



# JORNADAS NACIONALES DE ACUSTICA

Zaragoza, Abril 1989

## EL RUIDO DE LOS APARATOS ELECTRODOMESTICOS

Carlos Román. Juan A. Calvillo  
BALAY, S.A.  
Polígono Industrial La Cartuja Baja  
Carretera Castellón, Km.6,300  
50720 LA CARTUJA BAJA (ZARAGOZA)

### INTRODUCCION

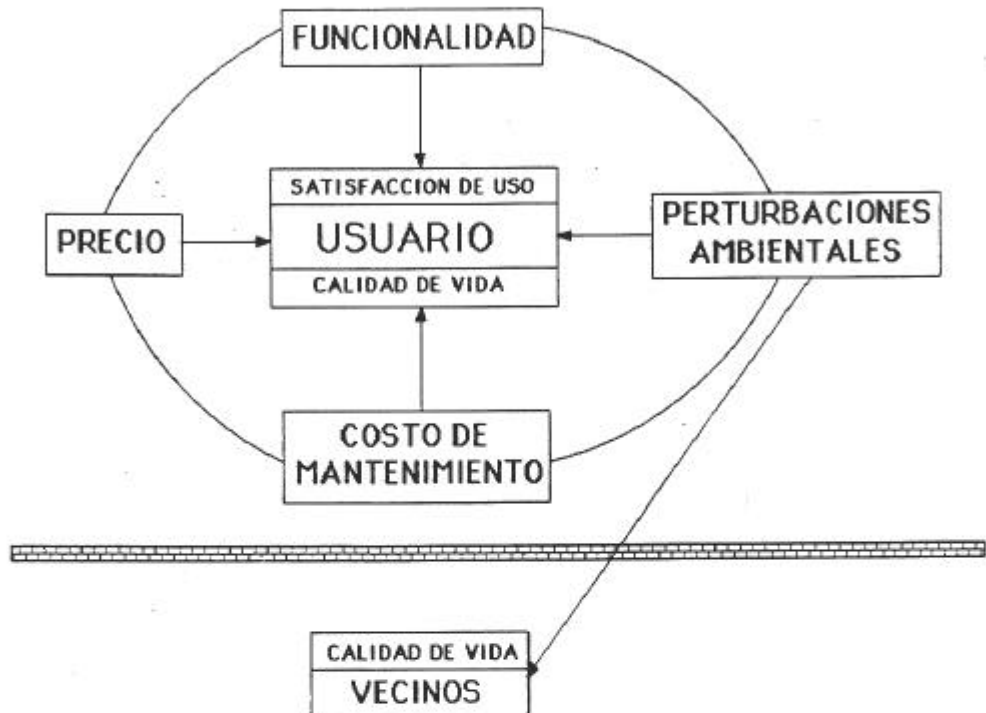
En los últimos años el interés por la protección del medio ambiente ha aumentado rápidamente, debido al general reconocimiento de que las perturbaciones ambientales repercuten en la calidad de vida de las personas y del medio natural. Evitar la degradación del medio ambiente, tanto natural como urbano, laboral o doméstico, se ha convertido en una preocupación general.

Participando de un importante proceso de degradación, el medio ambiente acústico ha sufrido el incremento del uso y de la potencia de las máquinas en los lugares de trabajo, el aumento del ruido rodado y aéreo, etc..

Para combatir este problema muchos Países y Comunidades están trabajando activamente en la legislación sobre este tema, convirtiendo en requerimiento legal la medida de los niveles de ruido comunitario, la reducción de ruido producido por vehículos y el mantenimiento de niveles de ruido aceptables en los lugares de trabajo.

Esta actividad legislativa viene complementada por una mayor apreciación de los beneficios de un ambiente silencioso y a una preferencia por productos más silenciosos, si se encuentran disponibles. Estas ventajas pueden reflejarse en la fijación de precios mayores o en la consecución de un aumento de la cuota de mercado. La probable trascendencia económica hace aconsejable abordar el problema del ruido desde un punto de vista técnico.

A la hora de plantear el problema, podemos considerar cuatro aspectos fundamentales a tener en cuenta. (Ver Esquema 1)



Estos aspectos son la funcionalidad del aparato, su precio y costo de cada utilización, y por último las perturbaciones ambientales que produce.

Para entender las correlaciones entre estos factores, debemos colocar al usuario en medio de ellos y tomar en consideración como los valora, desde la satisfacción de uso que le produce y las aportaciones a su calidad de vida.

Las interrelaciones de estos factores hay que situarlas en el entorno tecnológico donde se desenvuelven. Cuando un futuro utilizador compra un aparato electrodoméstico desea que su precio sea muy bajo, como segunda opción que haga muy bien la función esperada, y tercero que no le produzca molestias.

Cuando lo está utilizando se olvida del precio, y se habitúa a la funcionalidad que le ofrece. Entonces, valora fuertemente las molestias que le produce, y el costo de utilización y de mantenimiento. Es, en estos momentos, cuando se asienta la imagen de la marca comercial, reforzándose si la satisfacción del uso es buena y no produce perturbaciones ambientales que repercutan en la calidad de vida del usuario.

El entorno tecnológico, mencionado anteriormente, es importante porque según su calidad permite optimizar todos los parámetros a su mayor grado con el menor costo.

La funcionalidad, el costo de utilización y mantenimiento, y las perturbaciones ambientales pueden mejorarse. Según la tecnología dominada, estas mejoras repercuten en el costo en distinto grado, y aquí está el punto fundamental a la hora de ser competitivo en el Mercado.

