



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SONORA DE
ELECTRODOMÉSTICOS MEDIANTE PARÁMETROS
PSICOACÚSTICOS

Oscar Toril Muro

Ricardo San Martín Murugarren

Pamplona, a 23 de febrero de 2012

1-Índice

1. Índice	2
2. Objetivos	3
3. Introducción teórica	4
3.1. Calidad del sonido	4
3.2. Métodos de medida de la calidad del sonido	6
3.3. Conceptos previos	7
3.4. Parámetros de la calidad del sonido	8
3.5. Casos prácticos	16
3.6. Análisis sensorial y test subjetivo	17
4. Dispositivo experimental y método operativo	21
4.1. Mediciones con la cabeza binaural	22
4.2. Jury Test en Sound Quality	25
5. Análisis de los resultados	27
5.1. Análisis de PULSE Sound Quality	27
5.2. Análisis de las mediciones	42
5.3. Análisis de los test subjetivos	56
5.4. Comparación	67
6. Conclusiones	70
7. Bibliografía	71
8. Anexo I – Gráficas Loudness/Sharpness/Roughness/FF en electrodomésticos	72
9. Anexo II - Espectros de señales predefinidas	125
10. Anexo III – Hoja de vaciado del test subjetivo	131
11. Anexo IV – Tablas de los tests subjetivos	133

2-Objetivos

Determinar la calidad del sonido de sonidos generados por electrodomésticos mediante parámetros psicoacústicos como Loudness, Roughness, Sharpness y Fluctuation Strength.

Evaluar, por medio de test psicoacústicos, el grado de fiabilidad de los descriptores utilizados para reflejar, en términos de sonido agradable o desagradable, las propiedades de la percepción humana.

Descripción del PFC

La psicoacústica estudia la percepción subjetiva de las características del sonido. Estrechamente ligada a las peculiaridades del sistema auditivo humano, intenta establecer la relación existente entre el estímulo de carácter físico y la respuesta de carácter psicológico que el mismo provoca. En la industria, el ruido que emite un producto forma parte de la comunicación que se establece entre un producto y su usuario. Éste debe resultar agradable además de reflejar la funcionalidad y potencia del producto. En los últimos años se ha impuesto el desarrollo de la “calidad del sonido” como un parámetro más en el diseño de un producto. El objetivo consiste en optimizar el sonido de cada producto de forma que satisfaga al grupo de consumidores destinatarios del mismo, cuyas preferencias no son uniformes y además varían con el tiempo y la moda.

Es una disciplina fundamentalmente empírica donde se obtienen resultados mediante análisis estadísticos de tests subjetivos. Sin embargo, diferentes investigadores han desarrollado métodos que permiten evaluar diferentes propiedades de un sonido mediante descriptores como sonoridad (loudness), aspereza (roughness), agudeza (sharpness), fuerza de fluctuación (fluctuation strength). Tan sólo la obtención de uno de estos descriptores (loudness) está estandarizada. El resto se encuentran actualmente en proceso de verificar su fiabilidad y ser normalizados.

En este contexto se enmarca el objetivo de este PFC, donde se pretende, por un lado, diseñar un sistema de medida propio de parámetros psicoacústicos relacionados con la calidad del sonido de electrodomésticos y, por otro, evaluar su fiabilidad mediante comparación con programas comerciales de análisis y la realización de tests psicoacústicos.

3-Introducción teórica

3.1-Calidad del sonido

La calidad de sonido de un producto cada día tiene una importancia mayor en la evaluación de la calidad de un producto. Para la venta de productos no solo es importante el nivel sonoro sino también la calidad de ese sonido. En industrias como la automovilística o la de electrodomésticos, ya se han empezado a utilizar técnicas de mejora de la calidad de sonido porque un sonido adecuado puede llevar a aumentar las ventas.

Calidad de sonido es cómo un sonido debe de sonar, evaluado por parte de los consumidores. Hay muchos factores en el proceso de evaluación de la calidad de sonido [1]. No solo se deben utilizar mediciones tradicionales para evaluarla.

La calidad de sonido es un concepto muy importante del diseño en las industrias del automóvil y de audio. Los estudios de mercado en estas áreas pueden demostrar una relación entre los conceptos de sonido y conceptos no relacionados con el sonido por ejemplo: lujo, potencia, velocidad, seguridad, etc, haciendo que el sonido de un producto sea importante en su fabricación [3].

Algunas empresas con interés en la calidad del sonido han creado métodos para evaluarla [2, 4, 5, 6]. El sonido a evaluar se presenta ante un jurado que expresa una opinión, ya sea mediante la comparación de productos varios sonidos entre sí, o cuantificando con un cuestionario algún aspecto del sonido (volumen, molestia, etc). A su vez se miden los parámetros cuantificables del sonido. Se procesan los datos para determinar el sonido óptimo del producto. Con estos datos, el diseñador puede volver al diseño del producto y hacer los cambios necesarios para dar como resultado un producto con mejor sonido.

Antes de la construcción de un prototipo, el sonido puede ser simulado a partir del conocimiento de las propiedades acústicas de los materiales que se utilizarán en su construcción. Después de que ha sido construido el prototipo, se consigue un sonido más realista, que se puede grabar para su posterior edición. Por último, para saber si el proceso ha sido satisfactorio se podrían medir las ventas, y compararlas con los productos no tratados acústicamente. El conocimiento de las propiedades acústicas de los materiales en un producto, también podría utilizarse para producir sonidos simulados más realistas.

La mayoría de parámetros de calidad de sonido se pueden dividir en los que cuantifican algún aspecto físico del sonido (nivel de presión, respuesta en frecuencia) y los que tratan de cuantificar algunos efectos físicos que tienen lugar en el oído (impresión de fuerza, tono, etc).

Productos como monitores de PC, pantallas de plasma o aparatos que contienen en su interior equipos de sonido, están sometidos a pruebas de audio. Pero cada vez más, se hacen pruebas a aparatos como: cortadoras de césped, sopladores de hojas, lavadoras, secadoras, refrigeradores, cocinas, pequeños electrodomésticos, tales como: aspiradoras, batidoras, microondas, calentadores o ventiladores. Dado que muchos de estos productos tienen múltiples fuentes de sonido, y tienen un sonido que cambia con el tiempo durante su funcionamiento, se debe dividir la prueba de la calidad de sonido en diferentes partes.

Tipos de sonidos

Una forma de dividir el sonido del producto, es dividir los diferentes tipos de sonidos emitidos por el producto, de acuerdo a cuatro categorías principales [5]:

-**Pasivos** son los sonidos que se producen "cuando el producto se toca (golpeado, presionado, etc)". Estos sonidos no están incluidos como parte de los sonidos generales de funcionamiento de la máquina (tocar o golpear el producto, abrir y cerrar sus puertas, etc). Esto puede ser algo que al usuario puede hacerle cambiar su idea sobre un producto antes de comprarlo.

-**Sonidos de funcionamiento** son generados por el producto "cuando se encuentra en una parte determinada de su ciclo (lavado, aclarado, centrifugado, etc.) Los sonidos pueden variar con las diferentes etapas del ciclo. Estos son los sonidos que la máquina hace durante un largo período de tiempo y nos advierten sobre el estado de la máquina (por ejemplo, que funciona correctamente, o que la máquina está funcionando actualmente). Son los sonidos a evaluar en este proyecto.

-**Sonidos de acción** son los sonidos que la máquina puede hacer en un determinado momento, por ejemplo: cuando se pasa de lavado a aclarado en una lavadora. Esta producido por el funcionamiento interno de la maquina.

-**Sonidos de señal** incluyen ejemplos tales como un 'ping' cuando el microondas ha acabado o, el "pitido" de pulsar un botón, el ruido se ha diseñado intencionadamente para indicar al usuario de que algo está sucediendo, o que algo ha terminado. Estos últimos sonidos son particularmente importantes para los discapacitados visuales.

Otra forma de dividir el sonido, es cuál es la fuente de sonido del producto. Esto tiene que ver con las diferentes velocidades de funcionamiento, materiales, aislamiento acústico, control activo de ruido y de sonido, etc. Los diseñadores deben tener en cuenta técnicas de enmascaramiento para reducir estos sonidos agregando ruido extra para enmascarar ruidos impulsivos o filtros físicos que reduzcan estos picos en frecuencias. Esto anticipa un posible problema en el diseño. El ruido blanco puede ser inalcanzable dadas las limitaciones de los gastos del diseño de productos pequeños, así que se las empresas hacen un esfuerzo limitado en la calidad del sonido en cuanto a presupuesto.

En el pasado, los diseñadores de maquinas que se han fijado en el sonido han intentado reducir al mínimo el ruido generado por un producto. La suposición aquí es que cuanto menor nivel de ruido, mejor. Sin embargo, este principio de diseño no siempre funciona. En algunos casos, puede ser imposible bajar mucho el nivel de ruido, dadas las limitaciones de presupuesto. Tal vez la única manera de bajar el nivel de ruido es hacer un producto que emita el menor ruido (reduciendo la fricción por ejemplo). En otros casos, reducir el nivel de sonido puede ser perjudicial para su venta. Un ejemplo puede ser un soplador de hojas con un nivel de ruido bajo. Un nivel bajo de ruido puede significar baja potencia o ineficacia. En este tipo de casos, un fabricante no debe centrarse únicamente en la potencia sonora, sino en los detalles del sonido. Tal vez la solución sería diseñar un soplador con un nivel de ruido bajo, pero que suene "potente".

Esencialmente, estamos cambiando el sonido de un producto para aumentar la satisfacción del cliente y así aumentar las ventas. Un ejemplo común es el cierre de las puertas de un coche. Los

fabricantes de automóviles se dieron cuenta de que una parte importante de la impresión de un comprador sobre un coche podía ser el sonido de cierre de la puerta, la primera cosa que se hace en un coche es abrir la puerta. Por ello los fabricantes de coches se han esforzado en hacer que sus coches parezcan más robustos y seguros mejorando la calidad de sonido en los cierres de puertas.

3.2.-Métodos de medida de calidad del sonido

Métodos subjetivos

Hay diferentes formas de realizar pruebas subjetivas. Los oyentes pueden ser seleccionados para realizar una variedad de escuchas y se pueden preparar para la prueba de diferentes maneras, ya sea como de oyentes ingenuos o como oyentes que están entrenados para las pruebas. Las pruebas informales, por ejemplo, tienen como fallo la falta de un entorno "estándar" para escuchar. Esto puede tener como inconveniente la repetibilidad de las pruebas. Por otro lado este tipo de pruebas son rápidas, fáciles y baratas de realizar.

Dependiendo de la complejidad que se le quiera dar a la medida, se pueden realizar mediciones de los umbrales de audición a los sujetos. Otra forma de realizar las pruebas es utilizando oyentes expertos o ingenuos. A los oyentes ingenuos se les dará cuestionarios de comparaciones de sonidos (más sencillos) y los oyentes capacitados se les podrán dar unos cuestionarios más avanzados (calificación de sonidos, etc). Se debe entrenar a los oyentes expertos, si son necesarios.

El método experimental puede realizarse de diferentes formas. Una forma puede ser, establecer una serie de adjetivos para la calificación del sonido (por ejemplo, suave, potente y duro) y explicar con ejemplos, las diferentes calificaciones. La comparación de pares de sonidos requiere breves trozos de sonido, de unos segundos. Los resultados de una prueba pueden ser marcados en una escala graduada o resultados tipo test (sí / no, mejor / peor).

El entorno en el que se realizan las pruebas y el procedimiento de prueba pueden alterar los resultados finales, por lo que es importante definir estos entornos y procedimientos adecuadamente antes de la prueba. El procedimiento de la prueba y su entorno debe ser el mismo para cada sujeto.

El sonido de un objeto depende de la fuente, y los alrededores. Por ejemplo, en el caso más simple, si la fuente de ruido original se presenta en una cocina, cambiarlo de ubicación sería perjudicial para la prueba. También puede haber problemas de logística, si la fuente es grande y/o requiere accesorios especiales como en el caso de una lavadora.

Al grabar un sonido hay muchas opciones, cada una con sus pros y contras. La fuente puede ser registrada y luego presentada monoauralmente a un usuario (por los auriculares), que es una opción relativamente barata y sencilla. En este caso no hay información de dirección de la fuente, lo que puede alterar la percepción del sonido. Para conservar la información de dirección de la fuente, puede ser grabado usando un micrófono estéreo, una cabeza binaural, o incluso un conjunto de micrófonos. La posición del micrófono durante la grabación también es importante. La grabación del sonido puede ser presentada por el altavoz o por auriculares, que evitarían el problema de los altavoces quitando la función de transferencia de la sala, pero la respuesta de frecuencia de los auriculares debe ser tenida en cuenta. Otra opción sería grabar los sonidos en cámara anecoica, pero no se tendría en cuenta el entorno en el que se usan los objetos.

Métodos objetivos

Hoy en día hay una amplia gama de herramientas de procesamiento de señales disponibles en el mercado para cuantificar objetivamente la calidad de sonido.

La mayoría de los parámetros de medida de calidad de sonido incluidos en estas herramientas aún no se han normalizado y se encuentran en un permanente estado de actualización.

Una de las herramientas de medida de calidad de sonido es el PULSE. Es una herramienta que mide, evalúa y es capaz de editar parámetros de calidad de sonido. El software ofrece diferentes opciones de edición, así como filtros para ver como quedan las medidas de calidad una vez filtradas.

3.3-Conceptos previos

Para una comprensión mejor de los parámetros a evaluar se explicarán varios conceptos previos que se mencionarán más adelante.

Escala Bark

La escala Bark es una escala psicoacústica.

La escala tiene un rango del 1 al 24 y corresponde a las primeras 24 bandas críticas del oído.

*Critical bands (from
Zwicker, 1961)*

Number	Center frequencies (Hz)	Cut-off frequencies (Hz)	Bandwidth (Hz)
1	50	100	80
2	150	200	100
3	250	300	100
4	350	400	100
5	450	510	110
6	570	630	120
7	700	770	140
8	840	920	150
9	1000	1080	160
10	1170	1270	190
11	1370	1480	210
12	1600	1720	240
13	1850	2000	280
14	2150	2320	320
15	2500	2700	380
16	2900	3150	450
17	3400	3700	550
18	4000	4400	700
19	4800	5300	900
20	5800	6400	1100
21	7000	7700	1300
22	8500	9500	1800
23	10 500	12 000	2500
24	13 500	15 500	3500

Fig.1. Bandas críticas (Barks)

Para convertir una frecuencia f (Hz) a f (Bark):

$$F(\text{Bark}) = 13 \arctan(0.76 * f(\text{Hz}) / 1000) + 3.5 \arctan((f(\text{Hz}) / 7500)^2)$$

Modulación de señales

Una modulación típicamente se trata de una onda portadora, típicamente sinusoidal, a la que se hace variar según la aplicación que se quiera tener. Las modulaciones AM (modulación de amplitud), FM (modulación de frecuencia) y PM (modulación de fase) son tres tipos de modulaciones analógicas.

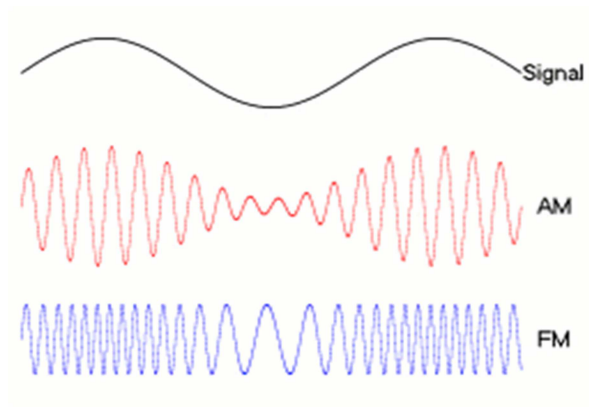


Fig.2. Ejemplos de Modulaciones

3.4.-Parámetros de calidad del sonido

Hay un gran número de parámetros referentes a la calidad del sonido, sin embargo, pocos de ellos están estandarizados, y su utilidad a la hora de medir depende de la naturaleza del sonido a medir. Los fabricantes que quieren realizar pruebas de la calidad de sonido de ciertos productos, en ocasiones desarrollan sus propios parámetros [3, 10].

La elección del parámetro de calidad del sonido a aplicar, depende del estudio que se realice. Un solo parámetro puede no indicar la calidad del sonido en su conjunto y de hecho, puede que para ciertas aplicaciones no exista el parámetro que pueda cuantificar adecuadamente una impresión subjetiva. Recientes estudios han demostrado que estas mediciones son en gran medida independientes de lo que puede transmitir un sonido, debido a que la calidad del sonido se suele definir como “lo bien que el sonido de un producto coincide con las expectativas del cliente”.

Veamos una lista de los parámetros más frecuentes:

- *Sonoridad-Loudness*

La intensidad de un sonido es una medida de percepción del efecto del contenido energético del sonido en el oído. Se relaciona con el decibelio (dB), escala logarítmica utilizada para cuantificar el nivel de potencia y el nivel de intensidad del sonido. Duplicar la potencia acústica de un sonido, no da lugar a una duplicación de los decibelios, sino a un aumento de 3dB.

Pero la percepción de la sonoridad también depende del contenido frecuencial del mismo. A frecuencias más bajas, menos se percibirá aun teniendo la misma intensidad del sonido.

El uso de este parámetro lo encontramos por ejemplo en la industria del automóvil, utilizado para medir el ruido interior de un coche, el del motor, el del tubo de escape, etc.

