

## Absorción de los resonadores de Helmholtz

OCTAVIO DOMENECH, LLUISA CABEZAS, DANIEL PIELLA, ESTER SANS y ROBERT BARTI

DEPARTAMENTO DE ACÚSTICA INGENIERIA LA SALLE. UNIVERSIDAD RAMON LLULL  
Pg. Bonanova, 8. 08026 Barcelona. e-mail: rob@els.url.es

### INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es valorar la absorción acústica del resonador de Helmholtz en diversas agrupaciones, de tal manera, que se establezca un criterio de relación entre la absorción que se desea conseguir en una determinada banda frecuencial, y el número de resonadores concretos que se precisan para conseguirla, así como la manera de colocarlos.

### QUE ES UN RESONADOR DE HELMHOLTZ

El resonador acústico consiste en una cavidad de paredes rígidas que comunica con el exterior por un conducto estrecho, en cuya boca inciden las ondas sonoras.

Este está constituido por:

- Un elemento de rigidez: el aire comprendido en un volumen  $V$ .
- Un elemento de masa: el aire del cuello que se desplaza sin compresión.
- Un elemento de resistencia: el aire que rodea el resonador donde se disipa el sonido.

Al penetrar la onda sonora por el cuello, excitará al aire encerrado en la cavidad, que actuando como medio elástico, emitirá energía en función de la respuesta del resonador. La respuesta del sistema tiene una frecuencia de resonancia:

$$f_s = 1 / 2 \pi \sqrt{C_a M_a} \quad C_a = V / \rho c^2 \quad M_a = \rho l' / S_{\text{cuello}} \quad l' = l_{\text{cuello}} + 0.6r_{\text{cuello}}$$

La absorción de los resonadores es debida a la cancelación de las ondas y a la difusión del sonido que producen.

### MEDIDAS REALIZADAS

Como modelo de resonador de Helmholtz se ha escogido la botella de cava standard.

La frecuencia de resonancia de la botella se ha medido mediante un analizador de espectros al que llegaba la señal de un pequeño electret introducido en la botella, el cual captaba el ruido blanco que llegaba al interior de la botella. El ruido se producía a través de un generador que a través de un amplificador daba señal a un altavoz. La absorción de los resonadores se ha realizado mediante el método de la cámara reverberante, según el cual se mide el tiempo de reverberación en la sala con y sin la muestra. La absorción de la muestra es:

$$\alpha_{\text{botellas}} \cdot S_{\text{botellas}} = \frac{60V}{1,086c} \left[ \frac{1}{TR60_{\text{salaconbotellas}}} - \frac{1}{TR60_{\text{sala vacia}}} \right] + \alpha_{\text{sala vacia}} S_{\text{botellas}}$$

$$TR60 = \frac{60V}{1,086c (S \cdot \alpha + 4mV)}$$

En realidad la fórmula utilizada es más complicada, puesto que para más precisión se ha de tener en cuenta la absorción debida al aire, sabiendo que es una sala poco absorbente y que la influencia es mayor cuanto más subimos en frecuencia.

El tiempo de reverberación TR60, se mide detectando el tiempo transcurrido para una caída de 30 dB de la energía acústica en el interior de la sala, multiplicado por 2. La gráfica de la caída se obtiene por procesado digital en el analizador en modo de evolución temporal (Time-Frequency). El TR60 se mide para las bandas de frecuencia deseadas en anchos de 1/3 de octava, que se especifican al analizador.

