

## **CALIDAD ACÚSTICA APLICADA AL CIERRE DE AUTOMOVIL**

PACS: 43.50.Yw

Barti Domingo, Robert  
Departamento de Acústica  
Ingeniería La Salle. URL  
Po. Bonanova, 8  
08022 Barcelona  
Spain  
Tel: 932 902 427  
Fax: 932 902 416  
E-mail: robert@salleURL.edu

### **ABSTRACT**

The automotive industry is pushing up the new technologies in the acoustic domain. User's cars comes to be hard on comfort and performances. More quality are expected by drivers. Cars become more and more noiseless and more and more reliable. Noiseless car is a synonymous of quality and well finished product. But not all must be quiet. Doorslam is an example. The sound from a doorslam reflects the safe and the quality of the door. But how we can do the measurement of this quality? In this article a new approach about acoustic quality for doorslam is showed.

### **RESUMEN**

El sector de la automoción es la que impulsa con mayor fuerza la aplicación de nuevas tecnologías en el campo de la acústica. Los usuarios del automóvil son cada vez más exigentes con el nivel de confort y las prestaciones. Se exigen más y mejores sistemas de seguridad, y mayor economía. En general se exige mayor calidad en los productos. Hablando de calidad en el automóvil, los vehículos son cada vez más precisos y silenciosos. El silencio es sinónimo de calidad. Pero no todo debe ser silencioso. El cierre de una puerta de coche, indica si ésta es segura, si cierra bien, si es sólida. En resumen, el sonido del cierre de una puerta nos transmite sensación de calidad y de seguridad. Como podemos medir esa calidad? En éste artículo tratamos de abrir una nueva línea de trabajo, dentro de la calidad acústica.

### **INTRODUCCIÓN.**

Los usuarios de vehículos automoviles, cada vez son más exigentes con las prestaciones y los acabados de los coches. Se demanda mayores y mejores prestaciones, menor consumo, más economía y también mayor confort. El confort está unívocamente relacionado con el grado de silencio en el interior del vehículo. Ciertos sonidos procedentes del vehículo nos indican el buen funcionamiento de éste. Por ejemplo el ruido del motor, aunque se reduce notablemente, siempre será necesario que sea audible por el usuario. En caso de mal funcionamiento, éste lo detecta rápidamente escuchando el ruido.

Otros elementos aportan informaciones distintas. Por ejemplo el cierre de las puertas. Según un estudio americano publicado a mediados de los años 80, el 30% de las ventas de vehículos en los EEUU, se decide por el sonido del cierre de puerta del coche. Ese sonido transmite cómo es la puerta. Si cierra bien, si es compacta. En definitiva, si esa puerta transmite sensación de seguridad. Estamos pues ante un elemento clave en el sector del automóvil: la seguridad. Muchos son los vehículos que incorporan elementos dedicados a ofrecer un mayor grado de seguridad, los frenos con sistemas ABS, el airbag, control de tracción, etc. Todos

ellos sin embargo, no nos dicen como funcionan, no sabemos si funcionan bien o no. Pero en el cierre de una puerta si que se obtiene un sonido, que claramente diferencia un vehículo de otro. En esta ponencia se describen los resultados obtenidos de aplicar diversas técnicas para evaluar la calidad acústica del cierre de puertas de coches.

**MEDICIONES.**

En primer lugar se ha definido un procedimiento para realizar las mediciones. Desde un primer momento se vió la necesidad de grabar las informaciones con un maniquí y con un micrófono para establecer diferencias. Tras las primeras pruebas, se comprobó que las señales eran de corta duración, entorno a los 300 mseg. El primer requisito fue determinar el punto de medida. Para ello se observó la posición de la abertura de la puerta para diversas personas de ambos sexos. Mediante una cámara digital se determinó la posición más frecuente adoptada por los usuarios. En ese punto se colocó el micrófono o la cabeza del maniquí. La puerta se cerraba y abría varias veces con una fuerza lo más constante posible, haciendo dos distinciones: cierre “normal”, cierre “fuerte” (portazo).

Todas las señales se grabaron sobre soporte digital DAT. Los micrófonos estaban convenientemente calibrados, y se aseguró que en ningún momento se puede saturar la cadena de medida. Hasta la fecha no se dispone de suficiente documentación y experiencia en los análisis binaurales, por lo que todos los análisis son con señales monoaurales.