Podemos definir este parámetro como: “el nivel de presión sonora de un tono de 1kHz en una onda plana incidente y frontal, que es tan fuerte como el sonido evaluado, y su unidad es el “Phon”. El nivel loudness puede ser medido para cualquier sonido, pero los más conocidos son los niveles de loudness de tonos puros a diferentes frecuencias. Con estos tonos se pueden unir puntos de diferentes frecuencias con la misma sonoridad. Estas pruebas se han hecho en diferentes laboratorios y para duraciones de más de 500ms. Las líneas de igual sonoridad se pueden ver en la figura 1. Debido a la definición todas las curvas deben pasar, en 1kHz, por el nivel de presión sonora en dB equivalente al nivel de sonoridad en phones.

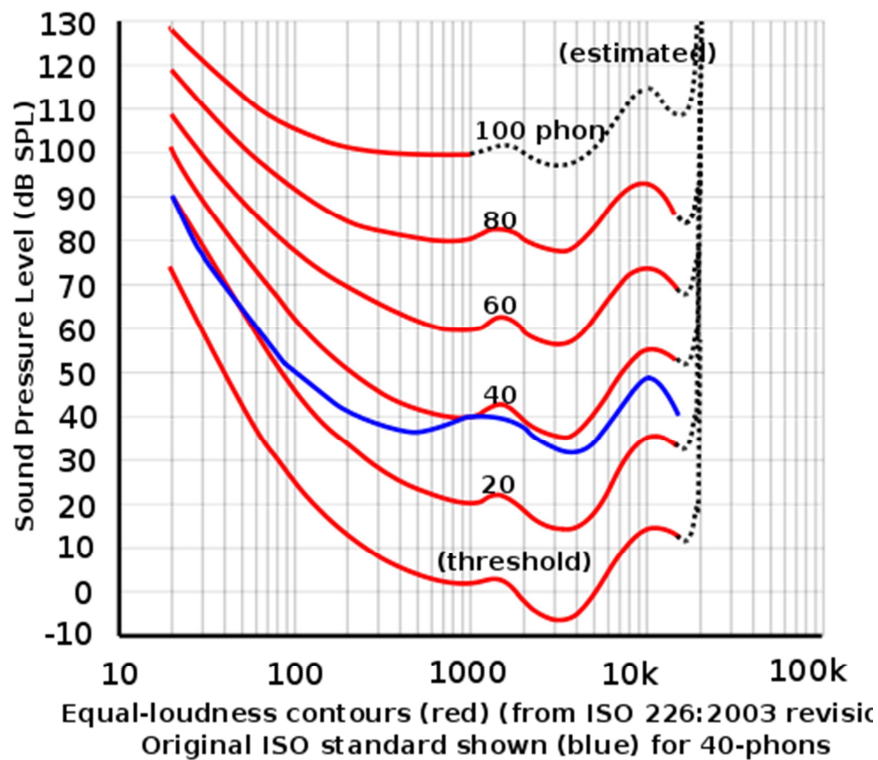


Fig.3. Diagrama que muestra la forma de niveles de igual sonoridad

Podemos vislumbrar mediante esta gráfica, como las frecuencias más bajas requieren de más decibelios para que su sonoridad suene igual de fuerte que uno de 1kHz. Aun así, el cálculo de dicho parámetro, no es tan sencillo como parece. Por ejemplo, 2 tonos que se encuentren en el mismo ancho de banda, no los escucharemos como 2 sonidos independientes, sino que se enmascaran el uno al otro, de manera que el cálculo de la sonoridad se hará más complejo de lo habitual.

Así pues, aunque en la acústica en general, encontraremos el parámetro de la sonoridad expresado en dB(A), una mejor manera de expresarla, sería mediante una correcta aplicación de la banda crítica.

Podemos deducir el nivel en dB para cada banda de tercio de octava, asumiendo que: “un cambio relativo en el volumen, es proporcional a un cambio relativo de intensidad”.

Por lo tanto, los valores de la sonoridad (N') en sone/Bark pueden calcularse mediante una ley de potencias. De esta manera, las curvas de enmascaramiento se pueden construir a partir de estos niveles, representando el efecto de las bandas críticas. El valor final de la sonoridad (N) se calcula mediante la siguiente integral:

$$N = \int_0^{24 \text{ Bark}} N' dz$$

Donde z es la banda crítica (medida en Barks). De todas formas, se ha implementado un programa informático capaz de calcular dicha sonoridad, mediante el llamado “la estructura de Zwicker” de 1984. Aun así, la validez de este programa ha sido puesta en duda para sonidos impulsivos (de duración menor de 200ms), debido a la dependencia subjetiva que existe entre sonoridad, y duración de un sonido.

Relación entre Sones y Phones

El volumen, o sonoridad de un ruido se da en sones. Un sone es equivalente a 40 phones, que es el nivel sonoro de una onda sinusoidal de 40dB-SPL y de frecuencia 1kHz, pero no para un sonido de banda ancha.

Conversión entre Nivel sonoro (L_N , phones) y Sonoridad (N, sones).

-Conversión para valores entre 40 y 120 phones:

$$L_N > 40 \quad N = 2^{[(L_N - 40)/10]}$$

$$N > 1 \quad L_N = 40 + [10 \times \log N / \log_{10} 2]$$

-Conversión para valores entre 8 y 40 phones:

$$L_N < 40 \quad N = (L_N/40)^{2.86} - 0.005$$

$$N < 1 \quad L_N = 40 \times (N + 0.0005)^{0.35}$$

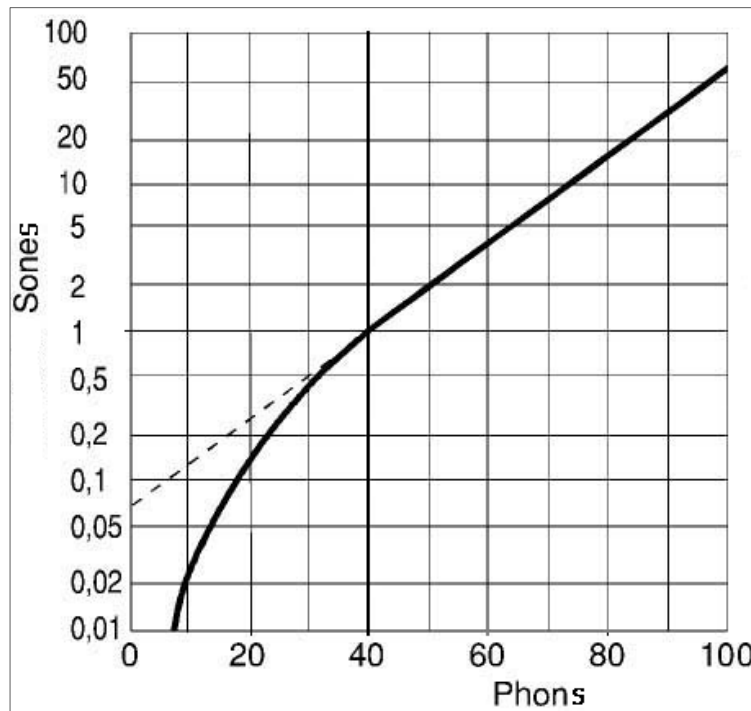


Fig.4. Relación entre Sones y Phones

Como se ha comprobado, es sencillo pasar de una unidad a otra. Pero tanto el nivel de sonoridad, como la presión sonora medida en dB-SPL no se pueden convertir a dBA, ya que no existe fórmula (al menos no una fórmula 100% fiable) para ello. Sólo un tono puro de a 1kHz medido en phones es equivalente a un valor dB-SPL.

- Un sone es parte de la sonoridad.
- Un phon es parte del nivel sonoro.
- dB o dB-SPL es el nivel de presión sonora.
- dBA es una medida simplificada para la evaluación del volumen.

La conexión entre el nivel sonoro (L_N) y la sonoridad (N), es la siguiente:

$$N = 2(L_N - 40)/10 \leftrightarrow L_N = 40 + 10 \times \log_2(N)$$

En acústica, la sonoridad es una medida subjetiva de la presión sonora. Un sone es equivalente a 40 phones. Esta relación se escogió para que a la hora de doblar el número de sones, equivaliera al oído humano como doblar la sonoridad, y que además corresponde a un aumento de 10 dB de la presión sonora (solo para sonidos de 1kHz).

Como se ha comentado anteriormente, no existe manera exacta de convertir sones en decibelios, pero si una fórmula que ayuda a tener una aproximación:

$$dBA = 33.22 \times \log(\text{sones}) + 28 \pm 2 dBA$$

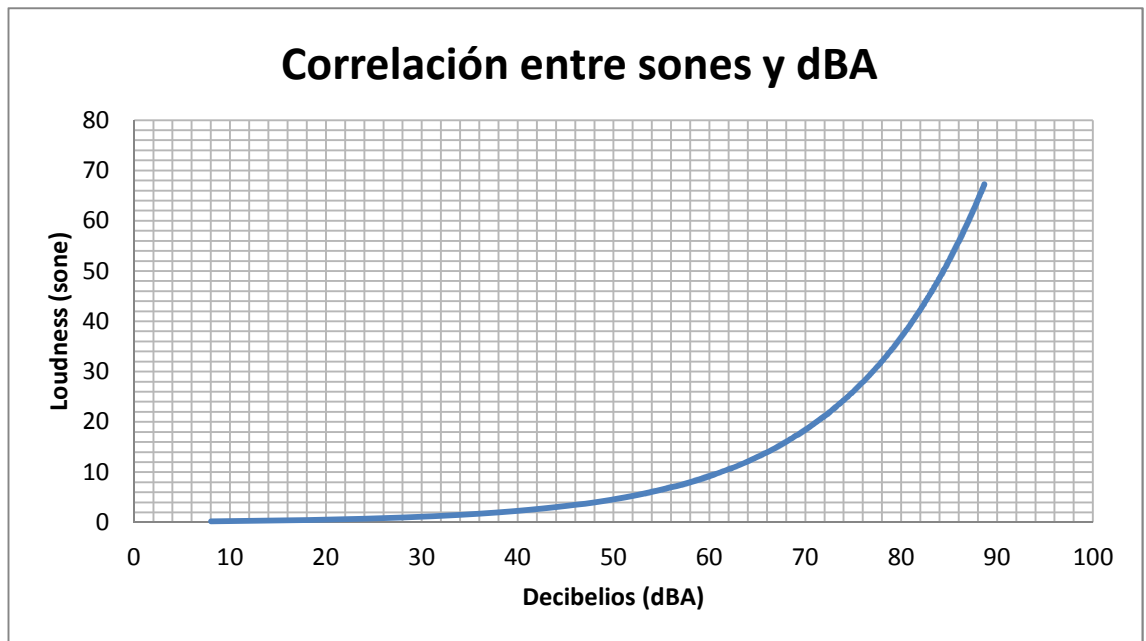


Fig.5. Correlación entre Loudness y dBA

Aunque no sea una conversión exacta, se puede ver la relación logarítmica que hay entre las dos magnitudes de medida del sonido.

Otros dos parámetros son el sharpness y el booming, que están relacionados con las frecuencias predominantes en el sonido a evaluar. El sharpness se encarga de las altas frecuencias y el booming de las bajas.

- *Sharpness (Relación de agudos)*

Con este parámetro, se mide el contenido en altas frecuencias de un sonido. En medida que la proporción de altas frecuencias sea mayor, el sonido tendrá un valor de sharpness mayor. Es un parámetro de gran importancia, en aquellos productos que presentan un alto contenido frecuencial en altas frecuencias.

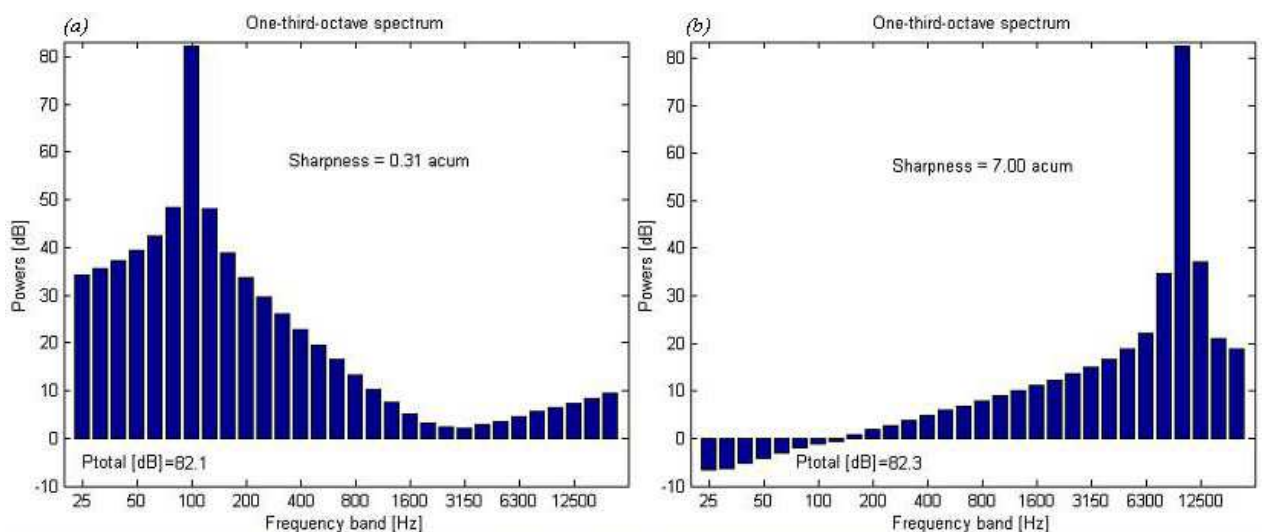


Fig.6. Espectro frecuencial y su nivel de Sharpness en 2 tonos de 100Hz y 10kHz respectivamente.

Este parámetro, al igual que la sonoridad, también ayudará a cuantificar parcialmente la calidad de un sonido, por ejemplo en la medición de ruidos de motor, aspiradoras, o secadores de pelo, pero en este caso, se utilizará para medir el grado de molestia de las componentes de alta frecuencia de un sonido.

El cálculo de este parámetro, se realiza añadiendo una función de ponderación al espectro de sonoridad. Esta ponderación va desde 1 a 16 “Bark”, y crece exponencialmente por encima de dicha banda. El sharpness es una medida espectral, y es independiente del nivel medio de la señal.

Existen varias formulas para calcular el sharpness. La primera de ellas, la fórmula original de Zwicker:

$$S=0.11 * \frac{\int_1^{24} N'(z) * g(z) * z * dz}{\int_1^{24} N'(z) * dz} \text{ (acum)}$$

Donde:

$$g(z) = \begin{cases} 1 & \text{para } z \leq 16 \\ 0.066 * e^{0.171 * z} & \text{para } z > 16 \end{cases}$$

Esta $g(z)$ da un aumento exponencial a los rangos de las bandas críticas mayores que 16 Barks, llegando a una ponderación de 4 en la banda de 24 Barks.

La formula de Aures, propone una corrección sobre la formula de Zwicker, que representa una mejoría respecto a la dependencia que pudiera tener con el nivel de la señal.

$$S=0.11 * \frac{\int_1^{24} N'(z) * g(z) * dz}{\ln(0.05N+1)}$$

- *Booming (Resonancia)*

Se podría definir el Booming como el parámetro opuesto al Sharpness. Es un parámetro que mide el contenido en bajas frecuencias de un sonido, por lo tanto, cuanto mayor sea la proporción de bajas frecuencias, mayor será el “boom” del sonido.

Al igual que el Sharpness, también se utiliza en la industria del automóvil, en este caso se utiliza para relacionarlo con los armónicos del motor. De esta manera, se podrá llegar a relacionar dicho parámetro, con las revoluciones por minuto (r.p.m.) de la fuente.

Relacionados con modulaciones existen los parámetros de roughness y fuerza de fluctuación. Usando un tono de 1 KHz de modulado en amplitud 100% y incrementando el valor de la frecuencia de modulación de menos a más, se podrían distinguir dos diferentes zonas de sensaciones. Con frecuencias bajas de modulación, hasta 15 Hz, el

loudness varía lentamente arriba y abajo. La sensación producida es de fluctuación. Esta sensación tiene un máximo en 4 Hz y decrecienta para frecuencias mayores y menores. Para frecuencias mayores de 15 Hz esta sensación cambia y pasa a ser una sensación de rugosidad. La mayor sensación de molestia para esta sensación se produce a 70 Hz.

- *Roughness (Aspereza)*

La aspereza/rugosidad es un complejo efecto que cuantifica la percepción subjetiva de la modulación de amplitud rápida (15Hz a 300Hz) de un sonido. Se trata de un parámetro complicado de describir mediante palabras, pero se puede decir que se tratan de sonidos molestos, producidos por variaciones de amplitud o frecuencia de ese sonido. La unidad de medida es el “asper”. El asper está definido como la aspereza producida por un tono de 1kHz de 60dB modulada a 70Hz. Este parámetro, al igual que los anteriores, también se utiliza para cuantificar la calidad del sonido dentro de la industria del automóvil, así como para pequeños electrodomésticos.

Para poder construir un modelo matemático fiable que defina correctamente lo que se quiere decir con rugosidad, es imprescindible definir un tono modulado en amplitud, como un sonido con una rápida variación de la sonoridad. Para entender la sensación subjetiva de esta rápida variación sonora, es imprescindible entender primero el concepto de duración subjetiva.

Normalmente, la duración de un sonido que un oyente percibe, suele ser un dato objetivo, siempre y cuando la duración de dicho sonido sea superior a los 300ms. Sin embargo, ante sonidos de duración menores de 300ms, la percepción subjetiva y la objetiva no son las mismas. Los sonidos de corta duración, son percibidos como si fueran más largos de lo que realmente son.