Es necesario ofrecer lo mejor al menor precio, y lo mejor incluye, para tener una buena imagen de marca comercial, las reducciones de las perturbaciones ambientales.

En las comunicaciones humanas la oral es quizás la más importante. El descanso, por otra parte, se basa en un entorno tranquilo. El ruido es la perturbación que altera tanto las comunicaciones como el descanso de las personas.

Actualmente el ruido producido es uno de los factores que, si bien con poca incidencia relativa, influyen en la decisión de compra. Es de esperar que con el tiempo esta tendencia se confirme.

La exigencia por parte del consumidor de un nivel reducido de ruidos ha comenzado en los aparatos de uso cotidiano, en los que el problema resulta tanto más evidente cuanto mayor es la importancia del ruido que producen, y la proximidad a los lugares de convivencia.

## LOS ELECTRODOMESTICOS

En el campo de los electrodomesticos, los problemas deberemos dividirlos por tres líneas fundamentales.

Línea Marrón: Constituida por aparatos electrónicos de imagen y sonido, donde el ruido producido es deseado (el sonido de los aparatos de Alta Fidelidad, Televisores, etc.).

Línea Blanca: Constituida por aparatos de limpieza y frío, fundamentalmente, como Lavadoras, Lavavajillas y Frigoríficos.

Pequeño Electrodomstico: Donde se incluyen una gran variedad de aparatos solo limitados por la imaginación de los diseñadores, desde máquinas de afeitar hasta el aspirador domstico.

La repercusión de estos grupos en el bosque ruidoso del hogar, no es la misma desde la aceptación del usuario.

En el caso de la Línea Marrón el sonido producido es regulable, y por tanto controlado por alguno de los moradores del mismo. El efecto negativo puede producirse en todo caso en la casa del vecino, en función del aislamiento de las viviendas. No consideraremos este caso como objeto de análisis.

La Línea Blanca se caracteriza, fundamentalmente, por ser aparatos que están destinados a funcionar sin vigilancia, automáticamente. Esto hace que los ruidos que producen, en muchos casos, no son ni esperados, ni deseados.

En el Pequeño Electrodomstico, sus ruidos son muy desagradables en general, pero de corta duración y esperados por el utilizador. Por ello, aunque importante su efecto, no es de tanta repercusión como en el caso de la Línea Blanca.

Por la especialización de BALAY, nos ocuparemos, específicamente, de los efectos acústicos generados por los aparatos de Línea Blanca, y en particular de Lavadoras y Lavavajillas. He de decir que, en la mayor parte de los casos, tanto la Normativa como la Tecnología es aplicable al resto de electrodomesticos.

## EXPERIENCIAS EN ELECTRODOMESTICOS

### - COMERCIALES:

La normativa a aplicar específica únicamente el método de medida a utilizar, las tolerancias admitidas y la forma en que debe venir indicada en una etiqueta al efecto.

Esto quiere decir que no hay límite por Ley al ruido emitido, y pensamos que no es ético el ponerlos. Se controla, cuando se indica que los niveles de ruido que emite el aparato están dentro de los valores que se dicen en la etiqueta.

En este punto hay alguna picaresca comercial, por ejemplo: indicar en una etiqueta no normalizada la presión sonora en un punto determinado, en lugar de la potencia sonora del aparato. Todos sabemos que la presión sonora disminuye con el cuadrado de la distancia al aparato. Otro ejemplo característico es argumentar para todos los modelos de la gama de aparatos, el valor que tienes del modelo que más bajo nivel de ruido da.

Hoy todavía no es obligado etiquetar el ruido que emiten los aparatos, la Norma Europea deja, a la libertad de cada País, la obligatoriedad de que este valor venga indicado en la etiqueta. Es de esperar que en los próximos años lo sea.

Son las Asociaciones de Consumidores las que están teniendo un fuerte auge en el control e, influencia en las ventas del producto, al fin y al cabo el punto más importante para nosotros.

Inglaterra, Alemania y Holanda son ejemplos donde estas Organizaciones tienen una estructura potente. Contratan ensayos de aparatos en venta, y publican los resultados con sus valoraciones de mejor a peor. La tirada de estas revistas son altas y repercuten fuertemente en las ventas, los malos resultados.

Los puntos más valorados por estas Asociaciones van siempre relacionados con aquéllos que preocupan a los Consumidores. Es de esperar que el ruido de los electrodomésticos sea próximamente un punto muy valorado.

Hay dos aspectos que así lo hacen preveer. Por una parte, la cocina es el lugar donde se integran la mayor parte de ellos, y ésta se convierte cada vez más en un lugar de convivencia.

Por otra parte, dada la tendencia de las Compañías Eléctricas a promocionar el uso nocturno de la energía eléctrica, mediante tarifas reducidas, obligará a que los aparatos electrodomésticos, como la Lavadora y el Lavavajillas, que son consumidores importantes de energía eléctrica y por tanto potenciales ahorradores, sean silenciosos para que no perturben el descanso de los usuarios ni de los vecinos.

- TECNICAS:

BALAY preocupada en ofrecer un buen producto que mejore la calidad de vida en los hogares de los compradores, ha realizado desarrollos de reducción de ruido, tanto en Lavadoras como en Lavavajillas.

Según la situación en que se encuentra el Proyecto a considerar, se trabaja en dos líneas distintas.