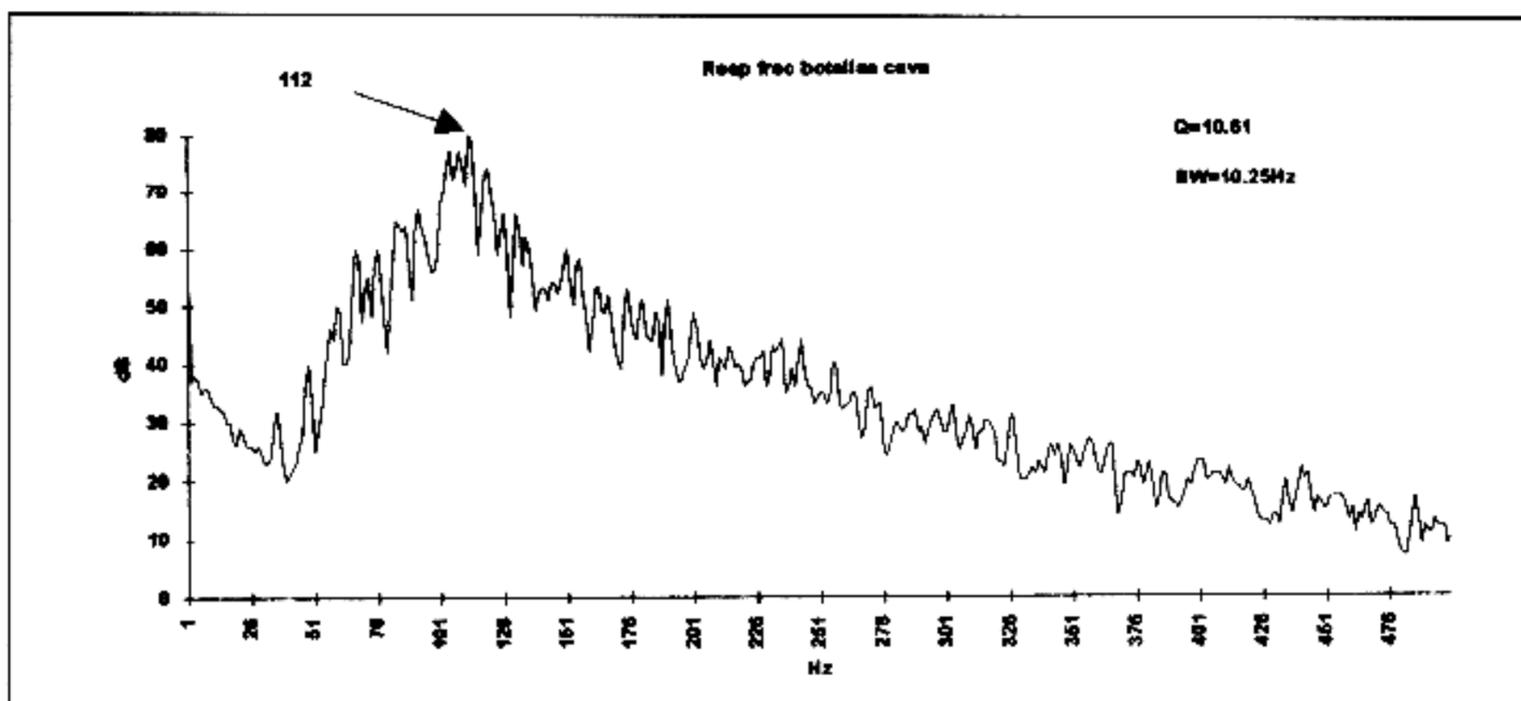
Instrumentación y montaje para las dos medidas:

- Analizador bicanal Advantest R9211C
- Cámara reverberante de  $V = 213\text{m}^3$  y  $S=211\text{m}^2$
- Mic de medida + sonómetro B&K 2235
- Fuente de ruido B&K 4205 y HP 1001

Finalmente los resultados obtenidos se llevan a una hoja de cálculo para aplicar todo el proceso matemático que dará la absorción, y así obtener las gráficas que se verán a continuación.