¿Cómo afecta esto en la rugosidad? Como ya hemos dicho, definíamos la rugosidad como una rápida variación de la sonoridad que sufría un sonido. Y como se acaba de ver, estas variaciones de corta duración, son percibidas como más largas de lo que realmente son, por lo que el nivel que se percibe no decae tan rápidamente como lo hace objetivamente. Gráficamente sería de esta forma:

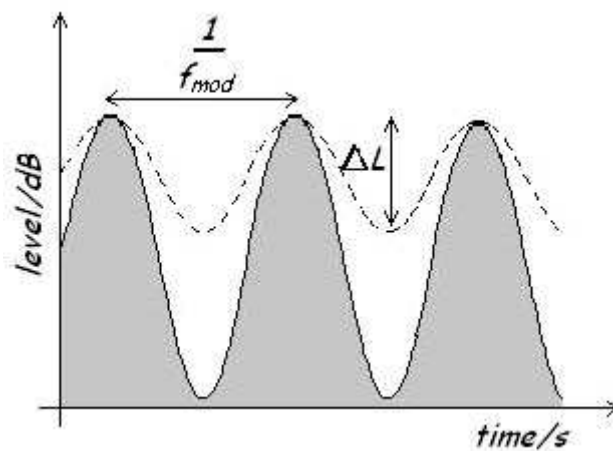


Fig.7. Sonido modulado en amplitud rápida, y percepción subjetiva del mismo (Línea discontinua)

Como se puede observar en la figura 3, para el oyente el sonido solo decae ΔL .

Resumiendo, esto significa que la intensidad del enmascaramiento que se percibe es menor que la intensidad objetiva del enmascaramiento que se puede medir. De este modo, la rugosidad de un sonido se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$R = cal \cdot \int_0^{24 \text{ Bark}} f_{\text{mod}} \cdot \Delta L \cdot dz$$

Donde “cal” es un factor de calibración, “fmod” es la frecuencia de modulación, y ΔL es la intensidad del enmascaramiento percibido.

- **Fuerza de fluctuación**

Se define la fuerza de fluctuación, como la variación de bajas frecuencias (por debajo de los 20Hz) en la amplitud de la señal. La modulación en amplitud y frecuencia son las causantes de este fenómeno.

La fuerza de fluctuación, es similar en principio a la rugosidad, excepto que cuantifica la percepción subjetiva con unas frecuencias de modulación menores (de asta 20Hz). Esto se debe a que hasta los 20Hz de modulación, la sensación es de fluctuación, y a partir de ese punto, es de rugosidad. La diferencia entre un parámetro y otro es confusa, por lo que es complicado fijar una frontera entre uno y otro.

La fuerza de fluctuación se mide en “vacil”, que definimos como la fuerza de fluctuación que produce un tono de 1kHz y 60dB, modulado en amplitud de 4Hz.

$$F = \frac{0.008 \cdot \int_0^{24 \text{ Bark}} \Delta L \cdot dz}{(f_{\text{mod}}/4\text{Hz}) + 4\text{Hz}/f_{\text{mod}}}$$

Otros parámetros de la calidad del sonido

Existen más parámetros de los anteriormente mencionados, con múltiples definiciones, pero que se conocen menos. Es importante recalcar, que todos estos parámetros, al igual que los anteriores, solo podrán ser reemplazados por un test subjetivo, siempre y cuando exista una correlación con la respuesta de los mismos, cosa que no siempre se cumple.

Mediante la combinación de diferentes parámetros, se pueden crear ciertos parámetros que permitan cuantificar directamente la calidad de un producto en concreto. En concreto, existen parámetros para calcular el índice de molestia de una aspiradora, o el motor de una lavadora, así como de secadores de pelo.

La duración subjetiva de un sonido o el ritmo son unos de estos parámetros que pueden variar la molestia de los sonidos.

3.5-.Casos prácticos

Caso 1: Lavavajillas [1].

Un objetivo claro para la molestia de un lavavajillas es reducir el nivel de potencia acústica. Hacer que el lavavajillas sea lo más silencioso posible. Un lavavajillas con un nivel más bajo de potencia acústica podría significar que podría ser el preferido en una encuesta. Por ejemplo: un lavavajillas 'A' tuvo un nivel de potencia acústica de 44.6dB (A), mientras que otro lavavajillas 'B' tenía un nivel de potencia acústica de 47 dB (A), una diferencia de 2.4dB. Casi el doble de la potencia.

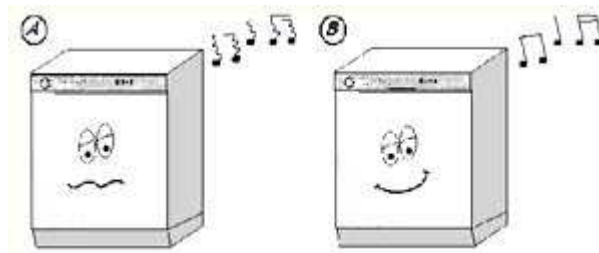


Fig.8. Ejemplo lavavajillas

Sin embargo las pruebas de calidad de sonido revelaron que la máquina 'B' fue la maquina con el sonido preferido. Esto se debía a que la maquina 'A' emitía un sonido molesto. El lavavajillas 'A' pese a tener un nivel menor de potencia, no conseguía enmascarar los sonidos molestos que producía su funcionamiento. Esto condujo a que los encuestados prefirieran la máquina 'B', que pese a tener un mayor nivel de potencia acústica, tenía un sonido menos molesto.

La conclusión es que una reducción del ruido del producto no conlleva una mejora de la calidad del ruido de esta, sino que a su vez debe conllevar un estudio de los detalles del sonido que el producto emite para que puedan ser eliminados en su diseño.

Caso 2: Aspiradoras [2].

Las principales fuentes de ruido en las aspiradoras (y en otros productos) son:

-Mecánico. (Motores, rodamientos y/o piezas desalineadas). Estos ruidos están relacionados entre sí ya que una desalineación de uno de ellos conlleva un aumento del ruido en todos ellos. Un ruido de piezas desalineadas puede convertirse en un problema importante en la vida de un producto a largo plazo. Estas fuentes de ruido también pueden provocar vibraciones que a su vez podrían dar lugar a sonidos generados por la estructura del producto y estropearlo.

-Aerodinámico. Se descubrió que el ruido del ventilador de la aspiradora generaba, mucho ruido de banda ancha y ruido de componentes armónicos. Los ruidos armónicos están relacionados con la frecuencia de rotación de las aspas del ventilador. En la aspiradora, este ruido se puede reducir. Se puede variar el número de hojas para variar el tipo de ruido. La principal fuente de ruido es la turbulencia en el conducto de aire. La interacción del aire con el conducto puede producir tonos puros. Estos ruidos se pueden eliminar cambiando el diseño del conducto, poniendo rugosidades o suavizándolas (en tubos "corrugados"). También hay que evitar sonidos como los que ocurren al tapar el conducto al aspirar.

Se han aplicado técnicas de identificación las fuentes de ruido. Un ruido es registrado y posteriormente evaluado. Esto ayuda a la identificación de las principales fuentes de ruido para poder aplicar la reducción de ruido en las zonas más críticas. Otras recomendaciones para la eliminación del ruido son:

- Selección de un motor a baja velocidad sobre otro de alta velocidad. (Dentro de los niveles, comparación con la potencia mecánica requerida por el fabricante)
- Lubricación de los rodamientos.
- Mejora de la puesta a punto de rodamientos y partes móviles.
- Evitar resonancias estructurales.
- Uso de materiales absorbentes.
- Dirigir el sonido fuera de la dirección de los oyentes.
- Reducir al mínimo el sonido del flujo de aire a través de conductos y curvas.

La conclusión es que no sólo es importante tener en cuenta el control del ruido en las primeras etapas de diseño, sino hay que estudiar la totalidad del proceso de fabricación.

3.6.-Análisis sensorial y test subjetivo

Para la realización de un test subjetivo son necesarias unas nociones básicas de análisis sensorial para poder hacer las pruebas a los sujetos. Se deben definir cuestiones como, cómo hacer la hoja de datos, cuántas personas son necesarias para realizar la prueba o cómo analizar los resultados después de realizar las pruebas. Para ello se debe aplicar la teoría de análisis en alimentos y adaptarla al análisis de los sonidos de electrodomésticos [5, 6, 7]

Debido a la poca cantidad de experimentos relacionados con el análisis de sonidos, se hará una aproximación del análisis sensorial de alimentos al análisis de sonidos.

El análisis sensorial se realiza a través de los sentidos. Para este caso, es importante que los sentidos se encuentren bien desarrollados para emitir un resultado objetivo y no subjetivo.

La herramienta básica o principal para llevar a cabo el análisis sensorial son las personas, el instrumento de medición es el ser humano, ya que el ser humano es un ser sensitivo, sensible, y una maquina no puede dar los resultados que se necesitan para realizar un evaluación efectiva. En calidad del sonido se aproximan los parámetros a experimentos realizados a humanos.

Catar, degustar un alimento es un acto que en ocasiones pareciera solamente un proceso mecánico y con poca conciencia, como si sólo se tratara de satisfacer una necesidad fisiológica; es un hecho en el cual no sólo nuestros órganos sensoriales interactúan sino en el que también emitimos juicios: "sabe rico", "huele mal", "está muy salado", etc. Hacer una evaluación de un sonido es parecido, se tienen en cuenta juicios como: "está alto", "es muy agudo", etc.

Las sensaciones que motivan al rechazo o a la aceptación varían con el tiempo y el momento y el momento en que se perciben: depende tanto de la persona como del entorno en el que se encuentra. De ahí viene la dificultad, ya que con determinaciones tan subjetivas, de que se puedan obtener datos objetivos y fiables para evaluar la aceptación o rechazo de un sonido.

Como ya se mencionó, el análisis sensorial se considera ya como una disciplina científica que tiene la utilidad de dar a conocer la aceptación o rechazo de cierto estímulo, con el fin de adaptarse a los gustos del consumidor.

La evaluación sensorial es el análisis de estímulos por medio de los sentidos. La palabra sensorial se deriva del latín *sensus*, que quiere decir sentido. La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, etc. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que la persona que efectúa las mediciones lleva consigo sus propios instrumentos de análisis, o sea, sus cinco sentidos.

Tipos de análisis

Análisis descriptivo: Es aquel grupo de 'probadores/oyentes' en el que se realiza de forma discriminada una descripción de las propiedades sensoriales (parte cualitativa) y su medición (parte cuantitativa). Se entrena a los evaluadores durante seis a ocho sesiones en el que se intenta elaborar un conjunto de diez a quince adjetivos y nombres con los que se denominan a las sensaciones. Se suelen emplear unas diez personas por evaluación.

Análisis discriminativo: Se emplea en la industria alimentaria para saber si hay diferencias entre dos productos, el entrenamiento de los evaluadores es más rápido que en el análisis descriptivo. Se emplean cerca de 30 personas.

Análisis del consumidor: Se suele denominar también prueba hedónica y se trata de evaluar si el producto agrada o no, en este caso trata de evaluadores no entrenados, las pruebas deben ser lo más espontáneas posibles. Para obtener una respuesta estadística aceptable se hace una consulta entre *medio centenar*, pudiendo llegar a la centena.

El análisis sensorial ha demostrado ser un instrumento de suma eficacia para el control de calidad, ya que cuando ese material se quiere comercializar, debe cumplir los requisitos mínimos de higiene, inocuidad y calidad del producto, para que éste sea aceptado por el consumidor.

Tipos de experimento [3]

Analítica: Esta tiene por objetivo separar, ordenar y finalmente dentro de lo posible identificar las impresiones dominantes. Es la interpretación de un conjunto de sensaciones que se perciben simultánea o sucesivamente.

Técnica: Pretende juzgar las cualidades comerciales del producto, siendo exclusiva y eliminatoria, ya que debe evaluar si tiene o no el nivel de calidad que se pretende y debe permitir apreciar los defectos conociendo su causa. Tiende a la objetividad, y el catador debe llenar un cuestionario punto por punto. El placer o satisfacción no tiene lugar en ella.

Estos dos tipos de degustación requieren un nivel de conocimientos especiales, basados en la práctica de la degustación, que le permiten al catador percibir las características totales y parciales del producto.

Preparación de la prueba

Se requiere de un área especial, donde se eviten distracciones y se puedan controlar las condiciones deseadas. Un producto se puede evaluar en una mesa, en la esquina de un cuarto,

pero las interrupciones y distracciones no favorecen un buen análisis. Para el caso de un análisis acústico sería suficiente con contar con un cuarto silencioso y sin muchas distracciones. Lo mejor sería el uso de celdas o cabinas a lo largo de la pared, pero como ya se ha comentado sería innecesario su uso.

La capacidad y rendimiento de los jueces en las pruebas sensoriales se ven afectados por muchos factores. La selección y entrenamiento de jueces apropiados es un proceso esencial, que requiere mucho tiempo dentro de la planificación de cualquier análisis sensorial.

Las exigencias con respecto a los jueces dependerán, en última instancia, de los tipos de pruebas que se realicen, aunque los requisitos básicos para que cualquier persona tome parte como juez en un análisis sensorial son los siguientes:

Disponibilidad y deseo de participar. El criterio general más importante para un juez es la disponibilidad para asistir a las sesiones cuando se le requiere. El tiempo comprometido debe quedar lo suficientemente claro, ya que es esencial para la preparación y planificación que los jueces cuenten con tiempo. Además de las exigencias de disponibilidad, los jueces deben también mostrar interés, deseos de aprender, ser adaptables, ser entusiastas y estar preparados, si es necesario, para realizar pruebas con productos "diferentes" o "inusuales", como sería el caso del análisis de productos parcialmente procesados.

Salud y hábitos personales. Algunas personas pueden tener deficiencias auditivas, y evidentemente deberían excluirse de las pruebas. Del mismo modo, cualquier juez que presente temporalmente algún problema de salud, como resfriados, dolor de oídos, etc, no debe incluirse en el panel sensorial.

Aunque algunos de los requisitos expuestos anteriormente sean difíciles de cumplir, se intentarán cumplir en la medida de lo posible la mayor parte de ellos.

Volumen de reproducción

Es importante que los sonidos se que se reproduzcan al mismo volumen que han sido grabados con la cabeza binaural. Lo mejor para este caso sería utilizar el tono de calibración que se graba previo a cada medición y hacer la comparación para que se trate de un sonido correctamente reproducido. Si no es posible realizar este procedimiento, se ha de realizar de oído, juzgando que los niveles son similares a los sonidos originales.

Número de jueces

El número de jueces requerido para realizar una determinada prueba de análisis sensorial depende de varios factores, entre los que se encuentran el objetivo de la prueba, el procedimiento a seguir y el entrenamiento que ello implica, la variabilidad del producto y la repetibilidad y coherencia de los resultados de los jueces. Si el panel es demasiado pequeño, los resultados pueden ser excesivamente dependientes de los juicios particulares. Sin embargo, paneles sensibles, de pequeño tamaño y muy entrenados, ofrecen una mayor capacidad de percepción y resultados más uniformes que los de mayor tamaño, con un menor entrenamiento y por consiguiente menos sensibles para la prueba. En general, cuanto mayor es la variabilidad intrínseca del producto, mayor debe ser el tamaño del panel requerido para conseguir un determinado nivel objetivo con significación estadística.

Sin embargo, también es posible reclutar muchos jueces y entrenarlos de forma que se obtengan diferencias mínimas estadísticamente significativas. El analista sensorial debe tener presente que es poco probable que tales diferencias tengan importancia práctica. En las pruebas de diferencia, cuanto mayor sea el número de jueces, mayor será la posibilidad de rechazo de la hipótesis nula. En dichas pruebas, además de considerar la posibilidad de fracaso para detectar una diferencia cuando realmente existe (negación falsa), es igualmente importante considerar la posibilidad de registrar diferencias cuando no existen (afirmación falsa).

En muchos casos se ofrecen dos valores para determinadas pruebas, uno para los "jueces" y otro, inferior, para los "jueces seleccionados", es decir, aquellos jueces con una sensibilidad y capacidad probadas que han superado una cierta selección específica en cuanto a precisión sensorial y, por tanto, muestran probablemente una mayor capacidad de diferenciación y coherencia.

Para asegurar que en el momento de realizar una determinada prueba existen siempre jueces disponibles, se recomienda que el director del panel cuente con una reserva de jueces superior, en un 50% como mínimo, al número requerido para realizar este tipo de pruebas.

En las pruebas a realizar se tendrán solo jueces entrenados, que conocen el tema del sonido y lo han estudiado, la mayoría alumnos de ITT sonido e imagen. Las pruebas se han realizado a 25 jueces.

Hoja de vaciado de datos

Éste es el conducto por medio del cual el juez se identifica, recibe instrucciones de lo que debe ejecutar y apreciar, y finalmente expresa sus impresiones sensoriales. Para cada tipo de prueba, un formato de lo que constituye una hoja de respuestas. Conviene aclarar que no existe un diseño específico para estas hojas, sino que se prepararán atendiendo la propia configuración del experimento, tipo de muestra(s), número de repeticiones o series e instrucciones particulares.

En el momento de la ejecución de la prueba no debe haber comunicación verbal entre el juez y el conductor. La hoja de respuestas debe indicar en forma clara, sencilla y directa, sin necesidad de otras explicaciones y sin dejar lugar a dudas lo siguiente:

- El procedimiento que el juez debe seguir para evaluar las muestras
- El orden para analizar las muestras (de izquierda a derecha, etc.)
- El atributo que se debe observar en las muestras (dulzura, dureza y brillo).
- Forma de señalar, en la hoja de respuestas, las impresiones sensoriales recibidas (marque con una cruz).