Si el Proyecto está ya en fabricación en masa, normalmente es muy costoso y difícil el realizar modificaciones sustanciales al producto. La línea que se utiliza en este caso es la de atacar las vías de transmisión del sonido, normalmente incluyendo piezas de material absorbente, que reduzcan el nivel de ruido emitido. Estas piezas se colocan de modo que reduzcan la formación de ruido por vibraciones de las chapas que constituyen el aparato. Existen dos formas de colocarlas: una pegada sobre la misma chapa, de forma que amortigüe la vibración, y otra en la vía de comunicación del elemento vibrante (Motor, Electroválvula, Etc.) a las chapas adyacentes. También, aunque de menor efectividad, se colocan piezas de material absorbente, rellenando huecos de aire, en las zonas de paso del ruido de las fuentes sonoras al exterior del aparato.

Esta línea de desarrollo está fuertemente limitada por el incremento de costo de cada unidad producida. Es claro que cada pieza de material absorbente introducida repercute en el costo final del aparato.

La otra limitación de esta línea está en las propias dimensiones del aparato, y de las conexiones entre los elementos que lo constituyen. Las únicas ventajas son la sencillez de la aplicación y las pocas inversiones requeridas.

La segunda línea de desarrollo es atacar directamente a las fuentes productoras de ruido. Sólo puede aplicarse, para tener una buena efectividad, cuando el proyecto está en fase de desarrollo y es posible modificar sustancialmente las formas de cada uno de los componentes del aparato.

Este método se basa en ir determinando las fuentes de ruido o de vibraciones, sus vías de transmisión del sonido, y los posibles resonadores que existan. Una vez determinados, se atacan empezando por aquéllas que dan más contribución al ruido.

No hay limitación a la hora de presentar las ideas que pueden reducirlo, realmente la complejidad del método se basa en los medios que son necesarios utilizar y la imaginación para utilizarlos e interpretar los resultados.

Como no se tiene acceso técnico directo de modificación a todas las fuentes de ruido, en algunos casos es necesario trabajar con las Oficinas de Proyectos de los Fabricantes de Componentes.

En estos casos se plantean programas de reducción de ruido a medio plazo, de acuerdo con las inversiones necesarias y las repercusiones en el proceso de fabricación del mismo.

La mayor parte de las veces, las actuaciones con Proveedores, suelen ser traumáticas y vienen dadas por partidas de componentes defectuosos. Estos emiten ruido superior al establecido y comienza una discusión económica sobre la calidad, intentándose la recuperación del componente defectuoso. Como consecuencia de estos defectos, se aumenta, temporalmente, la conciencia del problema del ruido.

Es de destacar, volviendo a la línea de desarrollo que nos ocupa, que el proceso de mejora por esta vía es ilimitado a la hora de los resultados, y no tiene porque tener repercusión en el costo unitario. Es posible que algunas soluciones requieran inversiones importantes, o un control estricto del proceso, pero, en general, esto siempre es menos costoso que incluir piezas de amortiguamiento sonoro.

Por tanto podemos decir que la reducción de ruido en los aparatos electrodomésticos puede conseguirse de dos formas: bien suprimiendo o modificando las fuentes de emisión, bien actuando sobre los canales de transmisión, directos o indirectos. A pesar de que la reducción de ruido en origen resulta un proceso difícil, son obvias las ventajas que conlleva este tipo de actuación. Siempre resulta más conveniente actuar sobre la causa que sobre el efecto, para disminuir la nocividad de un determinado proceso.

Es necesario contemplar el coste que supone el aislamiento contra el ruido, puesto que al no suponer la desaparición del problema, sino su ocultamiento, se convierte en un gasto continuo. Además, la disminución o desaparición del ruido en origen surte efecto instantáneo. A partir del momento de la modificación no necesita de inversiones adicionales para mantener el nivel de ruido en las cotas que se consigan. Una política de aislamiento necesita de inversiones constantes para mantener su efectividad, puesto que una vez se prescinde del aislamiento el problema resurge con la misma vitalidad.

Para atacar y resolver estas líneas de desarrollo se plantean tres puntos, a saber:

a) Conocer la importancia, absoluta y relativa, de la emisión de ruido de los aparatos que se fabrican, de manera que se puedan comparar con las producidas por otros fabricantes.

b) Determinar alguna o algunas características del ruido que permitan deducir su origen, posibilitando la actuación sobre el diseño de elementos ruidosos.

c) Realizar un control de la emisión de ruido de componentes o/y del producto terminado.

Lo que se pretende, en suma, es obtener información cualitativa y cuantitativa, objetiva y de calidad, sobre el ruido que emite un electrodoméstico.

La información cuantitativa debe permitir conocer la potencia sonora emitida. La información cualitativa debe permitir distinguir entre dos máquinas que produzcan ruidos con la misma potencia sonora.

Una vez comprobada que la necesidad primaria es la obtención de información (una información que necesariamente deberá obtenerse a través de algún tipo de medida), hay que determinar qué y cómo se mide.



## CONCLUSIONES INICIALES

i) El problema del ruido producido por Lavadoras, debe abordarse de forma global, mediante el diseño de una política de control de ruido. Sólo se podrán obtener buenos resultados en el caso de que esta política tenga continuidad.

ii) Debe introducirse el ruido producido por aparatos y componentes como factor de diseño.

iii) Para tomar este tipo de medidas es necesario disponer de equipo e instalaciones suficientes para la medida del ruido producido por los aparatos y los componentes.

iv) El parámetro que mejor define la emisión de ruido de determinado aparato o componente es la potencia sonora, ya que se trata de un parámetro que sólo depende del aparato o componente en cuestión.

v) La ponderación frecuencial que mejor se ajusta a criterios subjetivos de molestia auditiva es la ponderación A, basada en la respuesta humana a los sonidos de diferentes frecuencias.