**RESULTADOS.**

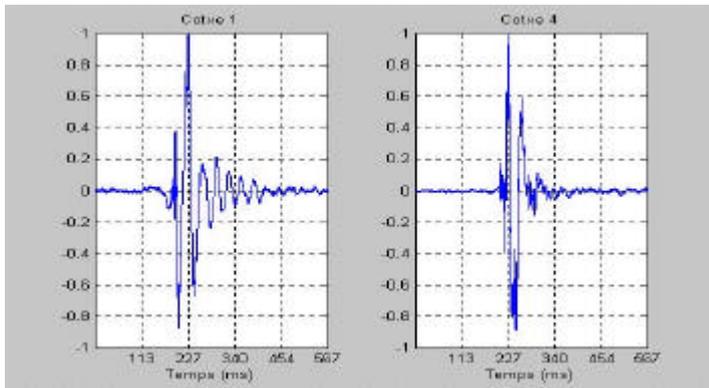


Figura 1

En primer lugar se hizo un análisis temporal de la señal. En la figura 1 se muestra la señal obtenida para el cierre de dos puertas de dos vehículos distintos. Se observa que la duración de ambos cierres es distinta. En el coche 1 la duración es de 345 mseg. mientras que en el coche 4, el tiempo es de 180 mseg. También se observa distinta forma de la señal. Concretamente el coche 1 ofrece una mayor periodicidad que el coche 4.

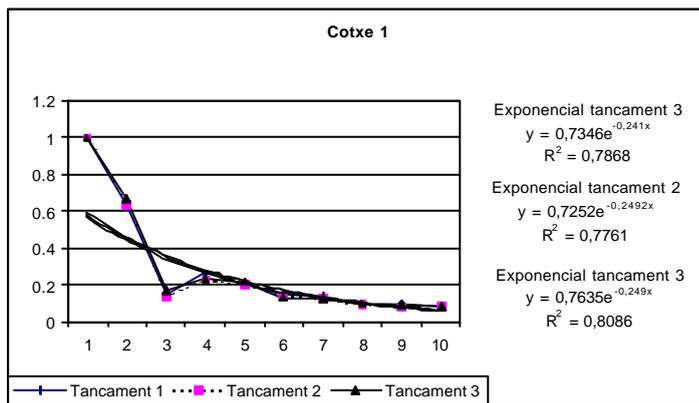


Figura 2

En la figura 2 se observa la dispersión de resultados para tres cierres consecutivos correspondientes a un mismo vehículo. Se ha representado la evolución del decrecimiento de la señal. Se constata que a pesar de las pequeñas variaciones existentes en el cierre (fuerza aplicada), la forma de la señal se mantiene prácticamente inalterada, para los tres ejemplos expuestos.

La ley de decrecimiento es de -0,24 para el coche 1, mientras que es de -0,30 para el coche 2. En algunos casos los cierres de las puertas ofrecen resultados aparentemente muy similares como los mostrados en la figura 3 donde se muestran los sonidos de los coches 2 y 3.

Destacamos la gran similitud en la duración del fenómeno, 240 mseg para el coche 3 y 300 mseg para el coche 2, y también en la periodicidad de la señal. Sin embargo las sensaciones acústicas que producen una y otra puerta son muy distintas. En la figura 3 inferior, se muestra la gran diferencia entre la energía de la señal original y la obtenida para alta frecuencia para los coches 2 y 3. El vehículo 2 suena más metálico que el 3. Se ha hecho un estudio subjetivo de

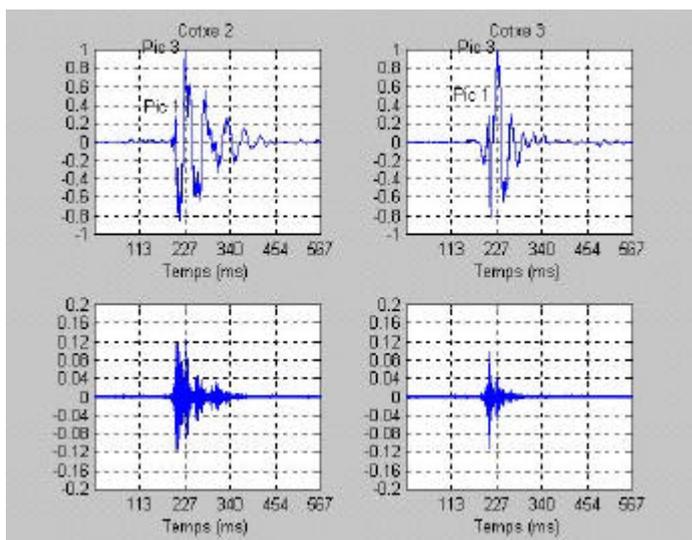


Figura 3

Vehículo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Clasificación	2	10	1	8	3	11	6	5	7	4	9