Por otra parte es importante considerar, desde el momento de la evaluación preliminar y el diseño del estudio sensorial, qué tipo de preguntas concretas para el juez son las más adecuadas para resolver el problema o la prueba que se le presenta, porque no es lo mismo preguntar "diferencia", que "intensidad percibida", o "preferencia" que "ordenar por intensidad de dulzura". En consecuencia, al estructurar la hoja de respuestas se debe saber qué prueba, procedimiento y pregunta ordenar. En este proceso de diseño y estructuración también se debe contemplar la forma en la que se analizarán los datos.

4.Procedimiento experimental

El proyecto constará de dos partes: la primera, medición de ruido de diferentes electrodomésticos en su fase estacionaria de máximo nivel de ruido, y la segunda, análisis de estos resultados por dos métodos diferentes, mediante PULSE Sound Quality y mediante tests subjetivos realizados a 25 personas.

Los electrodomésticos serán secadores de pelo, extractores, microondas, lavadoras y aspiradoras, realizando pruebas a varios de estos electrodomésticos, de diferentes antigüedades y modelos.

Secadores

Secador 1 - Ufesa free style 1200

Secador 2 - Philips silence 1000

Secador 3 - Iberic turbo 1400

Secador 4 - Ufesa top line 1600

Secador 5 – (secador de publicidad)

Extractores

Extractor 1 - Bosh DHI 625 P

Extractor 2 - Mepamsa

Extractor 3 – Marca desconocida Sin nombre (viejo)

Extractor 4 - Fagor (viejo)

Lavadoras

Lavadora 1 - Zanussi essential (1000 rpm)

Lavadora 2 - Fagor FS-3612x (1200 rpm)

Lavadora 3 - Corbero LD 2250 M (*)

Lavadora 4 - Lynx ts-750 (900 rpm)

Lavadora 5 - Edesa 94 (900 rpm)

(*) Al realizar la medición la lavadora se encontraba sin ropa dentro y los niveles que se obtuvieron de esta medición serán descartados.

Microondas

Microondas 1 – Ufesa Compact grill 190

Microondas 2 - Teka MW17 IVS inox

Microondas 3 - AEG Micromat 120

Microondas 4 - Lynx 4WG-324

Microondas 5 - LG md 2642

Aspiradoras

Aspiradora 1 - Ufesa compact 1300 electronic

Aspiradora 2 - Miele parkett 5000

Aspiradora 3 - ALFA Ciclone 7900

Aspiradora 4 - Bosch bag bagless 2000 watos

Aspiradora 5 - Fagor vce-306

Aspiradora 6 - Iroomba-581

- Dispositivo experimental:

- Micrófonos G.R.A.S. omnidireccionales tipo 40AC
- Preamplificadores G.R.A.S. tipo 26AB
- Fuente de alimentación G.R.A.S. Type 12AA
- Cabeza artificial HEAD Acoustics modelo HSU III
- LAN Interface ModuleType 7533
- Tarjeta de sonido profesional VXpocket v2
- Ordenador portátil

- Equipo informático con el siguiente software: Matlab, B&K PULSE Platform FFT&CPB Analysis, B&K Sound Quality Software 7698, B&K Zwicker Loudness Software BZ-5265.

- Localizaciones: - Laboratorio de Acústica, cabina anecóica del laboratorio de acústica, Medidas de campo en diferentes cocinas y salones de las casas en las que se encuentren los electrodomésticos.

4.1-Mediciones con la cabeza binaural

Conexiones y procedimiento de medida

Para realizar las mediciones con la cabeza binaural se ha de hacer el siguiente montaje.

1-Conexión.

Se conecta el torso binaural con el módulo B&K mediante cables con conectores Lemo 7-pin, diferenciando los dos canales para cada oído de la cabeza, canal 1 para el oído derecho y canal 2 para el oído izquierdo. Además se conectará el micrófono omnidireccional al canal 3 del módulo de PULSE.

2-Configuración de red

El módulo de PULSE se conecta al ordenador por medio de cable RJ-45 y así se hace una red local. Esta utiliza la red privada 10.10.0.0 con máscara 255.255.0.0. La IP del módulo PULSE es la 10.10.10.12 con la anterior máscara así que se configura el ordenador con la IP 10.10.10.13 para que se encuentren en la misma red local. Así todos los aparatos que se necesitan para hacer la medición ya estarían conectados y en la misma red local.



3-Extracción de datos

Siguiendo con la adquisición de datos, se explicará cómo se extraen las mediciones al ordenador. Con la red local ya configurada, se extraerán los datos con el programa PULSE LabShop para más tarde poder interpretar los datos en el PULSE Sound Quality.

Para ello se creará un nuevo proyecto con el que se extraerán todas las medidas. Para configurar el proyecto se debe crear en la base de datos del programa un nuevo micrófono que se corresponda con el de la cabeza binaural. Se introducen los parámetros de sensibilidad, nivel máximo de salida y tipo de micrófono. Con el micrófono ya creado se añade el micrófono en el proyecto de LabShop, se cambian los datos para que estos estén en modo grabación, se seleccionan los canales de entrada y se habilita la grabación. Con estos parámetros el ordenador ya está recibiendo señal de los micrófonos.

All	Basic	Channel	DOF	Transducer ID	Transducer Type	Transducer						
	Status	Signal Name	Transducer Family	Transducer Type	Transducer Name	Input Sensitivity	Channel Input	Max Peak Input	Max Peak Input (Absolute)	HP Filter	Gain Adjust	
Filter												
1.1.1		Signal 1				1 V/V	Direct	7,071 V	7,071 V	DC	1	
1.2.1		Signal 2	Microphone	Head Acoustics	HSU III	53m V/Pa	Direct	7,071 V	133.4 Pa	22.4 Hz	1	
1.2.2		Signal 3	Microphone	Head Acoustics	HSU III	53m V/Pa	Direct	7,071 V	133.4 Pa	22.4 Hz	1	
1.2.3		Signal 4				1 V/V	Direct	7,071 V	7,071 V	DC	1	
1.2.4		Signal 5				1 V/V	Direct	7,071 V	7,071 V	DC	1	
1.2.1 Gen		Generator 1				1	Direct	10	1 V	DC	1	
1.2.2 Gen		Generator 2				1	Direct	10	1 V	DC	1	

Fig.9. Edición de parámetros para la grabación con LabShop

Para grabar la señal se selecciona la carpeta donde quedarán grabadas las señales y se modifica el tiempo de medida. Al ser medidas de máquinas con sonidos constantes se seleccionará un tiempo de medida de 10 segundos. Para empezar la medición se pulsa start  o proceed . El programa almacena las señales en un fichero .DAT en una carpeta llamada BKrecording.

Antes de realizar la medida se hará una calibración de los micrófonos con un tono puro de 1KHz a 94 dB en los 2 canales de la cabeza binaural y en el micrófono GRASS omnidireccional. Para observar que la medición se realizará en las condiciones óptimas y no hay ningún problema de conexiones ni con los micrófonos, se pasará la medida a espectro en frecuencia y se observará que el tono tiene un nivel de 94 dB.

Con la medida ya realizada se abre PULSE Sound Quality y se introducen las señales del fichero .DAT y así ya se pueden analizar.

4-Análisis con PULSE

Para introducir las señales realizadas en Sound Quality se añade una nueva pista, que va a ser el fichero .DAT anteriormente grabado con cada canal en el derecho y el izquierdo del programa. Se selecciona un tiempo de medida de 4 segundos para hacer el análisis y los parámetros por defecto, ya que los dos programas, el Sound Quality y el Labshop, son de la misma compañía y en el fichero .DAT intercambian información del tipo frecuencias de muestreo o niveles máximos de la señal.

Con los ficheros .DAT ya introducidos en Pulse se necesita extraer los datos. Para sacar las gráficas en Sound Quality se pulsa botón derecho y en tipos de gráfica se selecciona el

parámetro que se quiere analizar. Para meter los datos de la gráfica en un Excel se seleccionan los datos de la gráfica que se van a extraer y pinchando en la gráfica con el botón secundario se selecciona *export to clipboard* y posteriormente se pega en un Excel. Así se podrán comparar gráficas.

5-Condiciones de medida

Para realizar las mediciones habrá que diferenciar diferentes tipos de electrodomésticos, ya que no se tendrán las mismas condiciones en la realización de las diferentes tareas domesticas. Por ejemplo sería diferente la distancia de la fuente al oído con un secador de pelo que con una aspiradora o con una lavadora. Debido a esto se deben establecer unas condiciones de medida para que las medidas que se realicen tengan un mínimo paralelismo con la realidad.

Para asegurar las mismas condiciones de medida para los distintos electrodomésticos se establecerán unas condiciones de medida para los diferentes usos de cada electrodoméstico. Además se intentará realizar las medidas en el entorno más adecuado al uso de estos electrodomésticos.

- Lavadora. Se colocarán los receptores a 1m de la fuente y a una altura de 1,50m. Los receptores estarán enfrentados a la fuente. La función a grabar será la de centrifugado ya que es la que más molestia puede ocasionar.

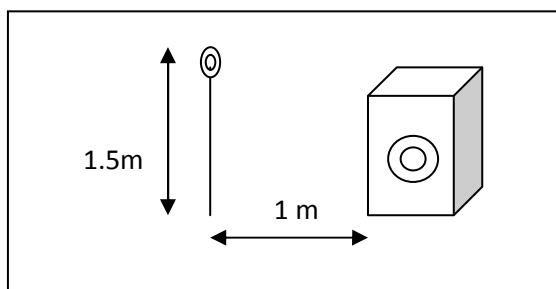


Fig.10. Disposición de medición de lavadoras

- Aspirador. Se colocarán los receptores lo más cercanos a la fuente pero a una altura de 1,50m. Los receptores estarán mirando en dirección a la fuente. El aspirador en el periodo de medida no se encontrará aspirando ya que tiene un sonido diferente. Se realizará la medida en el salón de cada casa, puesto que en él se suele utilizar este electrodoméstico.

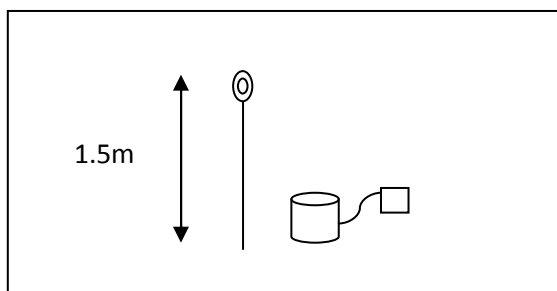


Fig.11. Disposición de medición de aspiradores

- Microondas. Se colocarán los receptores a 1m de la fuente y a una altura de 1,50m. el receptor estará enfrente a la fuente. Se realizará la medida a máxima potencia. La disposición sería la misma que con las lavadoras pero con los microondas.
- Extractor de humos. Se colocarán los receptores a 1m de la fuente y a una altura de 1,50m. Los receptores estarán enfrente a la fuente. También se realizaran las medidas a máxima potencia. La disposición de los elementos de medición será la misma que con los microondas y que las lavadoras.
- Secador de pelo. Se realizarán las medidas en cámara anecoica. Los secadores se colocarán en la posición que aparece en la figura. Con cada secador metido en el soporte del micrófono, apuntando a la nuca de la cabeza y procurando que el aire que sale del secador no distorsione la medición. Se realizarán las medidas a máxima potencia.

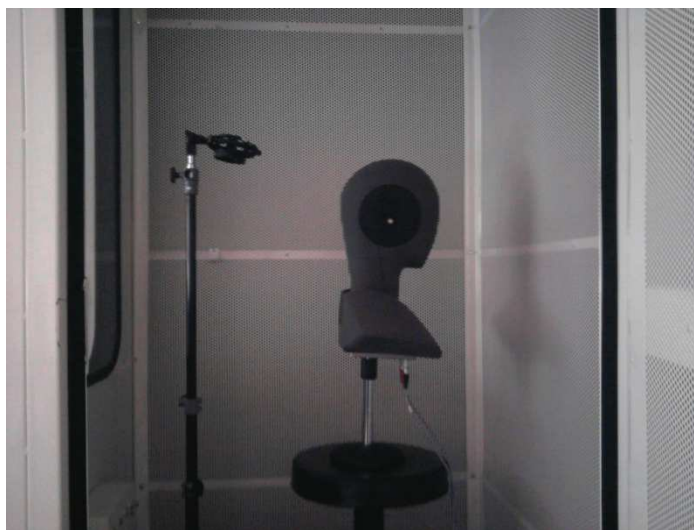


Fig.12. Disposición de la medición de secadores

4.2.-Jury Test en Sound Quality

Para la realización de los test subjetivos el software PULSE Sound Quality tiene una aplicación de realización de tests subjetivos que se llama Jury Test. Esta aplicación permite tener pistas en una lista y reproducirlas en el orden que se quiera y con los requerimientos de un test subjetivo.

Para poder insertar las pistas en la lista, primeramente se deben extraer las señales de Pulse de formato .DAT a formato .wav. Para ello se hace clic con el botón secundario y se selecciona añadir a .wav. Al estar extraídas directamente desde la plataforma PULSE los niveles se mantienen originales, ya que el formato .wav aplica el nivel máximo a 1 y los demás valores están acordes a este valor.

La tasa de bits de las pistas con formato .wav debe de ser cambiada a una tasa de bits de 48000.

Para hacer el test se ha hecho un fichero por cada uno de los electrodomésticos, con todas las pistas añadidas al archivo.

Para reproducir los sonidos se selecciona un tiempo de espera de 5 segundos entre sonidos, para que al ser escuchados se produzca un silencio de esos 5 segundos y posteriormente se pincha en

reproducir todos los sonidos. Al hacer esto reproduce todos los sonidos agregados al test uno detrás de otro con un tiempo de silencio entre ellos.

Para la realización del test subjetivo se eligen 3 parámetros a evaluar: molestia de volumen, molestia/presencia de agudos, y molestia/presencia de modulaciones.

En el caso de la molestia de volumen, se han seleccionado unos valores de respuestas del 1 al 9. Se ha dejado un valor central 5 para evitar indecisiones.

Para los casos de agudos y modulaciones se han escogido unos valores del 1 al 5 debido a que son detalles más difíciles de evaluar con precisión.

La hoja de vaciado de datos utilizada para el test subjetivo se adjunta en el Anexo III.

5.-Análisis de resultados

5.1.-Análisis de Pulse Sound Quality (señales predefinidas)

El software Pulse Sound Quality tiene diversos parámetros para la evaluación de la molestia de sonidos. Previamente se analizarán los diferentes ajustes que debe tener la evaluación para que esta esté realizada correctamente. En los parámetros dependientes de una frecuencia de modulación, por ejemplo, es necesario tener una frecuencia de “muestreo” con la que se puedan obtener esas frecuencias de modulación.

El *Time between spectra* es el parámetro que realiza el muestreo en la señal. El elegir un tiempo pequeño implica un mayor número de puntos a evaluar y su consiguiente aumento del coste computacional. A su vez el análisis de esa señal sería el adecuado para no submuestrear, es decir para no coger menos muestras que las que son necesarias para la captación de frecuencias altas.

En cambio el elegir un tiempo grande reduce el coste computacional, pero en muchos casos se submuestreará debido a que no se obtienen las muestras necesarias.

Análisis de FF con respecto al *Time between spectra*.

Para ver la relación de estos parámetros se han analizado una serie de señales predefinidas que son: ruido modulado AM, un seno modulado AM, y un seno modulado FM, todos ellos con frecuencias de modulación de 1, 4 y 16 Hz que son frecuencias con las que se pueden obtener resultados visibles de este parámetro de ajuste. Teóricamente la frecuencia a la que se produce una mayor molestia es a 4 Hz [3].

Los espectros de las señales utilizadas para estos análisis se mostraran en el Anexo II.

Para estos análisis se ha puesto la opción de cálculo automático de la frecuencia, se ha ido variando el *Time between spectra* y se han recogido los datos manualmente.