vi) La potencia sonora en ponderación A puede obtenerse a través de la medida de la presión sonora en campos de medida determinados (libre o difuso con niveles de ruido de fondo reducidos), o bien a través de la medida de la intensidad sonora en un campo cualquiera de medida, sin limitaciones sobre el ruido de fondo.

vii) Una descripción cualitativa del ruido se puede conseguir mediante la determinación del espectro frecuencial de emisión.

viii) El espectro frecuencial de la potencia sonora sólo puede conseguirse mediante la determinación de la potencia sonora en bandas de frecuencia, típicamente de octava o de 1/3 de octava. Este proceso es largo y costoso.

ix) En condiciones de campo libre o de campo difuso existe una correspondencia entre el espectro de emisión de la potencia sonora y el espectro de la presión sonora en el punto de medida. Este último se puede determinar fácilmente para todo el rango de medida, utilizando un filtro sintonizable que permita el barrido de la banda de frecuencia de interés.

x) Se pueden extraer conclusiones acerca de la direccionalidad de la emisión sonora, bien utilizando un sonómetro de presión, siempre que los valores del ruido de fondo sean reducidos para el rango de medida, ó con una sonda de intensidad.

xi) Si se pretende obtener la mayor cantidad de información posible, con el equipo de presión sonora, las medidas deberán efectuarse en condiciones de campo libre.

xii) Las condiciones de campo libre pueden conseguirse en grandes espacios o en cámaras especialmente acondicionadas. Al estar las medidas de ruido influenciadas por factores externos, como la existencia del ruido de fondo, las características acústicas del entorno, etc., siempre será preferible la realización de ensayos en lugares en los que estos extremos sean conocidos.

xiii) La existencia en todo el interior de la fábrica de niveles de ruido de fondo demasiado elevados, en relación a los que se desean medir, obligan a considerar la construcción o acondicionamiento de una sala para la medida de ruidos.

xiv) Las cámaras de campo libre perfecto son llamadas anecóicas (es decir, que sus confines no producen ecos). Al tratarse de instalaciones de laboratorio cuyo cometido principal es la investigación y el desarrollo de normas, la precisión obtenida es óptima. Sin embargo, su construcción y mantenimiento resultan extremadamente gravosos al necesitar de equipo y personal especializado. Teniendo en cuenta además el carácter de equipo de campo de la instrumentación disponible, la precisión obtenible resulta excesiva desde un punto de vista práctico y económico.

xv) Existen Normas Internacionales sobre métodos ingenieriles de medida a las que es conveniente adaptarse, ya que su cumplimiento garantiza una precisión útil (estos métodos se ajustan a lo especificado en la directriz de la C.E.E. sobre etiquetado).

xvi) Aunque, generalmente, la construcción de una cámara de campo libre, ajustada a este tipo de normas, es más cara que una cámara semirreverberante, la necesidad de aislar acústicamente el recinto para ambos tipos de cámara, en este caso concreto, apróxima el coste de ambas soluciones, ya que el material usado para aislamiento puede al mismo tiempo cumplir el papel de material absorbente.

xvii) Es posible la determinación de la potencia sonora mediante sondas de intensidad sonora.

xviii) Es posible eliminar los efectos del ruido de fondo mediante cálculo, realizando las medidas con una sonda de intensidad sonora.

#### DOS VIAS DE DESARROLLO

De las conclusiones iniciales se aprecian dos métodos de medida, válidos para el caso que nos ocupa:

- Presión Sonora en Cámara de Campo Libre.(P.S.)
- Intensidad Sonora. (I.S.)

BALAY dispone de dos Plantas productivas separadas físicamente por 10 Km., y técnicamente por sus fabricados. Cada una de ellas se ha decantado, de modo natural, por vías distintas. La Planta de Montaña (PL-1), donde se fabrican los Lavavajillas, está utilizando el método de Intensidad Sonora. La Planta de La Cartuja (PL-2), donde se fabrican las Lavadoras, utiliza el método de medición de la presión sonora en Cámara de Campo Libre.

Cuando digo que se han decantado de modo natural, quiero decir que han predominado más los aspectos económicos y físicos que una valoración técnica.

En el caso de PL-2, coincidió que se disponía de un equipo de medida de la presión sonora y que era necesario realizar obras de ampliación de laboratorios. Por ello se realizó la Cámara y se trabajó por este método. En PL-1, al partir de cero, se dirigió a la Intensidad Sonora.

#### VENTAJAS E INCONVENIENTES:

El método de I.S. tiene como ventajas:

- No necesita un recinto especial para hacer las medidas, por tanto requiere poca inversión.
- Es muy sencillo determinar la posición de las fuentes sonoras y de las vías de transmisión del sonido.
- Es rápido y cómodo de utilizar en lugares donde no se disponen de recintos adecuados.

Su único inconveniente reside en que no existe ninguna Norma Oficial, que establezca una referencia entre las medidas realizadas y la potencia sonora del aparato. Por tanto, no se pueden validar los resultados respecto a las Normas. En mediciones realizadas por nosotros, con ambos Sistemas, los errores son inferiores a 1 dB.

El método P.S. tiene como ventaja que todas las Normas y Bibliografía actual se vasan en él.

Por otra parte, sus resultados son valores absolutos en la zona donde se mide.

Sus mayores inconvenientes vienen dados por el enmascaramiento del ruido, y la necesidad de usar Cámaras especialmente acomodadas.