Tabla 1

En la figura 4 y 5, se muestran los dos ejemplos más contrastados, uno de los mejores y uno de los considerados peores. El coche 1 es uno de los considerados mejores por el público encuestado, mientras que el coche 6 es uno de los peores. En las figuras 4 y 5 se representa una señal tipo correspondiente al cierre de la puerta del conductor. Se puede observar que mientras en el coche 1 se observa claramente la presencia de una baja frecuencia, en el sonido procedente del coche 6 la señal es muy irregular i sin periodicidad aparente, dando a entender que el nivel de baja frecuencia es muy distinto al que presenta la puerta del coche 1.

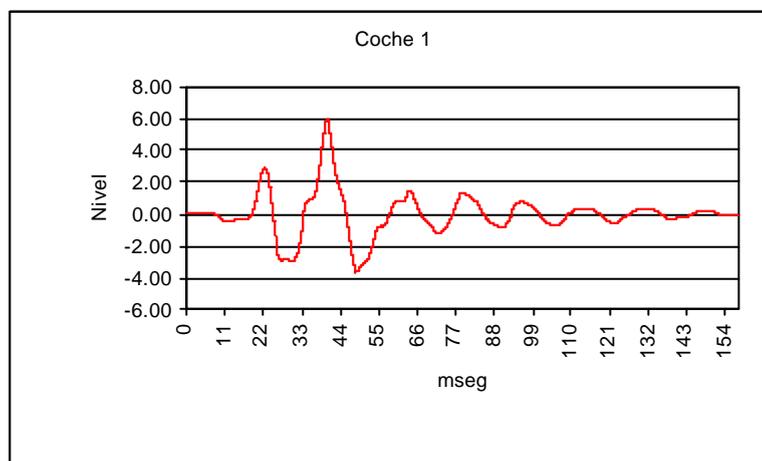


Figura 4

A simple vista cabe destacar que la señal del vehículo 1 tiene un sonido más “limpio” que el del coche 2. El calificativo más utilizado es que el sonido es más “seco” o “compacto”. La compacidad puede venir determinada por la duración del sonido. Sin embargo, se han encontrado muestras de vehículos donde ofrecen tiempos mayores y se consideran más compactos. El coche 6 es el peor clasificado. El sonido del cierre de una puerta nos aporta mucha mas información de la que podemos ver “a primera vista”. Hace falta pues utilizar otras técnicas más avanzadas, que permitan obtener esa información que percibimos pero que no podemos visualizar.

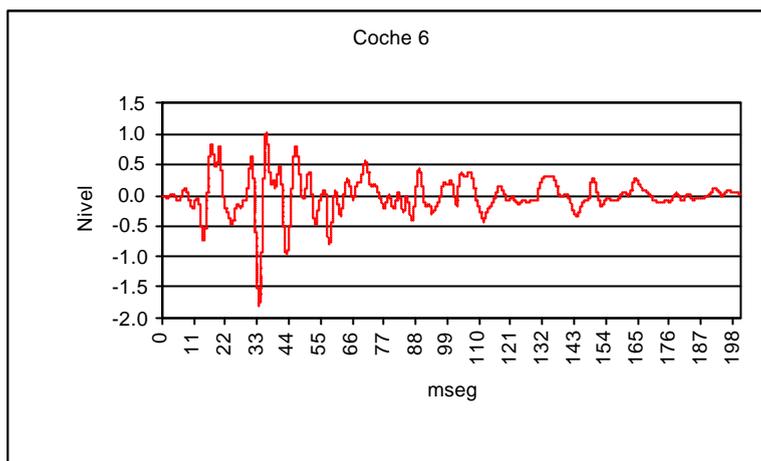


Figura 5

Dada la corta duración de los sucesos, no se pueden aplicar técnicas FFT, para el análisis de la señal. Se recurre al análisis con Wavelets, para ver la distribución espectral del sonido en función del tiempo. La figura 6 muestra el análisis de wavelet correspondiente al coche 1. Como era de esperar por la forma temporal de la señal, la mayor energía se la lleva la baja frecuencia.