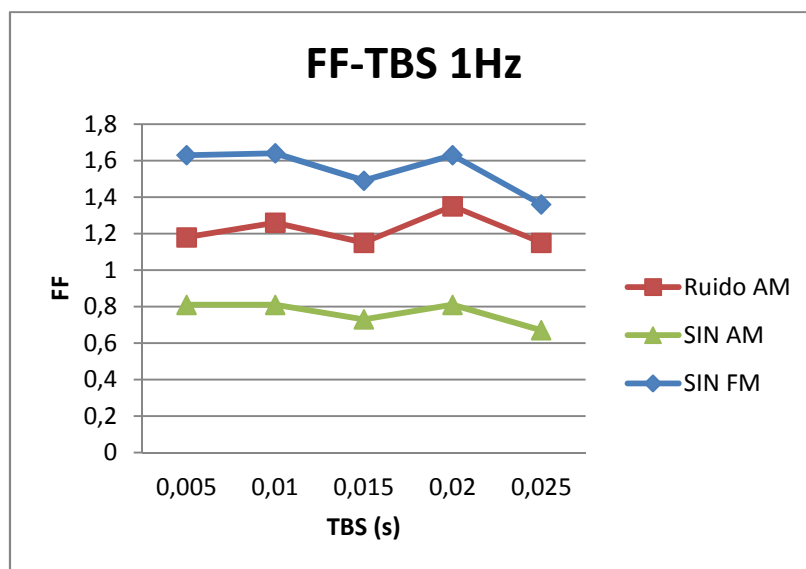


Fig.13. FF en función del TBS con señales de 1 Hz

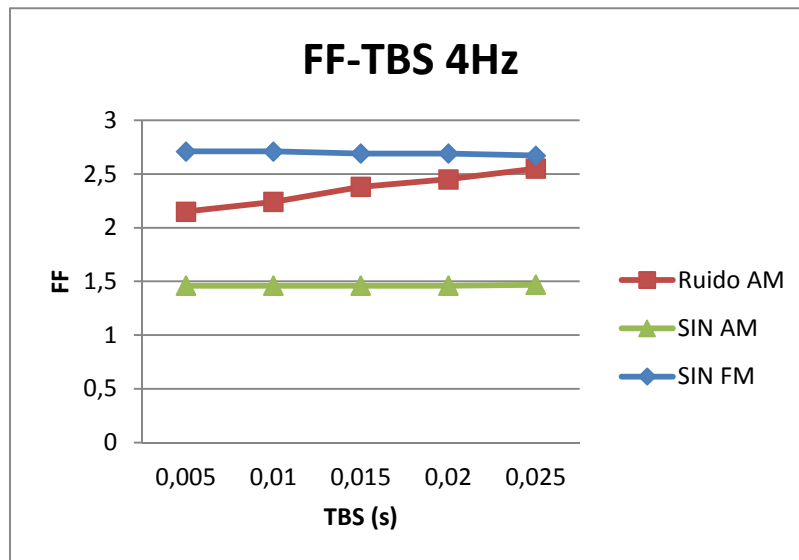


Fig.14. FF en funcion del TBS con señales de 4 Hz

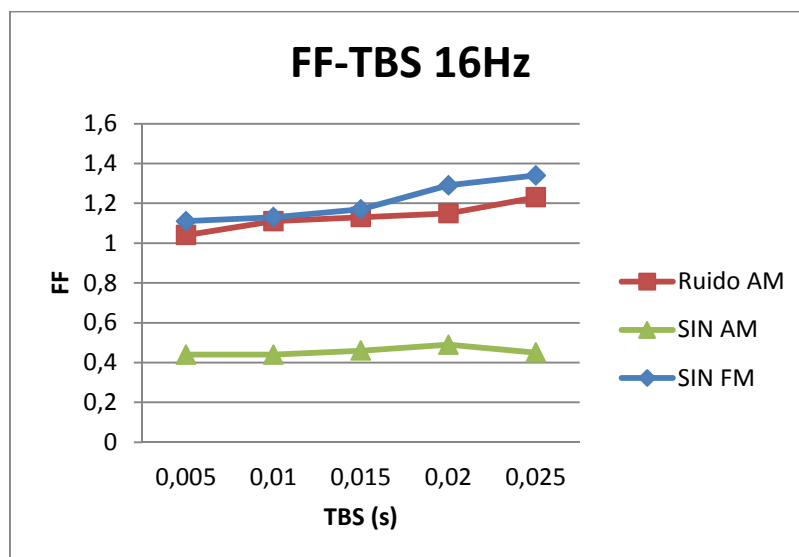


Fig.15. FF en funcion del TBS con señales de 16 Hz

En general no hay grandes diferencias en la fuerza de fluctuación con respecto al *time between spectra*. De todas formas se elige el valor de 0,01 s como tiempo para todas las demás medidas. Además no habría problemas en cuanto a la obtención de frecuencias de modulación en el rango de la fuerza de fluctuación (menos de 15 Hz) ya que detectaría frecuencias inferiores a 100 Hz. El problema podría venir con las frecuencias del roughness.

Análisis de FF (automatic freq. calculation)

Si se desactiva la opción de *Automatic freq. Calculation* y se calculan los valores de la fuerza de fluctuación con una frecuencia predefinida, se obtienen unos valores que a las frecuencias elegidas no muy diferentes que con la opción desactivada para esas frecuencias, además a otras frecuencias su valor se desvirtua mucho, como se puede ver en las figuras 16, 17 y 18 posteriores. Por ello cuando se realicen medidas de ruido de electrodomésticos se tendrá seleccionada la casilla *auto.freq. calculation* debido a que no se tendrá por adelantado ese valor de la frecuencia.

En las gráficas 16, 17 y 18 se puede observar los valores de la fuerza de fluctuación con una frecuencia fija para el análisis en el eje X. La primera gráfica consta de las 3 señales moduladas a 1 Hz, la segunda tiene las señales moduladas a 4 Hz y la tercera las señales a 16 Hz. Los únicos valores reales son en la primera gráfica el valor de 1 Hz, en la segunda gráfica el valor a 4 Hz y en la tercera gráfica el valor a 16 Hz. Estos son los valores reales ya que coinciden con los valores extraídos en el apartado anterior, con la frecuencia automática.

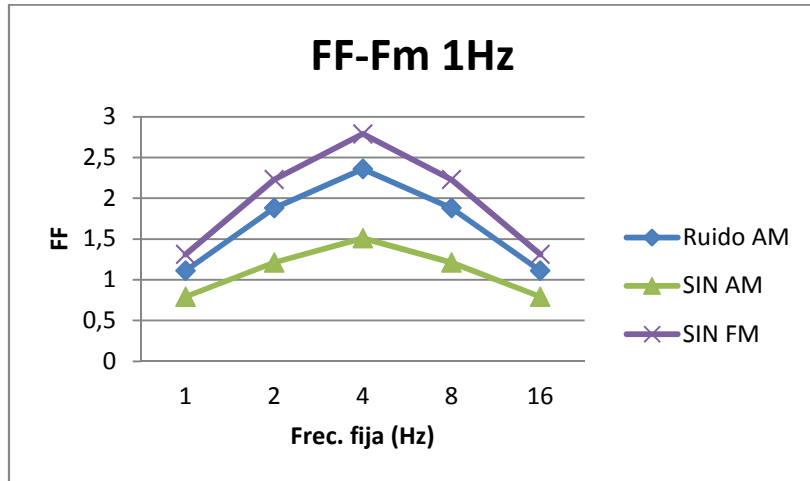


Fig.16. FF con la frec. fija con señales moduladas de 1 Hz

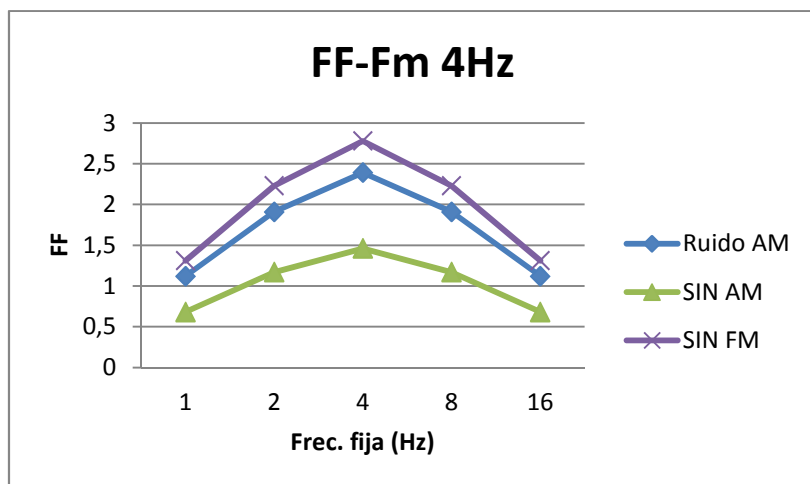


Fig.17. FF con la frec. fija con señales moduladas de 4 Hz

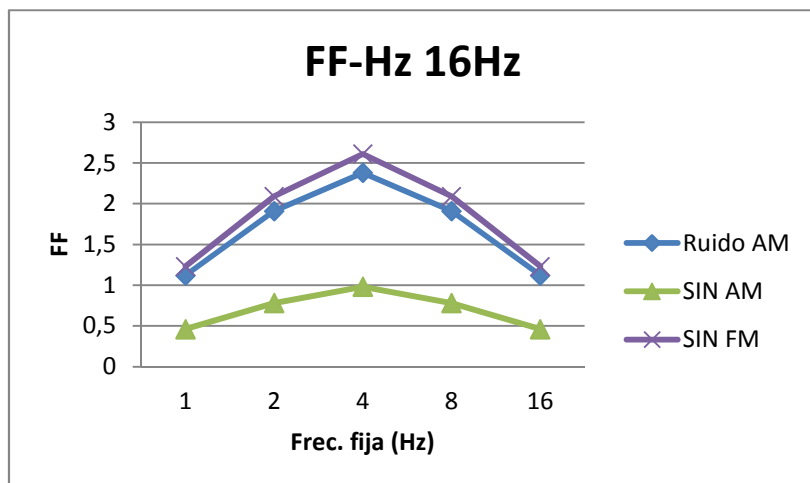


Fig.18. FF con la frec. fija con señales moduladas de 16 Hz

Análisis de FF con respecto al nivel de la señal

Este análisis no es tanto para probar el software, sino para ver las variaciones de la fuerza de fluctuación con respecto al nivel de señal de entrada. Se crea un proyecto de PULSE con las tres mismas señales de entrada y tres módulos de edición de nivel y se calcula la fuerza de fluctuación para las tres. Para ver la variación de nivel, se edita el nivel desde el módulo y se van extrayendo valores. Como antes se ha cogido el valor de 0,01s como valor óptimo para la extracción de medidas de la fuerza de fluctuación.

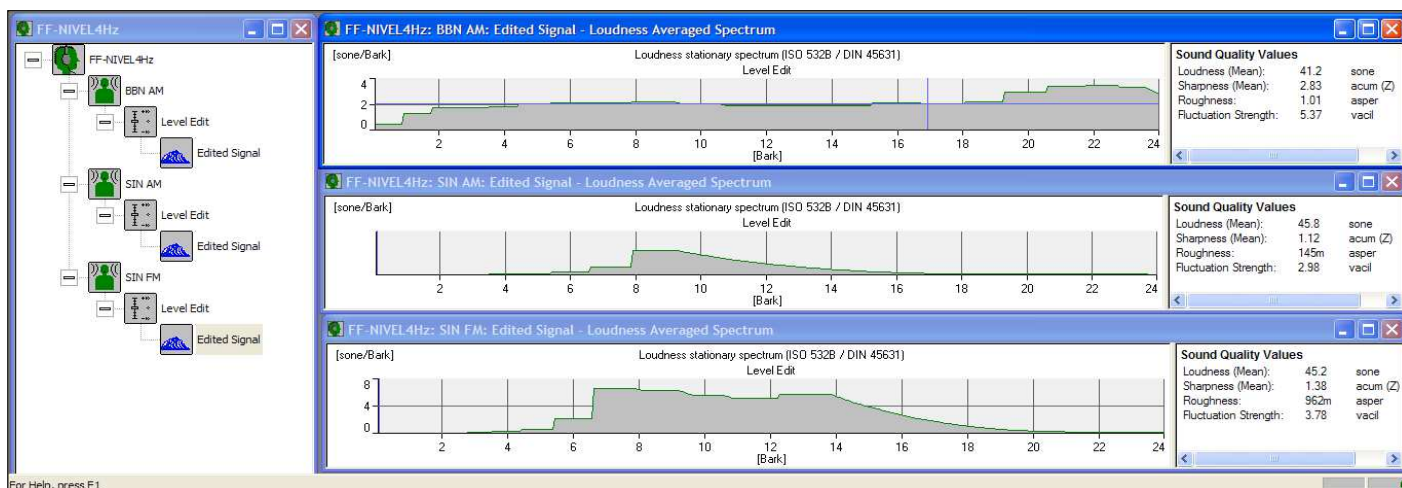


Fig.19. Ventana de Sound Quality con las opciones configuradas.

En los valores obtenidos se puede ver que el ruido modulado AM es el que más variación tiene, con una diferencia de 2,5 vaciles en 35 dB de variación y que los dos senos varían más o menos linealmente, con una diferencia de 1,5 vaciles en 35 dB de variación.

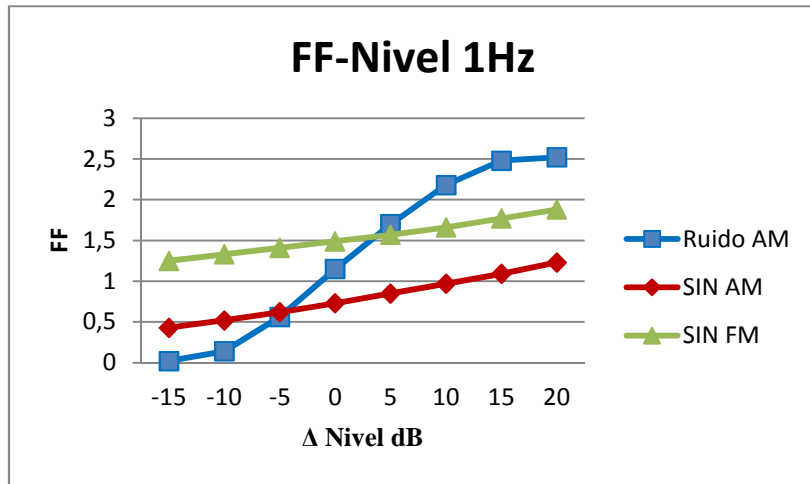


Fig.20. FF con respecto al nivel en dB con señales moduladas a 1 Hz

Al igual que en 1 Hz en 4 Hz también tenemos la mayor variación en el ruido modulado, con una diferencia mayor, de 5 vaciles y en los dos senos la diferencia es de 1,5 vaciles.

Se puede observar que los niveles de la fuerza de fluctuación máximos se producen en 4 Hz, como se expone teóricamente. La diferencia es bastante apreciable.

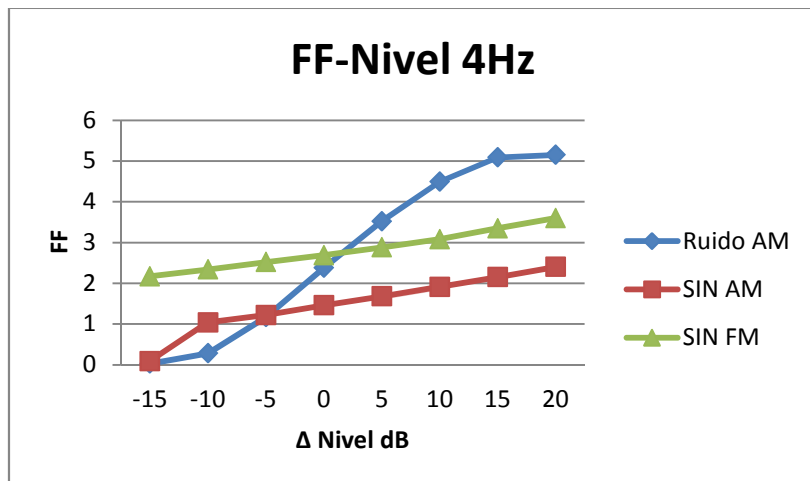


Fig.21. FF con respecto al nivel en dB con señales moduladas a 4 Hz

Finalmente los resultados a 16 Hz son de una diferencia entre niveles menor, que teniendo en cuenta que la formula de FF esta relacionada con la frecuencia de 4 Hz como la más molesta de este parametro, tienen sentido los resultados obtenidos.

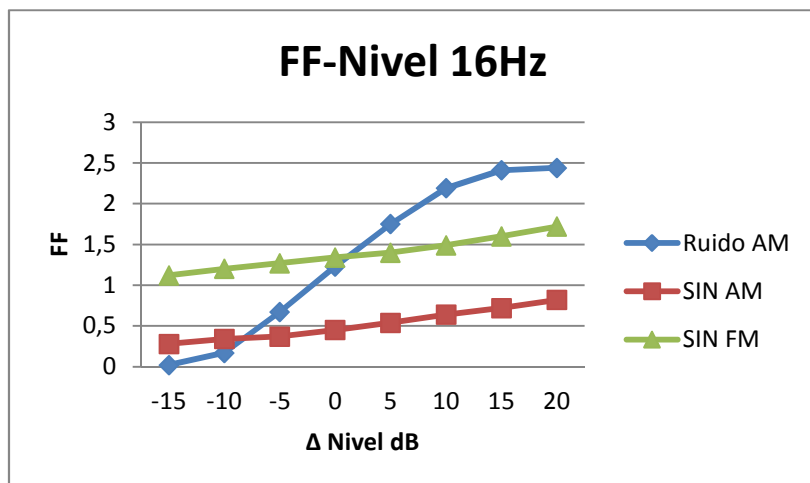


Fig.22. FF con respecto al nivel en dB con señales moduladas a 16 Hz

Concluyendo hay una diferencia al variar el nivel de la señal dependiendo de la composición espectral de la señal. Se puede apreciar claramente al comparar los dos senos y el ruido. El ruido en los tres casos (1 Hz, 4 Hz y 16 Hz) tiene una mayor variación de la fuerza de fluctuación en relación con los senos modulados.

Análisis del Roughness con respecto al *Time between spectra*.

Las señales analizadas en este apartado son similares a las utilizadas en el apartado anterior, con la diferencia de que son con frecuencias moduladoras de 20, 70 y 200 Hz.

La relación de el roughness con el *Time between spectra* es diferente ya que las frecuencias que tiene en cuenta el roughness son las frecuencias de modulación comprendidas entre 20 y 300 Hz. Por lo tanto los tiempos (de muestreo) deben ser más pequeños. El manual indica unos tiempos menores de entre 2 y 5 ms. Se haran pruebas entre 1 y 5 ms.

Como en la fuerza de fluctuación no se observan grandes diferencias entre tiempos excepto en 200 Hz, que hay una diferencia muy grande. Esta diferencia se hace patente a partir de 2 ms que es el humbral que pone en el manual para frecuencias de modulación grandes. Para esas frecuencias se sobremuestra.

Por lo tanto se concluye que el tiempo optimo entre espectros es 1,5 ms ya que un tiempo inferior no afecta en gran manera al tiempo de computación en ninguno de los casos de cada frecuencia y un tiempo mayor afecta ampliamente a los resultados de las pruebas.