#### INTENSIDAD SONORA: EXPERIENCIA EN PL1.

Intensidad sonora es la energía que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo, o lo que es lo mismo, potencia sonora por unidad de área.

$$I = \frac{W}{S} \quad (1)$$

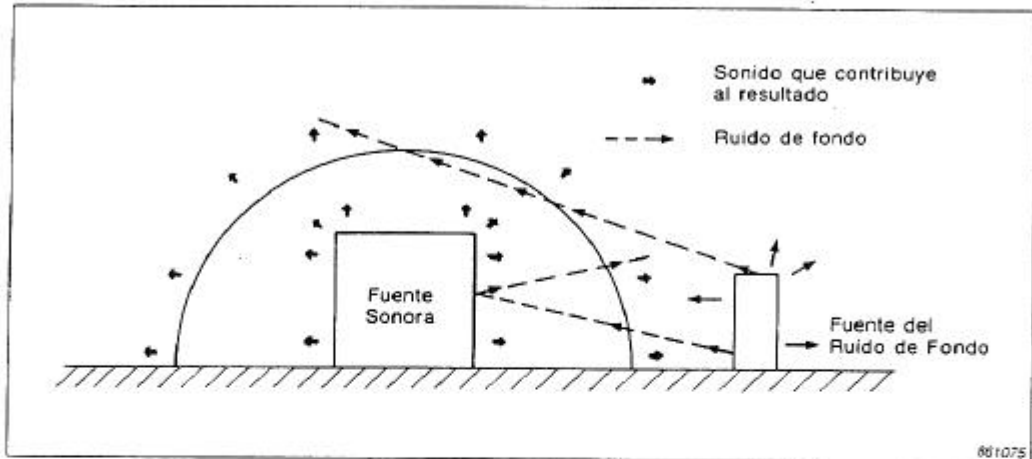
Para calcular la potencia sonora:

$$W = \iint_{\sigma} \vec{I} \cdot d\vec{s} \quad (2)$$

En nuestro caso se trata, por tanto, de definir una superficie que encierre el aparato, dividirla en n partes y realizar el sumatorio

$$W = \sum_{i=1}^n I_i \cdot S_i \quad (3)$$

Al ser la intensidad una magnitud vectorial (magnitud, dirección y sentido) y asumiendo la hipótesis de que el objeto a medir no es absorbente de ruido, cualquier ruido externo a la fuente a medir y constante en el tiempo (ruido estacionario) no influirá en la medida. Entrará por una cara de la superficie de medida y saldrá por otra, con lo cual en el cómputo global no se contabilizará.



De ahí que, con este método y un mínimo cuidado con las fuentes puntuales de ruido, no sea necesaria la construcción de ninguna cámara especial.

La otra ventaja de este método es que se puede observar claramente los puntos por los que la emisión de ruido es mayor. Ahí es, lógicamente, donde se deberá atacar en primer lugar a la hora de reducir la potencia sonora de los aparatos.

#### ESTUDIO TEORICO SIMPLIFICADO: APLICACION A UN LAVAVAJILLAS

Encerremos el lavavajillas bajo una superficie de medida tal como se indica en la figura 1.

Designemos los subíndices siguientes:

-F	para	indicar	el	FRENTE	de	la	superficie	de	medida
-I	"	"	"	LADO	IZDO.	"	"	"	"
-D	"	"	"	LADO	DERECHO	"	"	"	"
-P	"	"	"	CARA	POSTER.	"	"	"	"
-T	"	"	"	TECHO	"	"	"	"	"

la expresión (3) desarrollada será:

$$W = I_F \cdot S_F + I_I \cdot S_I + I_D \cdot S_D + I_P \cdot S_P + I_T \cdot S_T \quad (4)$$

donde las superficies están expresadas en m<sup>2</sup>, las intensidades en W/m<sup>2</sup> y la potencia W en W.

El analizador de intensidad sonora nos dá los valores de intensidad en dB, referidos a I<sub>0</sub> = 10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup>.

Por definición

$$I \text{ (dB)} = 10 \log \frac{I \text{ (W/m}^2\text{)}}{I_0} \quad (5)$$

$$W \text{ (dB)} = 10 \log \frac{W \text{ (W)}}{W_0} \quad (6)$$

siendo W<sub>0</sub> = 10<sup>-12</sup> W.

Desarrollando (4) con (5) y (6) resulta

$$W \text{ (dB)} = 10 \log (S_F \cdot 10^{I_F/10} + S_I \cdot 10^{I_I/10} + S_D \cdot 10^{I_D/10} + S_P \cdot 10^{I_P/10} + S_T \cdot 10^{I_T/10}) \quad (7)$$

con I<sub>F</sub>, I<sub>I</sub>, I<sub>D</sub>, I<sub>P</sub> en dB.

Diferenciando la expresión (7) y considerando que no variamos la superficie de medida (dS<sub>i</sub> = 0), se obtiene la siguiente expresión

$$dW = \frac{\sum_i S_i \cdot 10^{I_i/10} dI_i}{\sum_i S_i \cdot 10^{I_i/10}} \quad (8)$$

$$i = F, I, D, P, T$$

Aplicando la expresión (8) a un caso concreto medido en nuestro Laboratorio se obtiene que