## RESULTADOS

La frecuencia de resonancia de la botella de cava se sitúa en 112 Hz, siendo su factor de calidad 10,6, lo que da idea de su selectividad, ya que el ancho de banda es de 10,2 Hz:

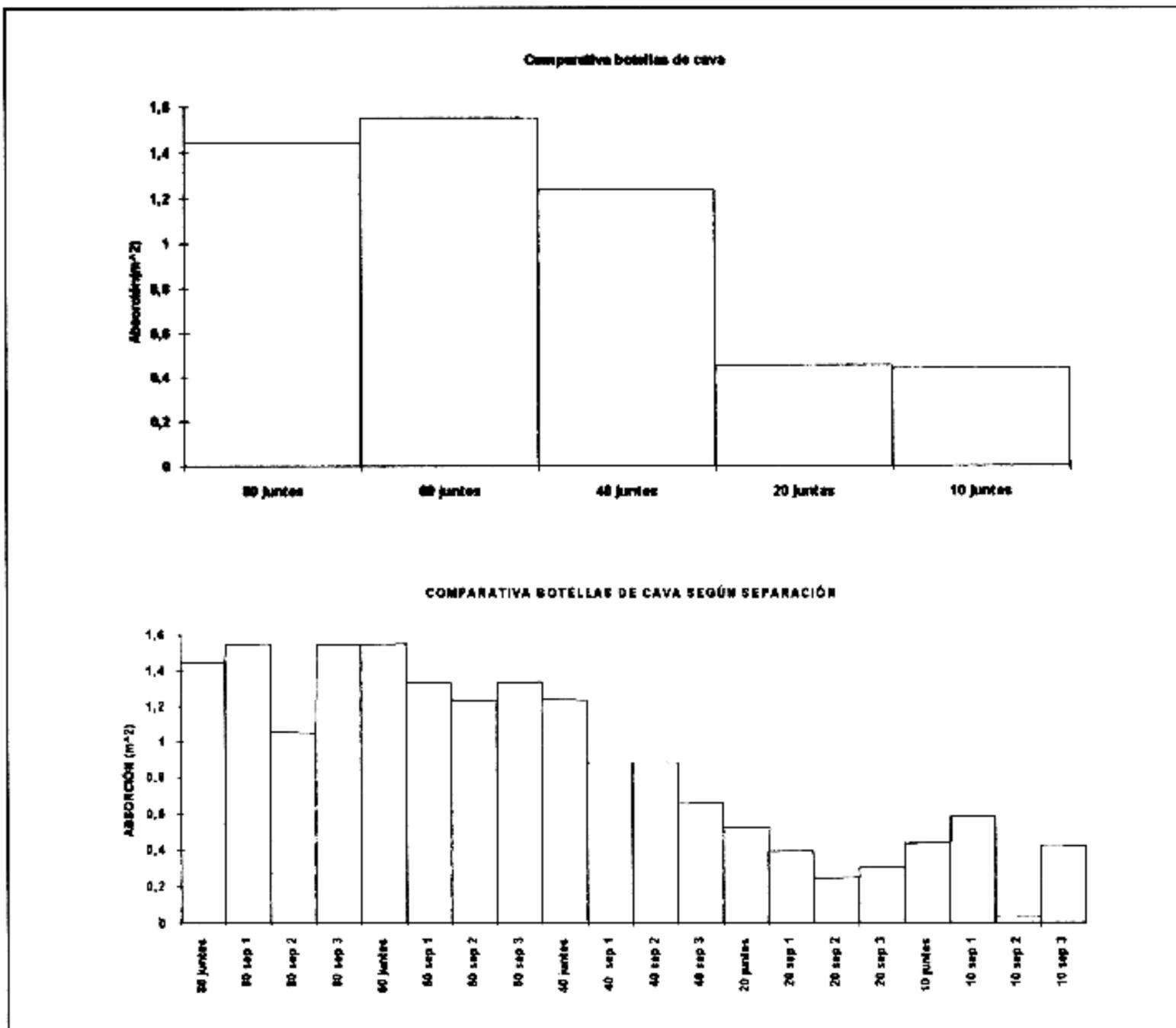


Se han dispuesto grupos de botellas en diferente cantidad y separación entre botella y botella. De esta manera se ha medido la absorción para los tercios de octava de 100 a 10 KHz y se ha podido comprobar que las diferencias son significativas únicamente a la frecuencia de resonancia de la botella. Por esta razón se ha restringido el estudio al tercio de octava centrado en 100 Hz, el cual está entorno a la frecuencia de resonancia de la botella de cava.