Además se puede observar que, como en la fuerza de fluctuación, los mayores valores del roughness se producen con ruido modulado AM y con un seno modulado FM.

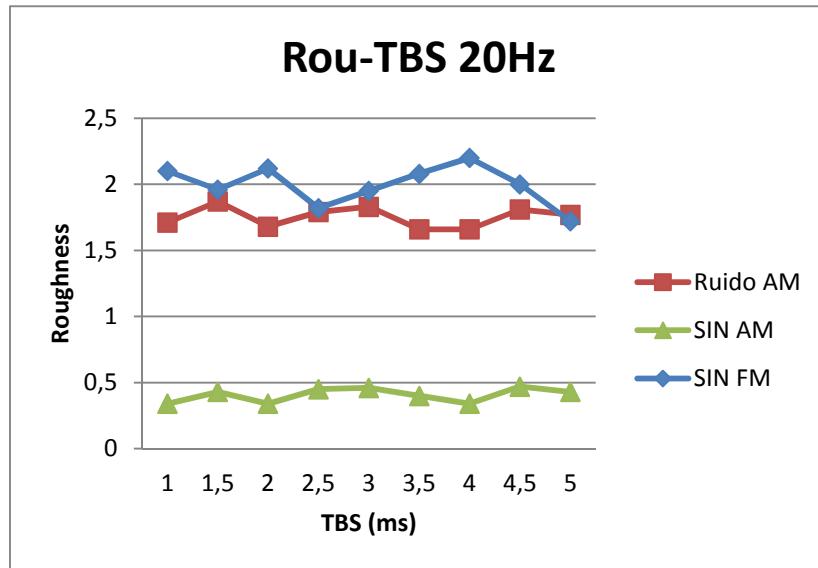


Fig.23. Roughness en funcion del TBS con señales de modulación de 20 Hz

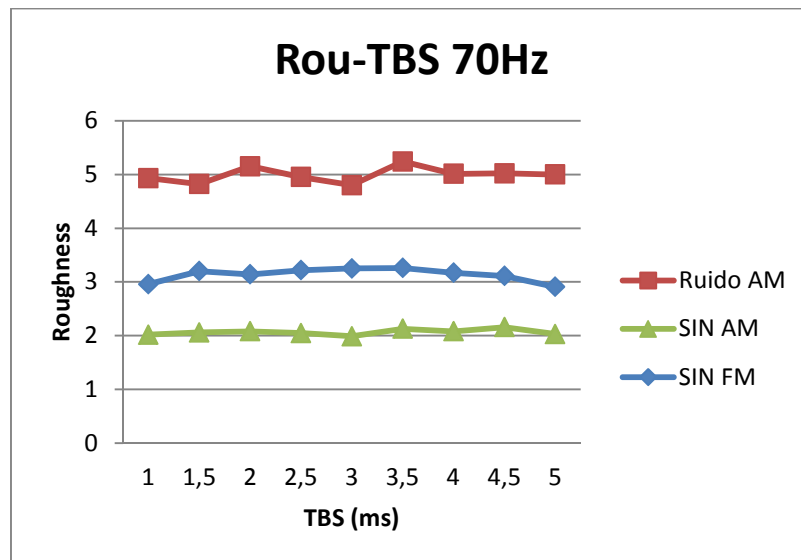


Fig.24. Roughness en funcion del TBS con señales de modulación de 70 Hz

En la figura 25 se puede observar que en 2.5 ms el valor de roughness queda sobremuestreado y no capta las frecuencias de modulación. Para el ruido modulado AM se puede observar claramente cómo el nivel de roughness baja de 5.5 asper a 4 variando el Time between spectra de 2 a 2.5 ms. De 2.5 ms en adelante también decae el roughness.

En los niveles del SIN AM y el SIN FM también se observan diferencias a partir de 2 ms pero son menos apreciables debido a que su nivel es inferior.

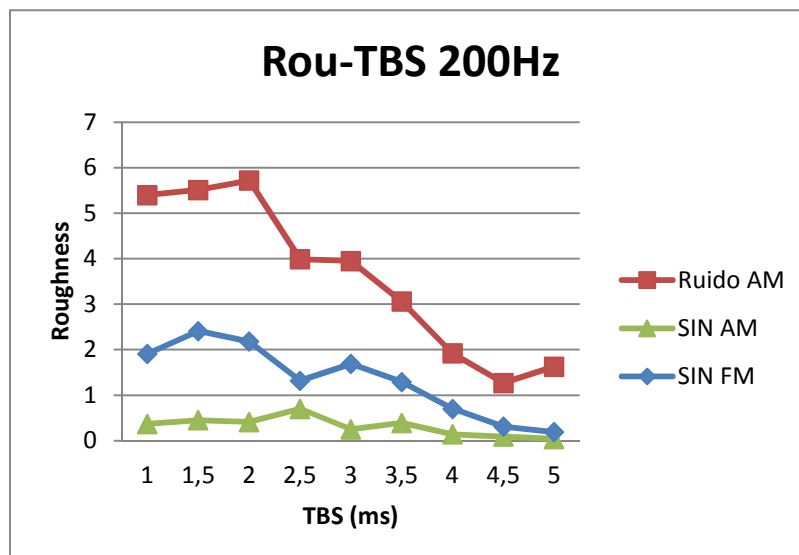


Fig.25. Roughness en función del TBS con señales de modulación de 200 Hz

Variación del roughness con respecto al nivel de señal

Para establecer una relación de la variación de nivel con el roughness, se hace la misma operación que en la fuerza de fluctuación, con diferentes proyectos de PULSE se insertan editores de nivel y se va extrayendo el parámetro de roughness.

Analizando las 3 medidas de las 3 frecuencias, se ve que como propone Zwicker, el mayor nivel de roughness se observa en 70 Hz. En 200 Hz también se ve que el ruido modulado AM tiene un nivel elevado, pero en los 3 tipos de modulación los niveles de 70 Hz son más elevados.

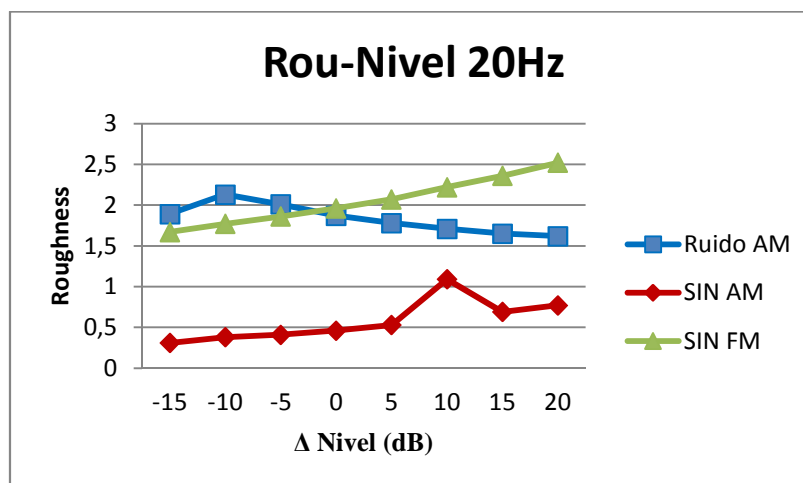


Fig.26. Roughness con respecto al nivel en dB con señales moduladas a 20 Hz

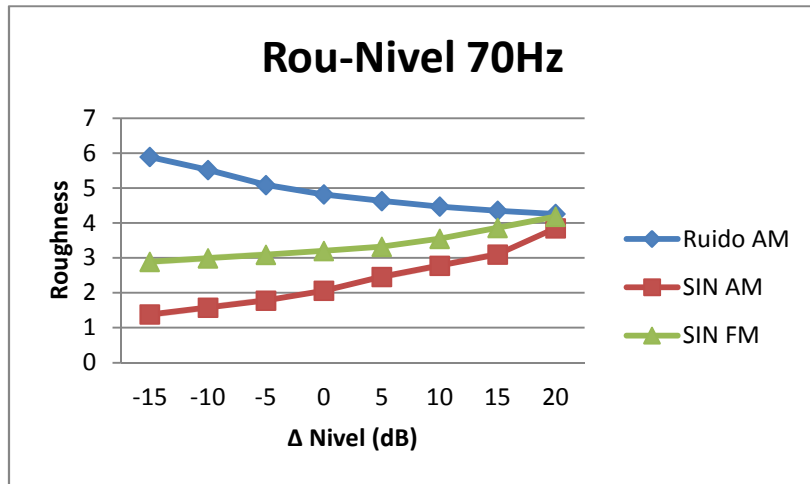


Fig.27. Roughness con respecto al nivel en dB con señales moduladas a 70 Hz

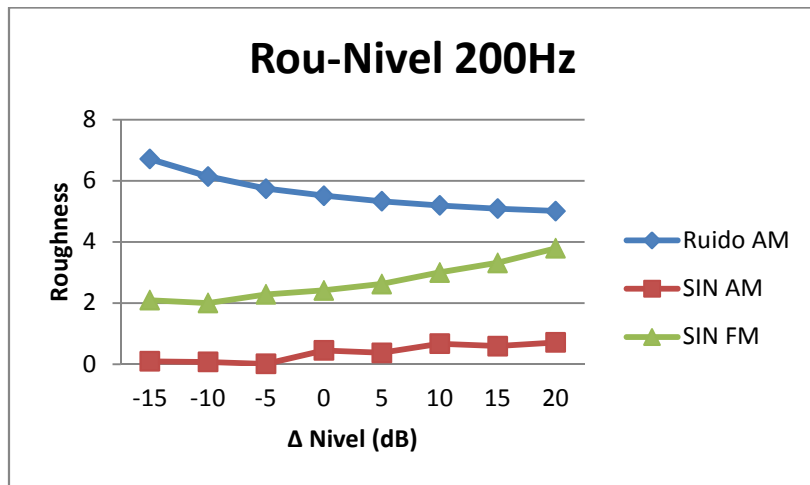


Fig.28. Roughness con respecto al nivel en dB con señales moduladas a 200 Hz

Si que existe dependencia del nivel de la señal debido a que la formula del roughness tiene en cuenta el factor de modulación de la señal.

Análisis del Sharpness

Para el análisis del sharpness no hace falta hacer una prueba del tiempo entre espectros para saber si el análisis de PULSE es correcto, ya que no es un parámetro que tenga en cuenta modulaciones y calcula el parámetro con los distintos valores del loudness a cada frecuencia.

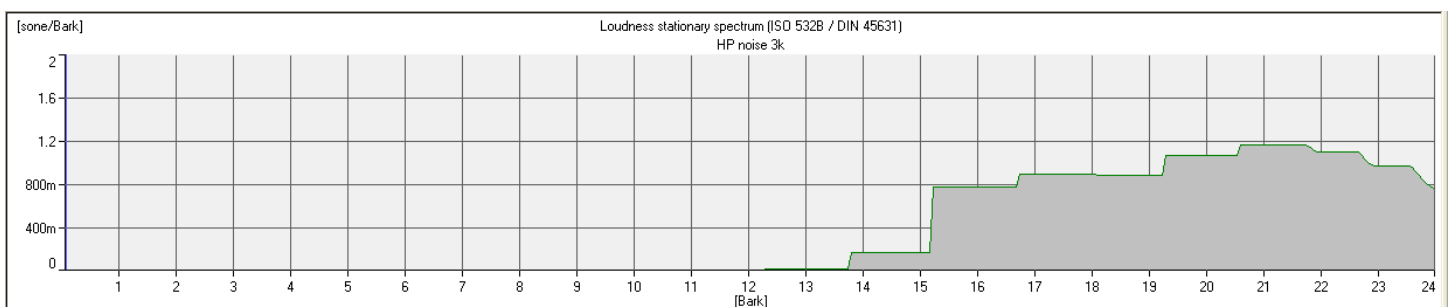


Fig.29. Ruido enventanado paso alto 3K

El valor del sharpness es de 4,85 acum.

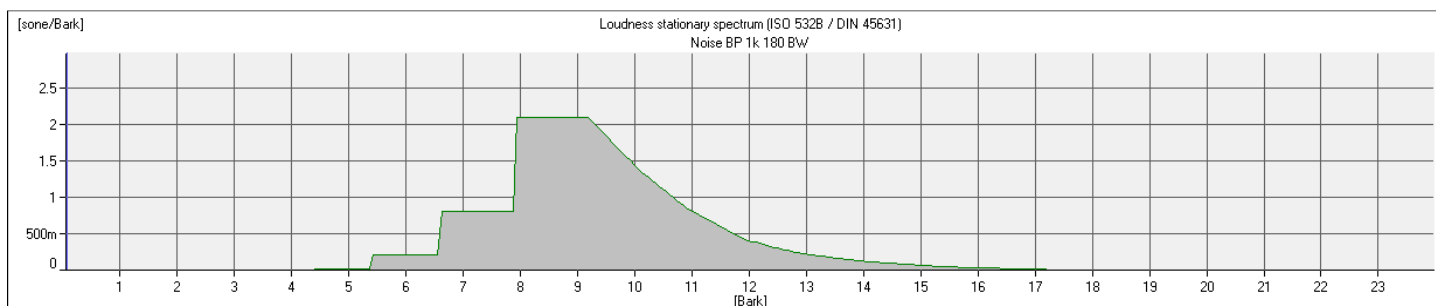


Fig.30. Señal de ruido inventanada en 1k BW 180 Hz.

El valor del sharpness es de 1,02 acum.

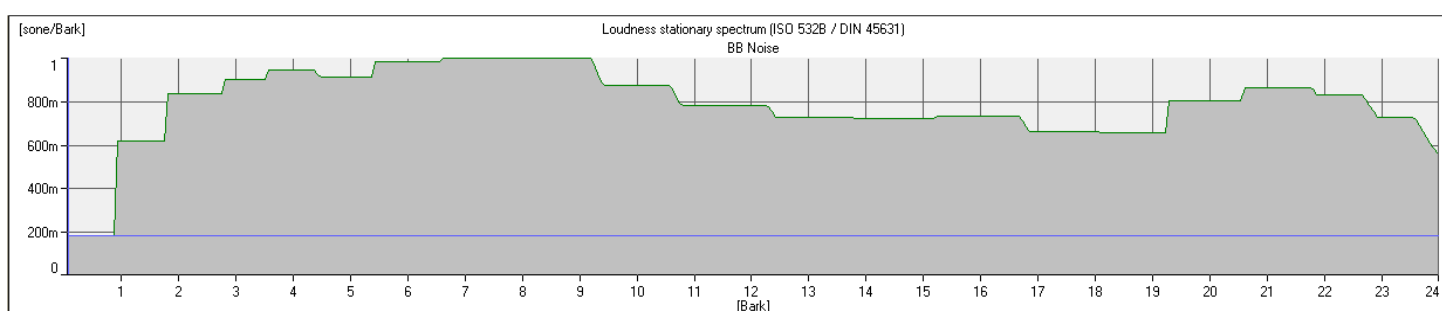


Fig.31. Ruido banda ancha

El valor del sharpness es de 2,26 acum.

El sharpness en el software PULSE tiene una pequeña dependencia del nivel de la señal a evaluar. Esta dependencia no es lineal.

En la señal de ruido paso alto a partir de 3KHz, con una amplificación de 20 dB pasa de los 4,85 acum a los 4,81 y -20 dB pasa a ser 4,97 acum

Para la señal de ruido inventanado en 1KHz 180 Hz de BW, que tiene 1,02 acum de sharpness, con 20 dB más pasa a tener un sharpness de 1,08 acum. Por el contrario bajándola 20 dB la señal continua teniendo 1,02 acum.

Para el ruido de banda ancha que tiene 2,26 acum, subiendo la señal 20 dB pasa a tener 2,22 acum y bajándola 20 dB pasa a tener 2,32 acum.

En general la señal tiene muy poca dependencia del nivel de la señal. Esta dependencia no debería existir ya que se ha elegido calcular el sharpness mediante la fórmula de Zwicker, que no tiene dependencia del nivel de la señal.

Análisis del Loudness

Analizando el parámetro de sonoridad, se puede ver que como dice la teoría, el software también multiplica por 2 la sonoridad cuando se suben 10 dB el nivel. En la figura 32 se analizan 3 tonos puros a diferentes frecuencias (250 Hz, 1kHz y 3kHz) y se va variando el nivel de las señales para observar este cambio de loudness.

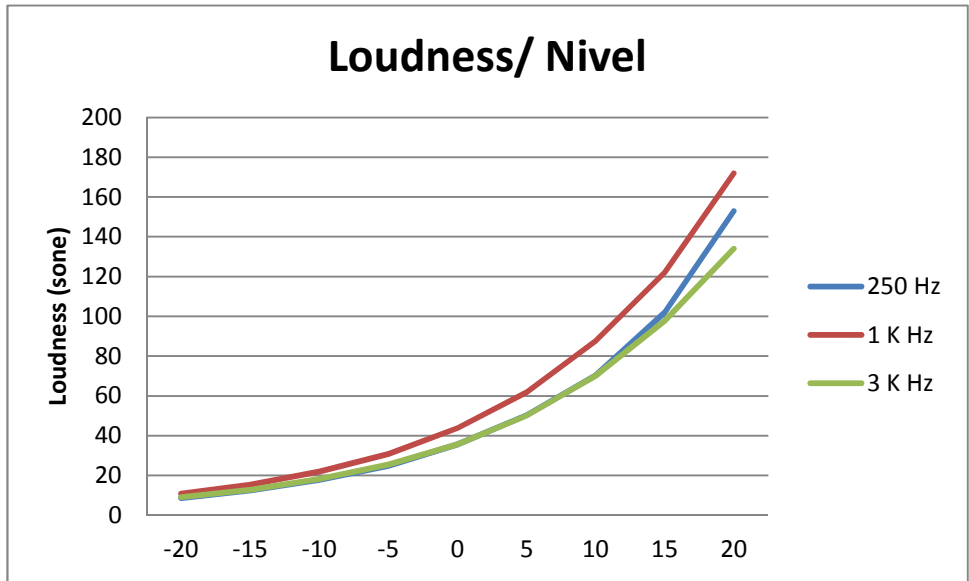


Fig.32. Loudness variando el nivel

Enmascaramiento frecuencial

En relación con el enmascaramiento, hay diferentes tipos de enmascaramiento frecuencial. Uno de ellos es el que se produce cuando un sonido de una frecuencia es enmascarado por otro que contiene frecuencias que cubren a esa frecuencia del primer sonido. Como se puede observar en las imágenes siguientes de unos tonos de 1 KHz semi-enmascarados por ruido, con el loudness ocurre lo mismo. El loudness de los sonidos a la vez reduce el loudness de los tonos es decir, los enmascara.