$$dW = 0,16dI_F + 0,13dI_I + 0,13dI_D + 0,54dI_P + 0,04dI_T \quad (9)$$

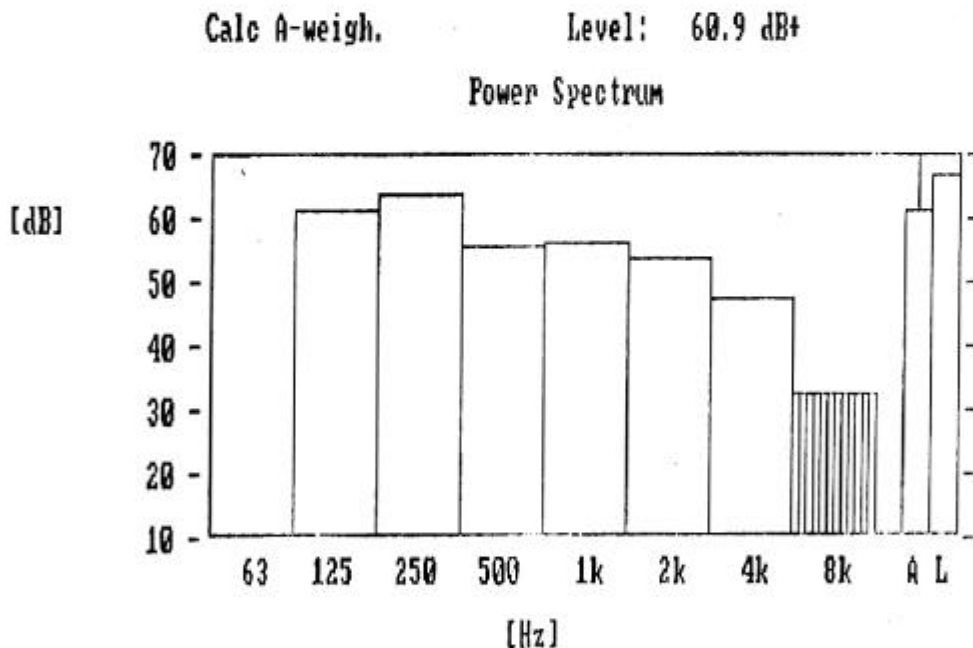
De la expresión (9) se deduce que es por la cara posterior por donde nuestro aparato emite más ruido, y que deberá ser por ahí por donde se adopten las soluciones correctoras.

Aumentando el nº de puntos de medida en cada cara del aparato, es posible conocer las direcciones preferenciales de emisión acústica y, por tanto, abordar localizadamente el problema.

Por ejemplo, ha podido determinarse que por unas ranuras inferiores que tiene el Lavavajillas existe un 30% de la emisión de toda la cara frontal. Es por tanto preferente el abordar el estudio de amortiguación de este punto de emisión.

Otro de los puntos interesantes, a la hora de abordar un Proyecto de reducción de ruido emitido, es conocer la(s) frecuencia(s) dominante(s) en la emisión.

En nuestro caso, y como se puede observar en la figura 2, la frecuencia dominante es la octava centrada en 250 Hz, seguida de la centrada en 125 Hz.



Es éste, un dato básico a la hora de adoptar medidas.

Fruto del trabajo realizado ha sido la disminución práctica en 3 dB de la potencia sonora en nuestros Lavajillas, lo que equivale a emitir la mitad del ruido original, sobre un Proyecto en producción.

#### PRESION SONORA: EXPERIENCIA EN PL-2

Las lavadoras se han convertido en un electrodoméstico de uso general, hasta el punto de que la gran mayoría de los hogares españoles disponen de una. Se puede considerar un electrodoméstico básico, quizás el primero que se adquiere, o el único en determinados casos.

La fabricación de lavadoras no se limita a satisfacer la demanda interior, sino que dispone de un importante Mercado de Exportación, sobre todo en el ámbito Europeo. El Mercado Interior proviene del mantenimiento y la reposición del Parque de Lavadoras actualmente instalado y del equipamiento de nuevos hogares.

Como producto puede considerarse de uso generalizado y gran consumo. En este caso la información que demandan los consumidores es mayor, ya que se enfrentan a un producto cuyas características conocen perfectamente y saben que esperan de él. Para el fabricante es importante la imagen de marca, que puede decidir su cuota de mercado, sobre todo cuando la oferta es grande y no demasiado diferenciada. Los esfuerzos deben encaminarse a satisfacer las expectativas del consumidor proporcionándole una mayor información y procurando una diferenciación de sus productos, ya sea estética, técnica o de prestigio. La reducción de ruido puede jugar una baza importante en el esfuerzo de singularización de los fabricantes, puesto que es una novedad que pretende satisfacer exigencias presentes o futuras de los consumidores.

#### REGISTRO DE LA HISTORIA TEMPORAL DEL RUIDO DE LA LAVADORA:

Se registrará el nivel de presión sonora en ponderación A en la posición de micrófono. Durante este ensayo solo se utiliza el sonómetro y el registrador.

Para el registro de la historia temporal debe utilizarse el programa de lavado más energético para tejidos de algodón, en frío y sin detergente.



El ensayo consiste en la obtención del nivel de ruido equivalente para un programa completo de lavado y el registro de:

- La comprobación de la calibración del registrador.

- El nivel de ruido de fondo inicial durante un tiempo prudencial (de uno a cinco minutos).

- El nivel de ruido producido por la lavadora durante el programa completo de lavado especificado.

- El nivel de ruido de fondo final durante un tiempo prudencial (de uno a cinco minutos).

Para obtener el nivel de ruido equivalente, se inicializará el circuito de cálculo de  $L_{eq}$ , mediante la actuación simultánea sobre los dos pulsadores marcados "Let reset" al principio de programa, asegurándose de que el tiempo programado es suficientemente grande. Se tomará el valor de que se lea en el indicador analógico al final del programa.

Cualquier incidencia destacable debe consignarse sobre el papel de registro (ruido exterior causante de un pico anómalo, fases del programa reconocibles, etc..).