Las gráficas presentan un decrecimiento de absorción con la cantidad de botellas, observándose excepciones a esta regla y un comportamiento diferente según la colocación de las botellas aunque se mantenga su número. Ante unos resultados relativamente inconexos, se han realizado diversas verificaciones:

- Con objeto de promediar los posibles errores de las medidas, debidos al campo difuso no ideal de la cámara reverberante y a los modos propios de la sala, se han realizado 10 medidas de TR60 en distintos puntos tanto del micrófono como de la fuente y se ha obtenido la media descartando los valores extremos. El resultado de esta verificación son las gráficas arriba presentadas.
- Medida del tiempo de reverberación mediante instrumentación analógica convencional (sonómetro, filtros, registrador gráfico) y sustitución de la fuente de ruido rosa, así como del altavoz. El resultado de esta verificación ha sido igual a las medidas iniciales, por lo que se ha vuelto al sistema digital por comodidad.

- Substitución del resonador de Helmholtz modelo de la botella de cava por la botella de vino de medio. El resultado es el tema del siguiente apartado.



### COMPARACION DE RESONADORES

La botella de vino de medio, al contrario que la de cava, presenta una transición cuello-cuerpo más brusca, por lo que los elementos que caracterizan al resonador de Helmholtz quedan mejor definidos. La frecuencia de resonancia de la botella de vino de medio se sitúa en 175 Hz, siendo su factor de calidad 15.1, lo que da idea de su selectividad, ya que el ancho de banda es de 11.5 Hz:

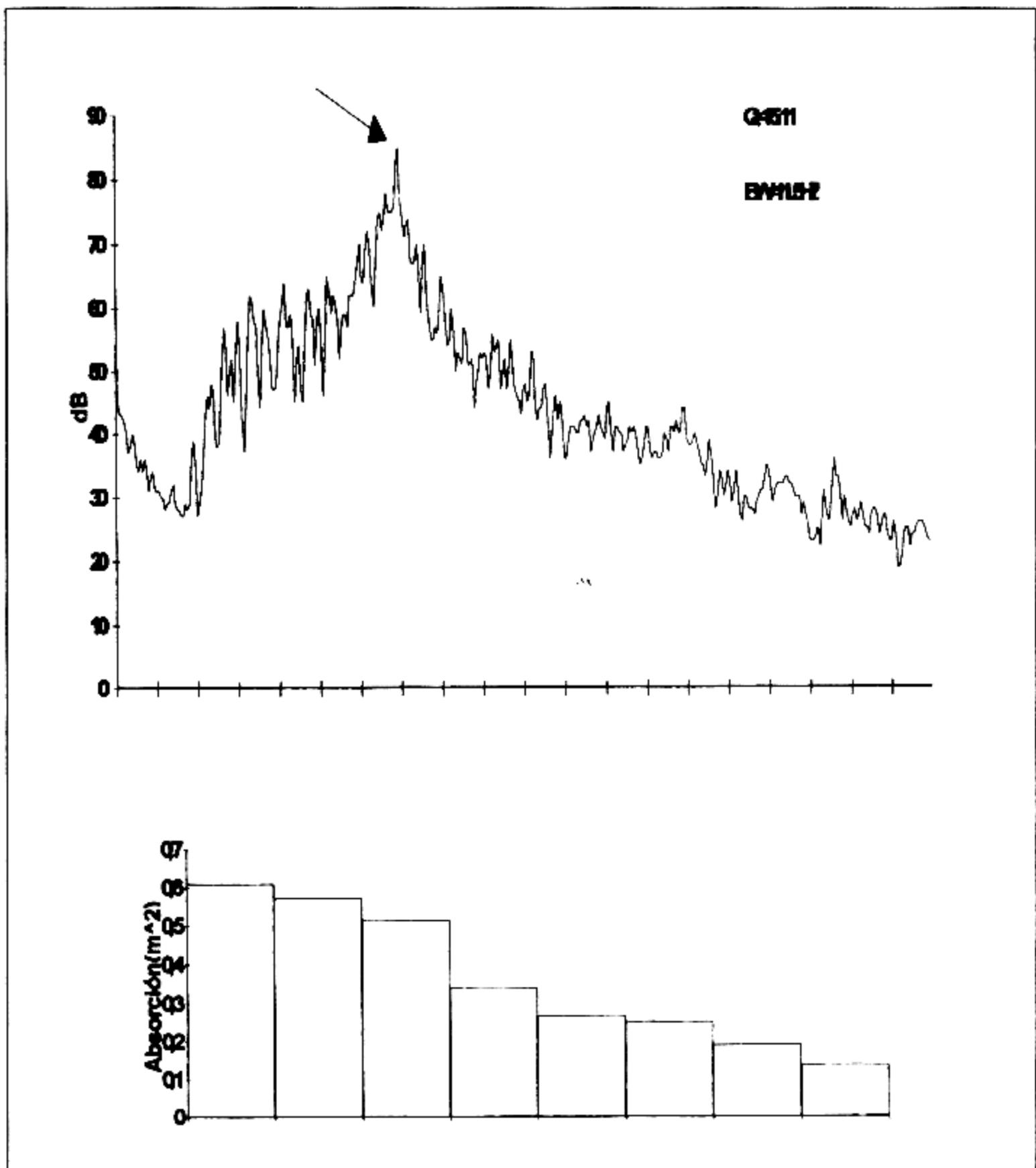
El TR60 se mide ahora centrado en el tercio de octava de 175 Hz, reprogramando los filtros del analizador digital Advantest.