La señal sin1, primera gráfica, es un seno a 1 KHz de nivel de pico de 61 dB

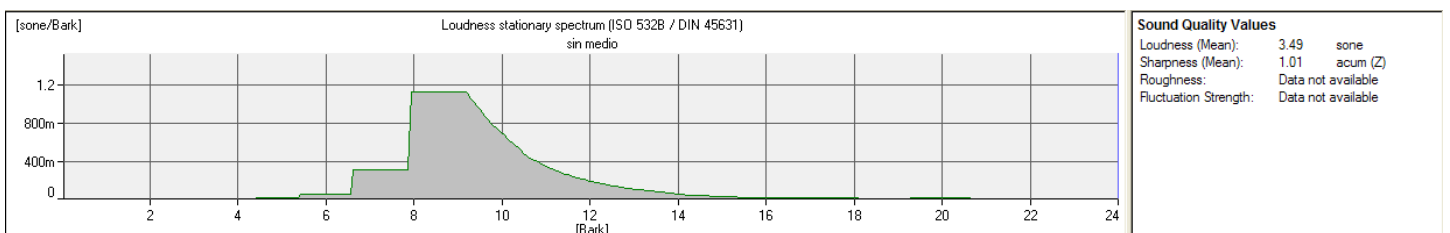
La señal sin2, segunda gráfica, es un seno también a 1 KHz con un nivel de pico de 71 dB.

El nivel de ruido es de 57.6 dBA. (Tercera gráfica).

Las 2 últimas gráficas son la suma del sin1 con el ruido y la suma del sin2 con el ruido. Con esto se aprecia que en el lugar donde se encuentra el tono puro va siendo ocultado por el ruido en el sin1, que es de menor nivel que el sin2.

Señal	Sin 1	Sin 2	Ruido	Ruido+Sin 1	Ruido+Sin 2
Loudness (sone)	3.49	7.01	12.2	13	15.6

Tabla.1. Enmascaramiento de diferentes senos con diferentes ruidos



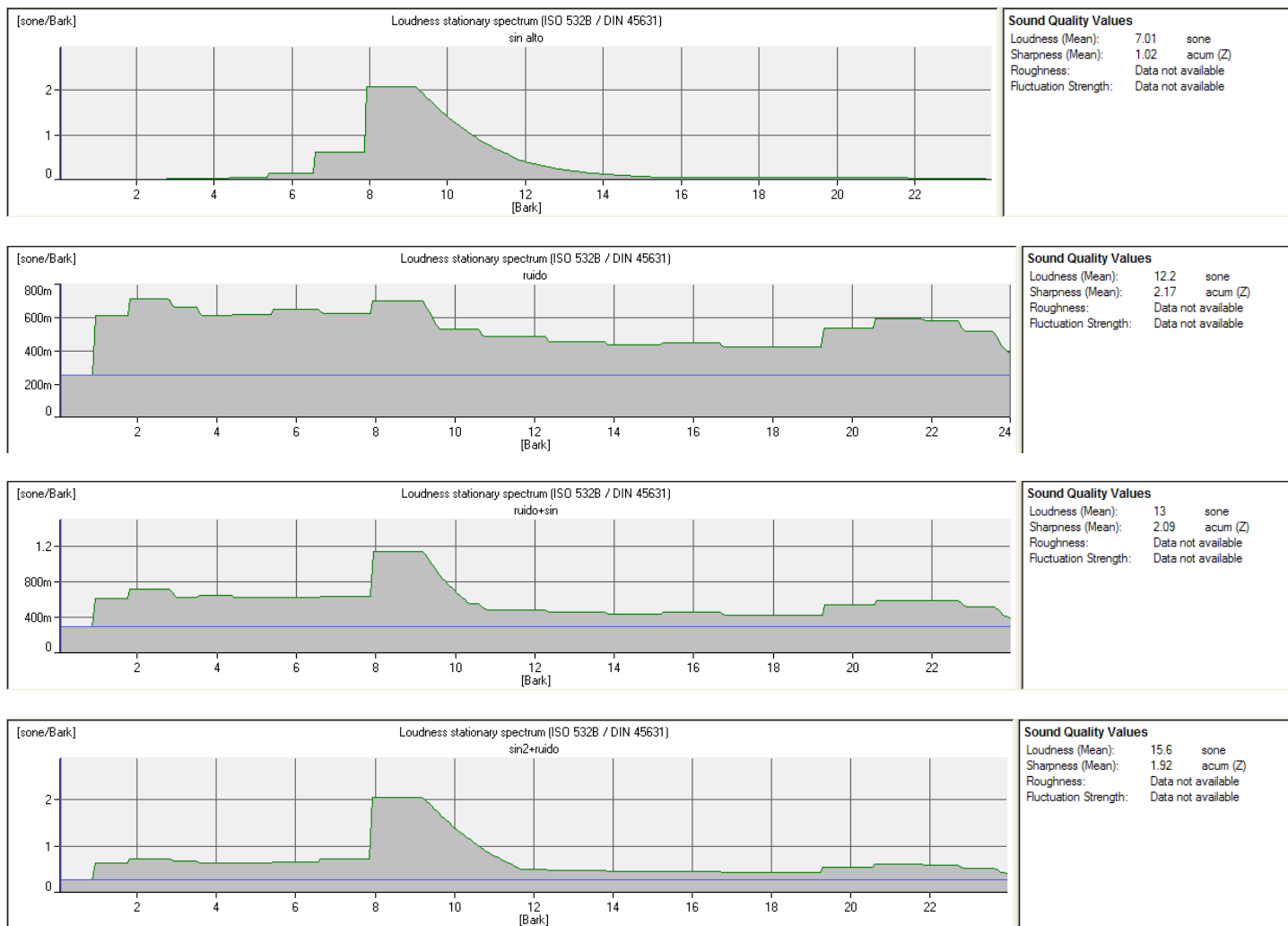


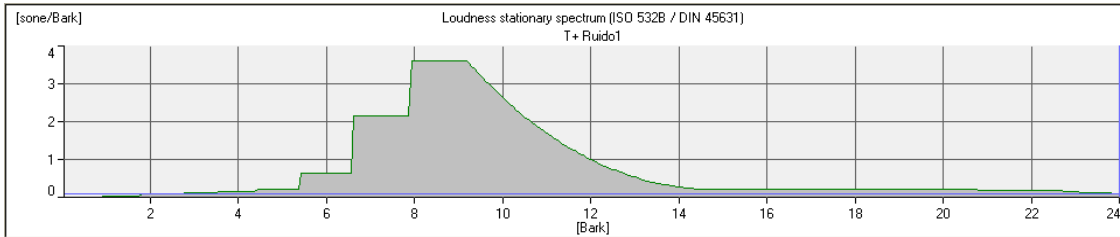
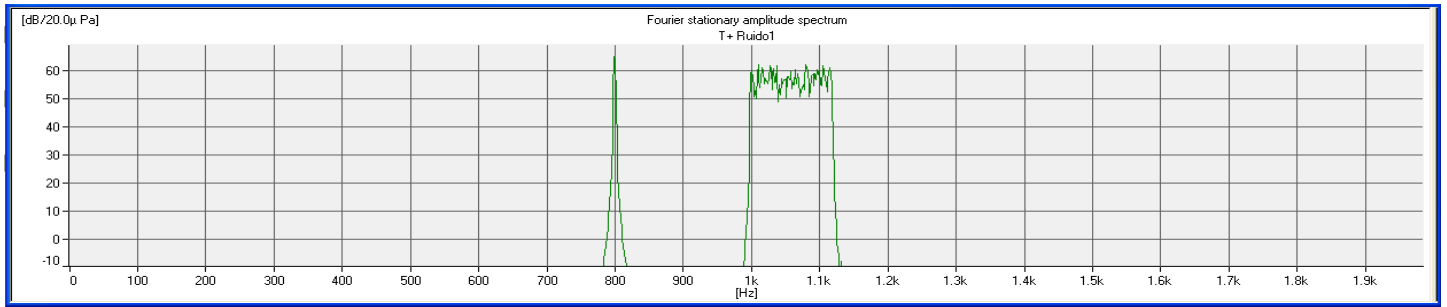
Fig.33. Tono puro enmascarado a diferentes niveles con ruido de banda ancha.

Otro tipo de enmascaramiento se produce cuando tenemos un ruido de banda estrecha y un tono de frecuencia inferior a la frecuencia mínima de ese ruido. El ruido enmascara parcialmente el tono.

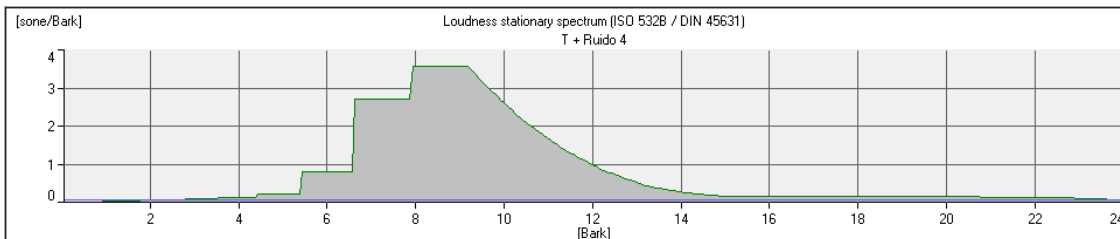
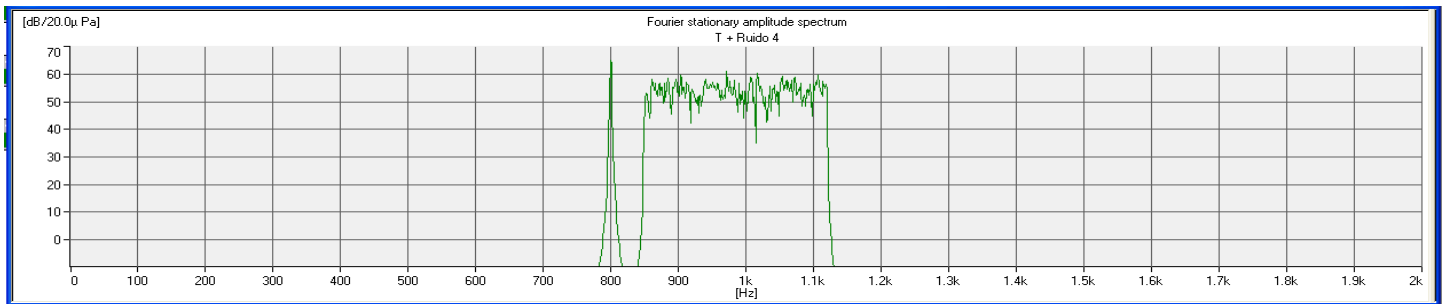
Las señales a evaluar son un tono de 800Hz de 69 dB de pico, y un ruido de banda estrecha que cuya frecuencia central se va acercando al tono de 800 Hz. Los ruidos son Ruido1, Ruido 4 y Ruido 5.

Señal	Tono	Tono+Ruido1	Tono+Ruido4	Tono+Ruido5
Loudness (sone)	7.23	14.9	15.7	14.9

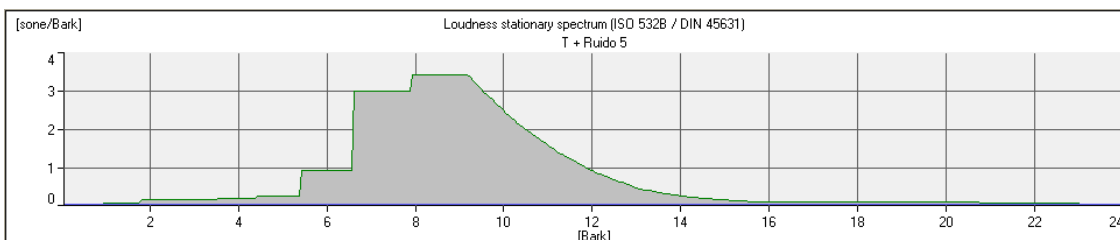
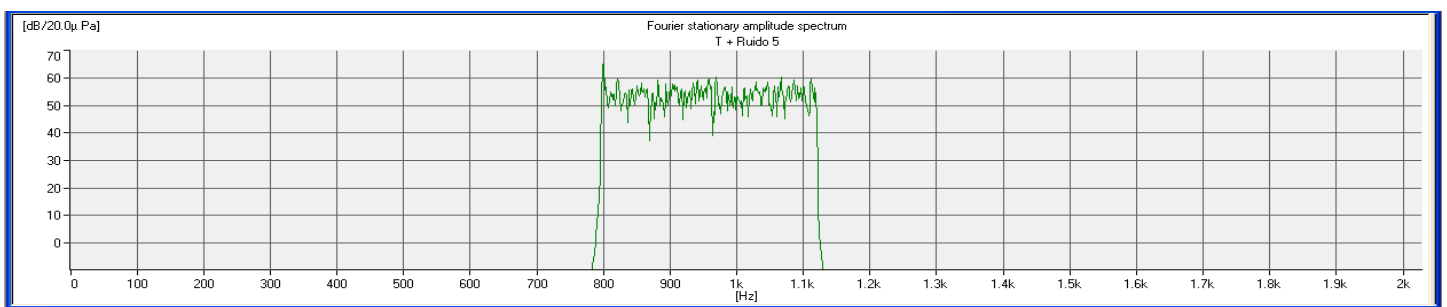
Tabla.2. Enmascaramiento de diferentes senos con diferentes ruidos de banda estrecha



Sound Quality Values	
Loudness (Mean):	14.9 sone
Sharpness (Mean):	1 acum (Z)
Roughness:	Data not available
Fluctuation Strength:	Data not available



Sound Quality Values	
Loudness (Mean):	15.7 sone
Sharpness (Mean):	988m acum (Z)
Roughness:	Data not available
Fluctuation Strength:	Data not available



Sound Quality Values	
Loudness (Mean):	14.9 sone
Sharpness (Mean):	964m acum (Z)
Roughness:	Data not available
Fluctuation Strength:	Data not available

Fig.34. Enmascaramiento frecuencial con ruido de banda estrecha

Enmascaramiento temporal

Además de este tipo de enmascaramiento también existen efectos temporales que hacen que cambie la sonoridad de forma diferente con respecto al tiempo. En el siguiente caso se puede ver como varío la sonoridad dependiendo del tiempo de duración del pulso. Al principio del pulso la señal no alcanza su nivel máximo hasta medio milisegundo después de haber empezado y para finalizar decae totalmente a los 2 ms. Esto hace que si un pulso es muy corto su nivel será menor porque no llegará al máximo como en el tercer caso de la figura 35.

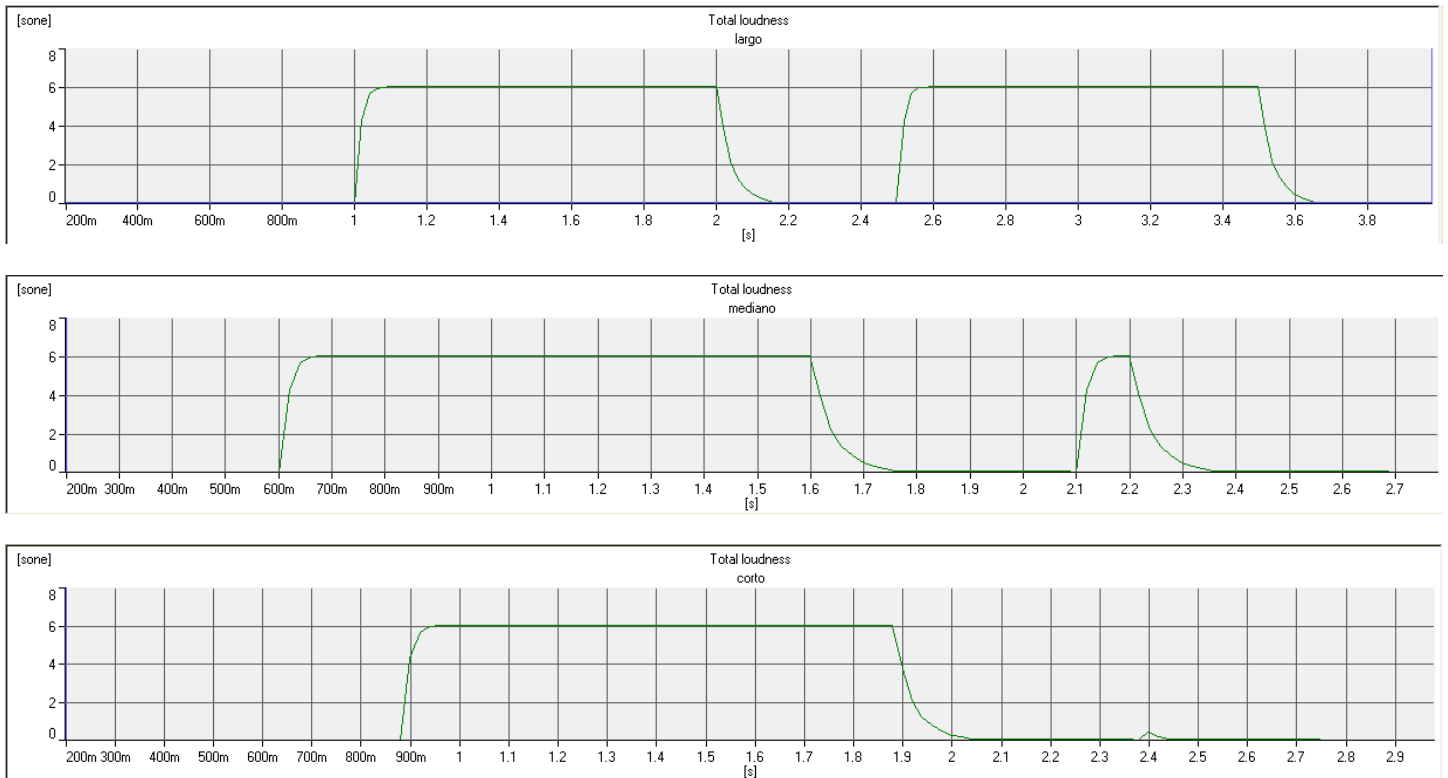


Fig.35. Enmascaramiento temporal

Análisis de ruidos de bases de datos de electrodomésticos

Después del análisis de señales predefinidas se procede a hacer otro análisis de ruidos descargados de internet para ver los posibles resultados que se obtendrán después de las mediciones.