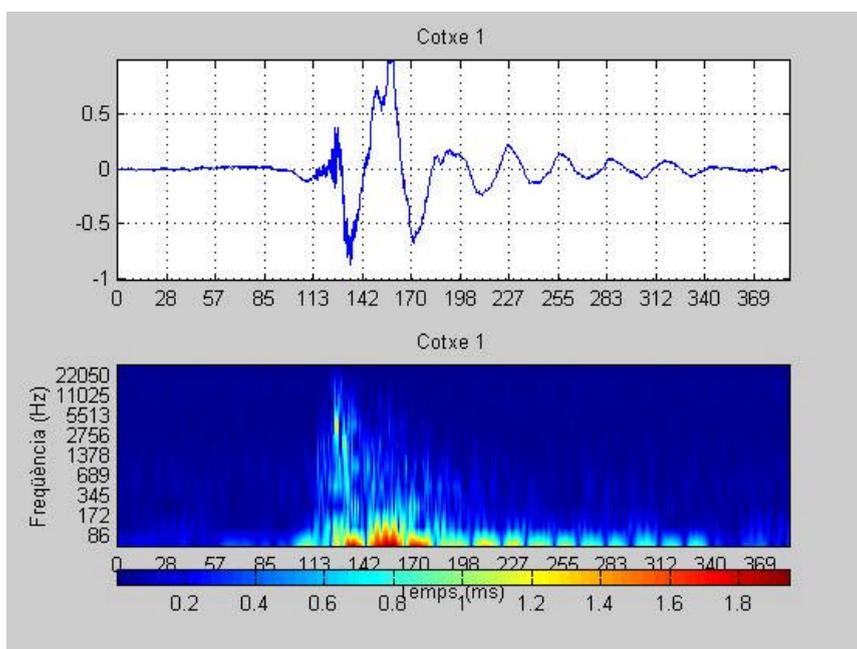


Figura 6

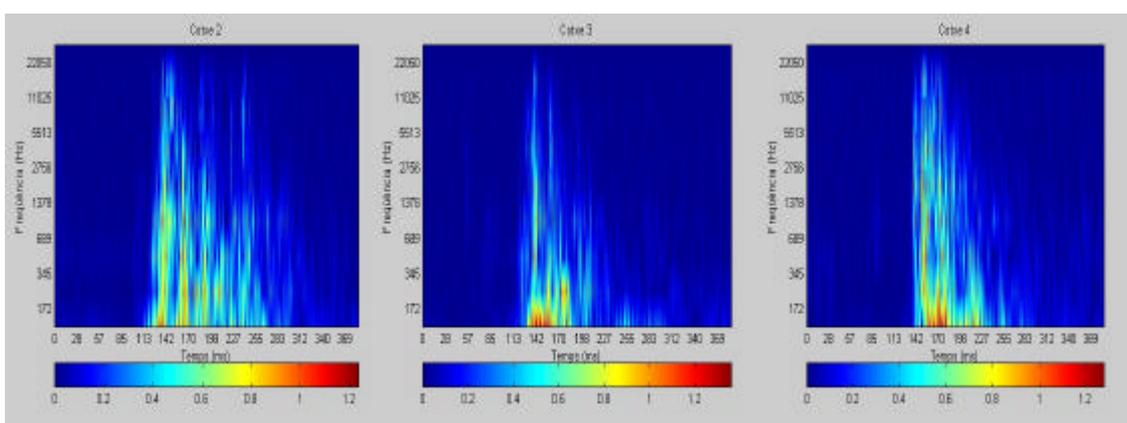


Figura 7

Se puede apreciar la correspondencia entre la evolución temporal y el sonograma obtenido. En la figura 7, se muestran otros cierres de vehículos para compararlos. Se observa que hay diferencias bien evidentes. A partir de los resultados de la encuesta, notamos que una duración demasiado larga se penaliza por el jurado. También la presencia en exceso de la alta frecuencia se valora de forma negativa. Aunque la imagen gráfica es ilustrativa de las diferencias, no tenemos ningún parámetro que nos cuantifique las diferencias, y por tanto deberemos siempre hechar mano de las pruebas subjetivas para establecer el nivel de agrado de un cierre de puerta.