Las mismas medidas realizadas con esta botella dan como resultado la independencia de la absorción según la colocación de un mismo número de botellas; en cuanto al número de botellas, presenta más absorción a mayor número según la gráfica:

### JUSTIFICACION DE LAS DIFERENCIAS

**Hipótesis:** La botella de cava tiene una estructura aproximada a la de un resonador de Helmholtz. El cuello se va abriendo progresivamente hasta llegar al elemento de volumen. Puesto que el elemento de masa depende de la longitud y desplazamiento, el cual aumenta a mayor presión sonora. Si la masa acústica varía, la frecuencia de resonancia variará y la caída de energía sobre la cual se medirá el TR60 se verá modificada.

**Experimentación:** Se sitúan 10 botellas en la cámara reverberante, alternativamente de cava y de vino. En estas condiciones, que son las mismas en las que se media la absorción, se coloca un micrófono electret en una de las botellas para medir la frecuencia de resonancia. Se mide la frecuencia de resonancia para un nivel alto de ruido, para -10, -20 y -30 dB. Con ello se espera poder detectar una variación de la resonancia en función del desplazamiento.



**Resultado:** La frecuencia de resonancia no varía en ningún caso, para las dos botellas. La hipótesis no explica las diferencias entre las dos botellas y demuestra que la botella de cava sí que es un buen modelo de resonador de Helmholtz.

**2ª hipótesis:** El campo difuso de la cámara reverberante es más imperfecto para la resonancia de la botella de cava (112Hz) que para la resonancia (175Hz) de la de vino. Esto explicaría la dispersión de resultados del TR60. El error se corregiría, en este caso, haciendo muchas más medidas para promediar.

**Experimentación:** En la cámara reverberante vacía se toman 10 puntos de medida aleatoriamente y se mide el nivel SPL para los tercios de 100 y 175 Hz. Examinando la dispersión de resultados a lo largo de 12 segundos y comparando los dos tercios se espera hallar mayor variancia en 100 Hz.

**Resultado:** Se ha obtenido una varianza media para los 10 puntos: 100 Hz de 0,425 y 175 Hz de 0,309. Esto confirma la hipótesis: el campo difuso se cumple menos para la frecuencia de resonancia de la botella de cava. Para mayor seguridad se ha medido la varianza media también para el tercio de 315 Hz (más alta frecuencia) y se ha obtenido 0,185, por tanto el campo difuso mejora al subir en frecuencia. *En definitiva la dispersión de valores de un campo difuso imperfecto ha dado unos valores de TR60 más erráticos, generando unas absorciones más inconexas para la botellas de cava que para las de vino.*