#### DETERMINACION DE LA POTENCIA SONORA

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

Con estos datos se determina la potencia sonora para los siguientes casos:

- Lavado en el sentido de giro más desfavorable.
- Cada centrifugado distinto, al menos el de alta velocidad y/o el de baja.
- Entrada de agua.
- Otros momentos de interés, si los hubiera.

Se marcarán sobre el gráfico cronológico todos los puntos de medida seleccionados.

En aquéllos casos en que resulte posible, se provocarán situaciones estables (lavado, centrifugado) desconectando el programador.

Se medirán los niveles de presión sonora en las seis posiciones especificadas de los micrófonos, tomando como valor el valor medio de la oscilación de la aguja en el indicador analógico. Puede utilizarse como ayuda el circuito de cálculo de  $L_{eq}$ , comprobando antes la diferencia entre el indicador analógico y el digital, mediante el nivel interno de referencia (posición Cal.) y corrigiéndola de ser necesario. Los valores del tiempo y de la corrección para el último caso de la primera serie de medidas es de 0.015 horas (PRESET TIME) y de -0.2 dB(A).

Una vez medido este valor, para cada una de las seis posiciones de micrófono, se obtendrá el nivel medio de presión sonora, utilizando para ello la fórmula:

$$L_{pm} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \right)$$

Donde  $L_{pi}$  es el nivel de presión sonora para cada uno de los micrófonos.

Se calculará el nivel de potencia sonora en ponderación A, según la fórmula:

$$L_{WA} = (L_{pm} - K) + 10 \log_{10}(S/S_0)$$

donde  $k$  es el coeficiente de corrección por entorno y  $S$  la superficie de medida. Para los valores de  $k$  obtenidos en la primera y segunda caracterización, y para la superficie de referencia, correspondiente a las posiciones de los micrófonos marcadas, la anterior fórmula se convierte en:

$$L_{WA} = L_{pm} + 10.86$$

#### DETERMINACION DEL ESPECTRO FRECUENCIAL EN CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO CONTINUO

Se registra el espectro de frecuencias de la presión sonora en la posición de micrófono 1, ponderación A y tiempo de respuesta "slow". Barrido automático de las décadas 20-200; 200-2k; 2k-20k, en posición de 23% (1/3 octava) y 0.2 voltios rms. Se graba la señal de DC, con el registrador en "DC Lin", potenciómetro logarítmico de 50 dB, velocidad de papel 1 mm/s, velocidad de escritura 250 mm/s.

Sobre el mismo papel se superponen 4 registros:

- Ruido de fondo: negro.
- Lavado continuo en el sentido de giro más desfavorable: verde.
- Centrifugado BV: rojo.
- Centrifugado AV: negro.

Además, para cada uno de los casos anteriores, se registra el nivel de ruido en ponderación A y lineal sin filtro de frecuencias, a efectos de comparación y control.

Las pruebas se llevan a cabo siguiendo un guión, que sirve al mismo tiempo de informe final sobre la lavadora, en cuanto a su producción de ruido. En él se reúnen y consignan todos los aspectos que se consideran de interés para una correcta interpretación de las gráficas y de los valores numéricos que se obtienen. Los valores de la superficie de referencia y del coeficiente de corrección por entorno, son los que se obtuvieron a partir de la segunda caracterización, que deberán corregirse para variaciones en el estado de la sala, siempre que se consideren importantes.

En esta metodología hemos abordado la reducción del ruido en las lavadoras con Motor a Colector. Se ha detectado que, tras un proceso de centrifugado, se acomodaban las escobillas y se reducía posteriormente el ruido en las siguientes fases.

Por otra parte, se comprobó que modificando la construcción de la escobilla, se reducía notablemente el ruido del motor en el lavado.

Hoy, estamos aplicando el método para optimizar el nuevo Proyecto de Lavadoras.

#### **NORMATIVA DE APLICACION Y REFERENCIA**

Las medidas deben llevarse a cabo de forma que se minimicen -o se conozcan lo suficiente como para poder corregirlas- las influencias de factores extraños: viento, reflexiones, absorción del suelo, etc..

Para asegurar la calidad y uniformidad de las medidas tanto cuanto sea posible, las especificaciones del equipo y los procedimientos de medida están sujetos a Normas Nacionales e Internacionales de distinta severidad dependiendo de su campo de aplicación.

La Normativa ISO, referente a métodos de medida del ruido, tiene carácter general, distinguiendo sólo entre métodos de control ingenieriles y de precisión. Las Normas para métodos de control son menos estrictas que las referentes a métodos de Laboratorio que, al estar dedicados al ensayo de Normas de ruido, o a investigación y desarrollo, necesitan usualmente mayor rigor.

El documento de aplicación más específico es el Proyecto de Norma formulado por IEC 59 (Secretariado) 36 en Diciembre de 1975: "Determinación del ruido aéreo emitido por electrodomésticos y similares. Parte 3a: Código de ensayo para la medida del ruido en lavadoras", que resulta ser la 3ª parte (específica) del Proyecto de Norma IEC 59 (Secretariado) 34 en Diciembre de 1975 "Determinación del ruido aéreo emitido por electrodomésticos y similares. Parte 1a: Requerimientos generales y líneas de actuación". Una versión posterior de IEC 59-36 es el Proyecto de Norma IEC 59 (Oficina Central) 11 de Abril de 1980: "Código de ensayo para la determinación del ruido aéreo, emitido por los aparatos electrodomésticos y análogos. Parte primera: reglas generales", que coincide casi plenamente con la Norma Francesa NF S 31-090 de Junio de 1983 (IEC 704-1): "Código de ensayo para la determinación del ruido aéreo emitido por los aparatos electrodomésticos y análogos. Parte primera: reglas generales". Ambos documentos se refieren, en cuanto a la caracterización de los lugares de medida, a las Normas ISO 3740, 3741, 3742, 3743 (1976), 3744 (1981), 3745 y 3746 (1979), con las que coinciden en lo esencial en cuanto a métodos de medida, definición de magnitudes, cálculos, etc..