### **CALIDAD ACÚSTICA.**

El objetivo que perseguimos es crear un sistema que de forma más automática, nos permita clasificar los cierres de puertas, sin tener que recurrir a las pruebas subjetivas.

A la vista de los resultados anteriores parece bastante claro que no podemos utilizar los sistemas más tradicionales, ya que no nos informa acerca de la calidad del sonido. Para ello se disponen de herramientas específicas: la psicoacústica. El problema de éstos parámetros es que además de no estar estandarizados, no se pueden aplicar para señales no estacionarias, como es nuestro caso. Esto nos obliga a desarrollar nuevas herramientas que nos permitan medir la calidad acústica de un cierre de puerta.

Aplicamos conceptos como el Slew Rate, que nos pueden dar más información sobre la señal temporal. En la figura 8 se muestran algunas de estas pendientes más importantes.

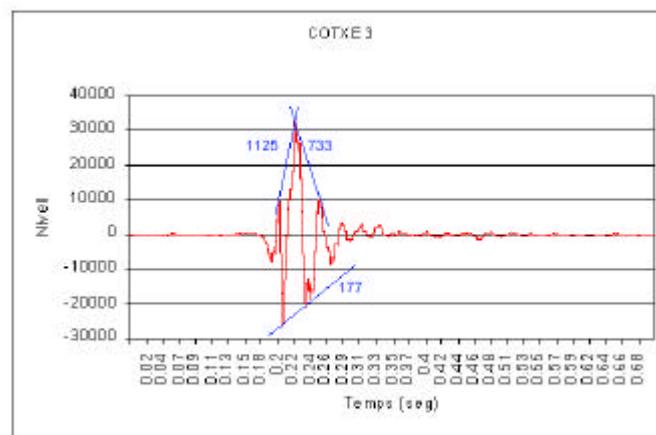


Figura 8

Comparando las distintas pendientes obtenidas por los distintos cierres, con las respuestas subjetivas de la encuesta, se constata que el ángulo que forman las pendientes entre los picos 1-2 y 2-3 se correlaciona bastante con la mejor o peor clasificación. Sin embargo, no encontramos con algún caso en que a pesar de presentar estas mismas características, no sale tan bien parado en la puntuación subjetiva. Ese es el caso del coche 2, con pendientes no iguales pero si muy similares.

Nuestra idea inicial no tuvo pues un buen resultado, y por tanto tuvimos que recurrir a otras opciones. Decidimos analizar por separado las componentes de baja frecuencia y alta frecuencia. Paralelamente, se realiza un análisis estadístico de niveles en ambas bandas. La figura 9 muestra las señales filtradas para baja frecuencia y alta frecuencia. Se observa que no son coincidentes en el tiempo, debido a que durante el suceso, lo primero que entra en contacto es la cerradura de la puerta con el anclaje de la carrocería del coche. Cabe destacar también que la duración en tiempo del contenido de baja frecuencia es en la mayoría de los casos, superior a la duración de la alta frecuencia. Lo anterior lo podemos ver en dos casos bien distintos representados en la figura 9.

A la izquierda se muestra uno de los vehículos mejor puntuados, y a la derecha uno de los peores. Se destacan dos diferencias básicas. En la baja frecuencia en contenido tonal es más puro en el primer caso que en el segundo. En la alta frecuencia, se observa un mayor contenido en el cierre de la derecha que en el de la izquierda.

