Estos datos pueden ser representados en forma de tabla (figura 5).

FUNCION		LAVADO	CENTRIFUGADO Bv		CENTRIFUGADO Av	
CARGA		ROPA	ROPA	DESCEN	ROPA	DESCEN
NIVEL MAXIMO DETECTADO [dB(A)]	23 %	43	61	58,5	63	67
	3 %	42,5	53,5	51	56,5	60
FRECUENCIA "F" DEL NIVEL MAXIMO DETECTADO [Hz.]	23 %	650	190	190	190	400
	3 %	190	190	190	190	400
COLOR PLUMA		AZUL	VERDE		MARRON	

Fig. 5. Niveles máximos de presión sonora en el espectro.

6. REFERENCIAS

- AAGESEN, H.; "Instrumentos y técnicas de medida", El ruido como agente contaminante en la industria, tomo I, capítulo V, Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza, La Mutua de Accidentes de Zaragoza, Zaragoza 1987.
- CYRIL M. HARRIS; "Manual para el control del ruido" (volumenes I y II), Instituto de estudios de administración local, Madrid 1977.
- HAROLD W. LORD; WILLIAM S. GATLEY; HAROLD A. EVENSEN; "Noise Control for Engineers", McGraw-Hill, New York 1980.
- L. FAULKNER; "Handbook of Industrial Noise Control", Industrial Press Inc., New York 1976.
- ROMAN, C.; CALVILLO J.; "El ruido de los aparatos electrodomésticos", Jornadas nacionales de acústica, Zaragoza 1989.
- PEREZ LACORZANA J. M.; "Ruido emitido por electrodomésticos. Determinación de su potencia acústica a través de medidas de intensidad sonora", Jornadas nacionales de acústica, Zaragoza 1989.