Todas las Normas se refieren a la medida de la potencia sonora a través del nivel de presión sonora, es decir, a través de la medida de la presión sonora en diversos puntos alrededor del aparato que se pretende ensayar.

Mediante el método de intensidad sonora puede determinarse la potencia sonora. La Normativa referente a la utilización de estos métodos se encuentra aún en fase temprana de desarrollo, puede citarse la Norma ISO 9614, que está en fase de primer borrador en 10-3-87.

Para el análisis frecuencial de ruidos no existe ninguna Normativa específica, siendo la única referencia, a este tipo de análisis, la utilización de los métodos de determinación de la potencia sonora a las bandas de octava o de tercio de octava que se contempla en ISO.

Otros documentos disponibles de interés son:

Directriz de la C.E.E. (1 de Diciembre de 1986) relativa al ruido aéreo emitido por los aparatos electrodomésticos.

Directriz VDI 3737, hoja 5 (Agosto de 1981), "Indices de emisión de fuentes de sonido técnicas. Aparatos eléctricos para uso doméstico. Lavadoras".

Además, pueden resultar interesantes las siguientes Normas:

- Referentes a la precisión de equipos de medida del sonido:

UNE 123 (1961), UNE 179 (1973), UNE 225 (1966), UNE 268-4 (1972), UNE 21323, UNE 21324, UNE 74002-78, IEC 651, IEC 123, IEC 179, IEC 225, NF 31-009, NF C 97-010, BS 3489, BS 3539, BS 3045, BS 2475, BS 3383 y BS 4197.

- Referentes a la sonoridad:

ISO 226 (1961), UNE 74010 (1976).

- Referentes a métodos de medida:

ISO 3740-3746, NF 31-090 (ya citadas), BS 4196.

- Referentes a aislantes:

UNE 74041, ISO 354-1963, ISO R-717.

- Citadas en la Directriz de la C.E.E. de 1 de Diciembre de 1986:

ISO 7574, CENELEC HD 423.

Adjuntamos Tabla de Aplicación de las Normas ISO.

International Standard No.	Classification of method	Test environment	Volume of source	Character of noise	Sound power levels obtainable	Optional information available
3741	Precision	Reverberation room meeting specified requirements	Preferably less than 1% of test room volume	Steady, broad-band	In one-third octave or octave bands	A-weighted sound power level
3742				Steady, discrete-frequency or narrow-band		
3743	Engineering	Special reverberation test room	Greatest dimension less than 15m	Steady, broad-band narrow-band, discrete-frequency	A-weighted and in octave bands	Other weighted sound power levels
3744	Engineering	Outdoors or in large room		Any		
3745	Precision	Anechoic or semi-anechoic room	Preferably less than 0,5% of test room volume	Any		
3746	Survey	No special test environment	No restrictions: limited only by available test environment	Steady, broad-band, narrow-band, discrete-frequency	A-weighted	Sound pressure levels as a function of time other weighted sound power levels

77003/01

Table 3. International Standards specifying various methods for determining the sound power levels of machines and equipment

#### BIBLIOGRAFIA:

- KUTRUFF, H.; "Room acoustics", Applied science publishers, London 1979.
- RANDALL, R.B.; "Frequency analysis" Brüel & Kjaer, Naerum 1977.
- HASSALL, J.R.; ZAVERI, K.; "Acoustic noise measurements", 4th edition, 1st print, Brüel & Kjaer, Naerum 1979.
- LARSEN, H.; "An easy and accurate method of sound power measurements", Technical Review nº 4 1976, Brüel & Kjaer.
- GADE, S.; "Sound intensity (Part I: Theory)", Technical Review nº3 1982, Brüel & Kjaer.
- GADE, S.; "Sound intensity (Part II: Instrumentation & Applications)", Technical Review nº4 1982, Brüel & Kjaer.
- PEREZ LACORZANA, J.M.; "Cámara semirreverberante".
- PEREZ LACORZANA, J.M.; "Procedimiento de ajuste de una sala".
- BRUEL & KJAER; "Determination of sound power of sound sources using sound intensity methods", 1984.
- BOLANOS, F.; "El ruido de electrodomésticos, su medida", Regulación y mando automático, Mayo 1979.
- BOLANOS, F.; "El análisis de vibraciones aplicado a electrodomésticos y equipos análogos", Regulación y mando automático Febrero 1983.
- BERNAL DOMINGUEZ, F.; "Reducción del ruido en la fuente de emisión", Ponencia Congreso Nacional "El ruido como Agente contaminante" Tomo II, Zaragoza 1987.
- BOLT, R.H.; INGARD, K.V.; "Consideraciones del sistema en problemas de control de ruido", Manual para el control del ruido, Tomo II, capítulo 22, Instituto de Estudios de Admón. Local, Madrid 1977.
- MOELLER, G.F.K.; "Ruido de cojinetes", Manual para el control de ruido, Tomo II, capítulo 24, Instituto de Estudios de Admón. Local, Madrid 1977.
- FEHR, R.O.; MUSTER, D.F.; "Ruidos en Motores y Generados Eléctricos", Manual para el control de ruido, Tomo II, capítulo 30, Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid 1977.