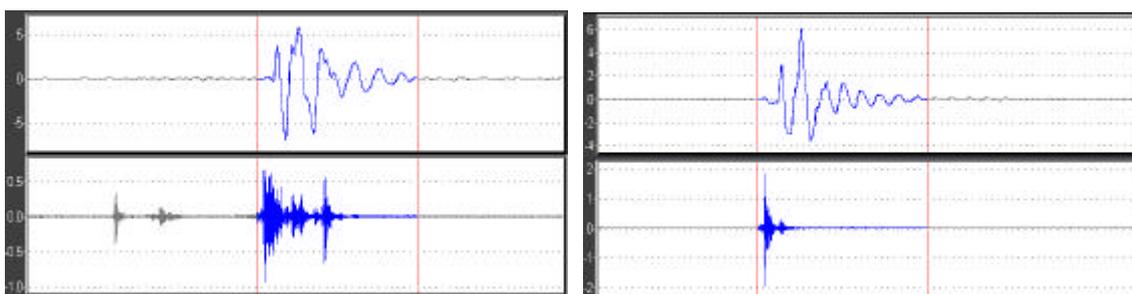


Figura 9

### ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL

Para clasificar un sonido en función de las preferencias de los usuarios, hay que utilizar nuevas técnicas basadas en el análisis multidimensional. Estos análisis se basan en la simultaneidad de distintos parámetros valorados de forma conjunta. Con ello se pretende reflejar lo que de forma natural hacemos cuando escuchamos un sonido y debemos juzgarlo. Nadie nos ha enseñado "a priori" que el sonido de cierre de puerta es mejor o peor, y sin embargo podemos clasificar estos sonidos, según nuestro gusto particular. En la figura 10, se muestra el resultado preliminar de un análisis multidimensional donde se relacionan las duraciones del TBF y del TAF.

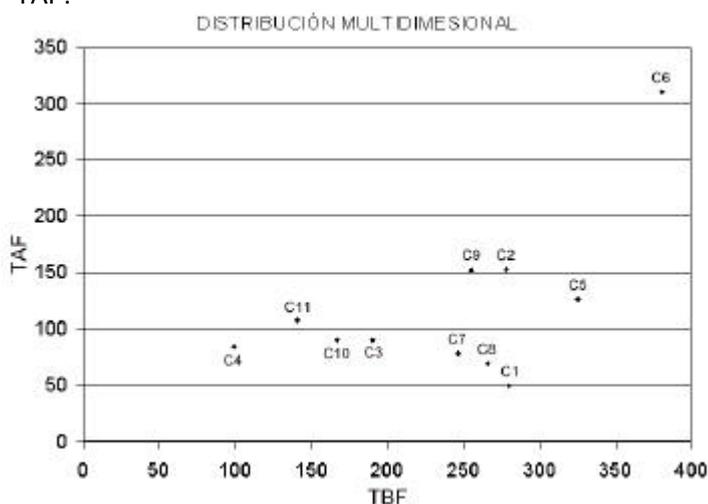


Figura 10

Hay que destacar que lamentablemente, los resultados reflejados en ésta gráfica tampoco son tan buenos como nos esperabamos, ya que algunos vehículos como el C11 bastante malo, está cercano al C3, considerado el mejor. A partir de estos resultados parciales, se ha decidido aplicar un concepto aplicado al índice LS: la influencia de la distribución estadística en el grado de molestia.

Analíticamente, la curtosis es de gran utilidad para valorar la forma de la distribución estadística.

Aprovechando éste indicador, ponderamos cada una de las bandas con su curtosis correspondiente obteniéndose la gráfica de la figura 11. En ella se ha representado el área de preferencia en cuanto a la calidad acústica del cierre de puertas. Se define así mismo una distancia matemática entre el punto óptimo, y cada uno de los coches. Se ha optado por la distribución elíptica por ser una figura geométrica simple, y que en principio, se ajusta bastante bien a las respuestas subjetivas del jurado.

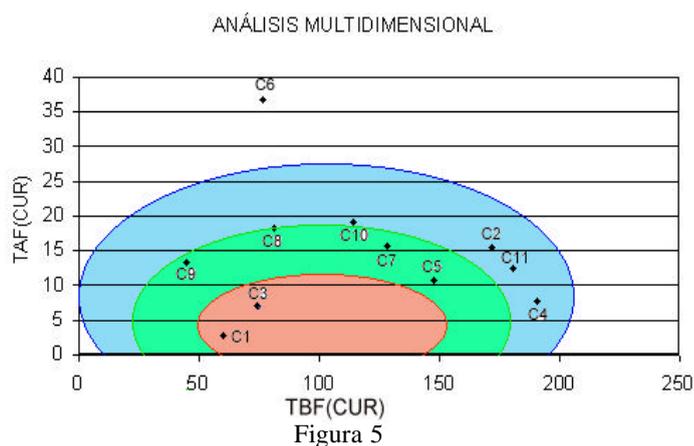


Figura 5

### CONCLUSIONES

Las técnicas clásicas de análisis no sirven para valorar la calidad acústica de un sonido.

Se ha desarrollado un nuevo método de análisis basado en la distribución energética por bandas, ponderada con su valor de curtosis correspondiente.

Se precisa de un mayor número de mediciones con mayor número

**ACÚSTICA  
2000**

**TECNIA**  **ACUSTICA**  
MADRID - 2000

de casos distintos, para obtener  
unos resultados más fiables.