Análisis de un microondas

Partiendo de que uno tiene una diferencia de nivel de 13 dB con el otro, en los demás parámetros se puede ver que los valores del roughness y el sharpness son parecidos, pero la fuerza de fluctuación es mayor pese a que el nivel del microondas es 0.26 veces más elevado. Esto no es muy apreciable cuando es escuchado.

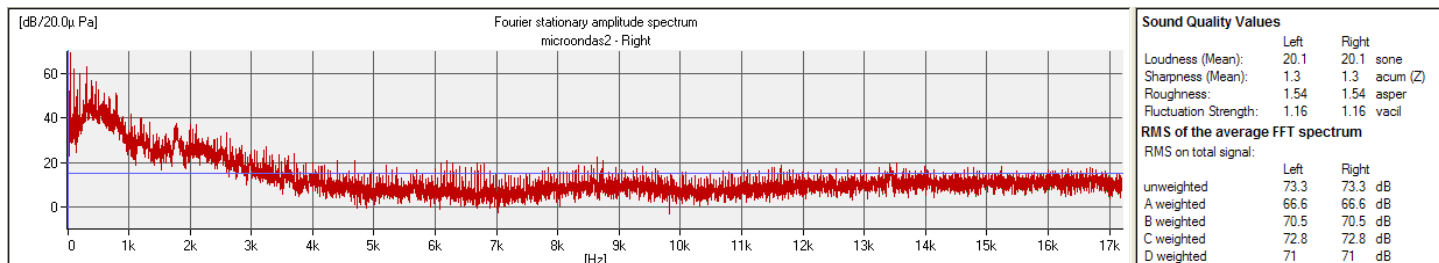
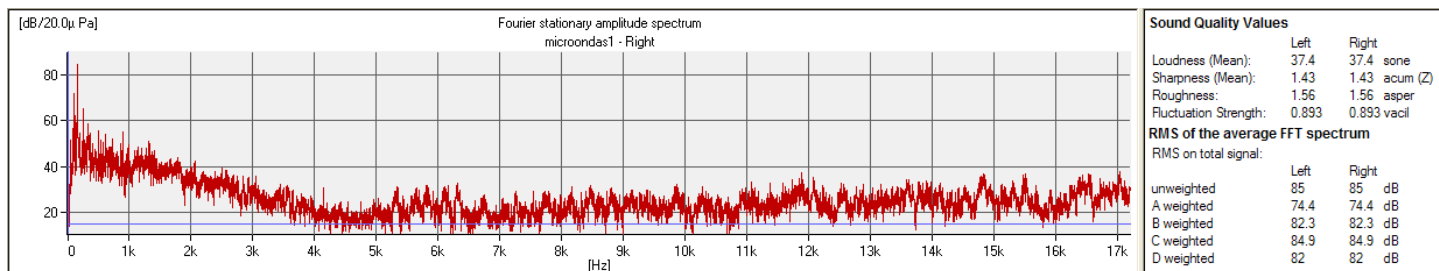


Fig.36. Espectro de los microondas con los valores de calidad del Pulse

Análisis de secador de pelo

Se analizará un secador de pelo a distinta potencia (velocidad del motor). Los dos ejemplos se calibran con el mismo nivel de entrada en dBA y se calculan los parámetros de calidad del sonido.

El sharpness es mayor ya que a alta velocidad el espectro de la señal a altas frecuencias es mayor que en el caso de baja potencia.

Las diferencias en el roughness y la fuerza de fluctuación son inapreciables.

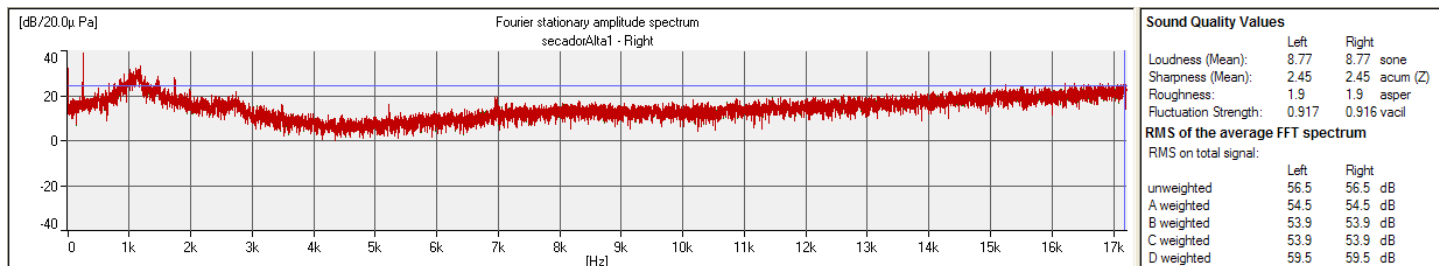
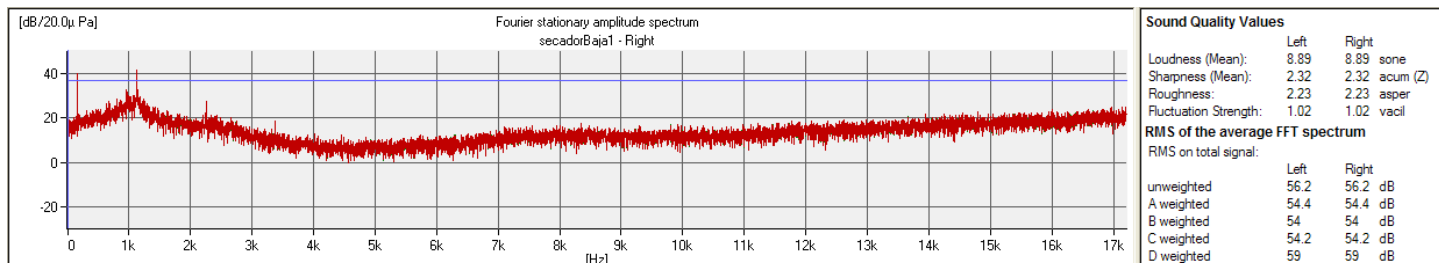


Fig.37. Análisis de un secador de pelo a distintas potencias

5.2.-Análisis de las mediciones

Primeramente se van a evaluar los resultados obtenidos en cada uno de los electrodomésticos por separado, teniendo en cuenta los resultados obtenidos mediante PULSE, luego se evaluarán los resultados obtenidos mediante las pruebas subjetivas y finalmente se analizarán los resultados comparándolos entre los dos tipos de pruebas y entre los mismos electrodomésticos.

Se vuelven a poner los modelos de los electrodomésticos para no tener que volver atrás.

Secadores

Secador 1 - Ufesa free style 1200

Secador 2 - Philips silence 1000

Secador 3 - Iberic turbo 1400

Secador 4 - Ufesa top line 1600

Secador 5 – (secador de publicidad)

Extractores

Extractor 1 - Bosh DHI 625 P

Extractor 2 - Mepamsa

Extractor 3 – Marca desconocida Sin nombre (viejo)

Extractor 4 - Fagor (viejo)

Lavadoras

Lavadora 1 - Zanussi essential (1000 rpm)

Lavadora 2 - Fagor FS-3612x (1200 rpm)

Lavadora 3 - Corbero LD 2250 M (*)

Lavadora 4 - Lynx ts-750 (900 rpm)

Lavadora 5 - Edesa 94 (900 rpm)

Microondas

Microondas 1 – Ufesa Compact grill 190

Microondas 2 - Teka MW17 IVS inox

Microondas 3 - AEG Micromat 120

Microondas 4 - Lynx 4WG-324

Microondas 5 - LG md 2642

Aspiradoras

Aspiradora 1 - Ufesa compact 1300 electronic

Aspiradora 2 - Miele parkett 5000

Aspiradora 3 - ALFA Ciclone 7900

Aspiradora 4 - Bosch bag bagless 2000 watos

Aspiradora 5 - Fagor vce-306

Aspiradora 6 - Iroomba-581

Los resultados del L_{Aeq} y del loudness obtenidos son los siguientes:

	Nivel Medio (dB)	Loudness Medio (sone)
Secadores	75,6	35,1
Extractores	65	20,6
Microondas	53,2	8,9
Lavadoras	67,6	24,3
Aspiradoras	76,6	39,2

Tabla.3. Medias de los niveles de todos los electrodomésticos

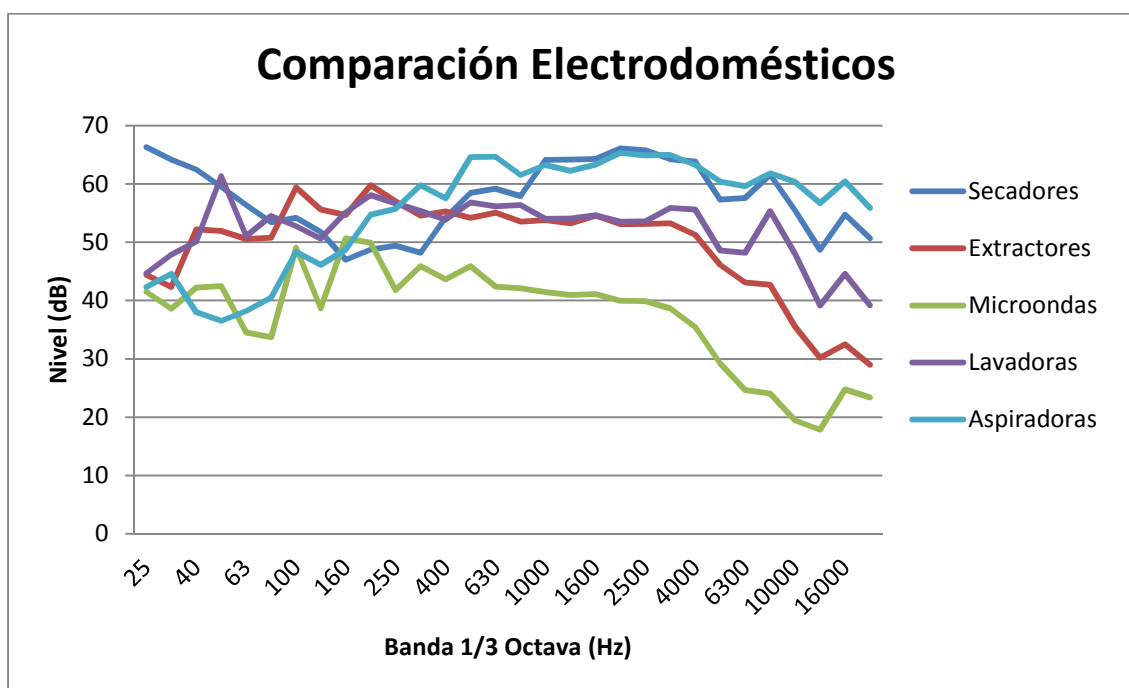


Fig.38. Espectro de las medias de los electrodomésticos

Se puede ver que los secadores tienen el nivel máximo a bajas frecuencias, valores de presión mayores de 55dB a frecuencias menores de 100 Hz, debido a la presencia del aire. También en altas frecuencias sobresalen de los demás electrodomésticos debido a que el aire atraviesa conductos y hace que entre 1 KHz y 4 KHz sean mayores de 60 dB y a partir de 4KHz los valores estén entre 60 y 50 dB. Sólo entre 160 Hz y 400 Hz baja el nivel de los 50 dB.

Los extractores tienen un espectro más o menos plano entre 50 y 60 dB por debajo de 4KHz, de ahí en adelante su nivel baja a 40 dB en 6 KHz y a 30 dB de 10 KHz en adelante. Este espectro es provocado por los motores de los extractores y a que los conductos donde se producen las resonancias son más anchos que, por ejemplo, en los secadores o en las aspiradoras.

Lo mismo que con los extractores pasa con las lavadoras, tienen un espectro más o menos plano en frecuencias medias-bajas con los mismos niveles que los extractores, con la diferencia de que

a altas frecuencias las lavadoras mantienen su nivel de 50-60 dB hasta los 6 KHz y bajan a 40dB por encima de estas frecuencias. Esto se debe a la fricción que tienen los tambores de las lavadoras, que producen altas frecuencias.

En los microondas no se aprecia ninguna banda con un nivel mayor que 50 dB. Pese a ello las frecuencias medias-bajas tienen un nivel mayor que las frecuencias altas, que a partir de 2.5KHz pasan de un nivel medio de 40 dB a bajar hasta los 20 dB.

Para las aspiradoras las bajas frecuencias son muy reducidas, entre 35 y 45 dB, debido a que lo que más ruido genera es el tubo por donde sale el aire es un conducto pequeño que excita las frecuencias altas, que tienen niveles por encima de 55 dB de 1KHz en adelante. Las bajas frecuencias de las aspiradoras tienen un nivel parecido al de las bajas frecuencias de los microondas.

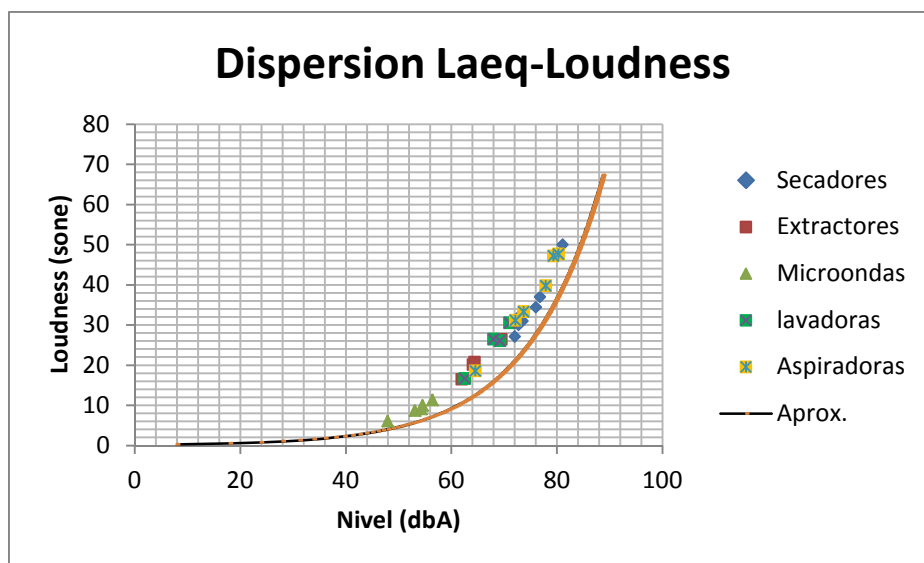


Fig.39. Grafico de dispersión Loudness/ L_{Aeq}

En la siguiente tabla se ponen los niveles de cada uno de los electrodomésticos a evaluar:

	L_{Aeq}	Loudness Medio
Secador 1	72,7	31,0
Secador 2	72,0	27,1
Secador 3	76,7	37,0
Secador 4	81,0	50,0
Secador 5	76,0	34,4

	L_{Aeq}	Loudness Medio
Extractor 1	69,5	26,3
Extractor 2	64,1	20,1
Extractor 3	62,0	16,4
Extractor 4	64,4	20,7

	L_{Aeq}	Loudness Medio
Microondas 1	56,4	11,3
Microondas 2	53,1	8,6
Microondas 3	47,9	6,1
Microondas 4	54,3	9,1
Microondas 5	54,5	10,0

	L_{Aeq}	Loudness Medio
Lavadora 1	71,0	30,6
Lavadora 2	69,2	26,1
Lavadora 3	53,8	8,5
Lavadora 4	62,5	16,6
Lavadora 5	68,0	26,4

	L_{Aeq}	Loudness Medio
Aspirador 1	72,1	31,2
Aspirador 2	77,9	39,8
Aspirador 3	80,3	47,7
Aspirador 4	79,3	47,2
Aspirador 5	73,7	33,4
Aspirador 6	64,5	18,6

Tabla.4. Nivel-Sonoridad de todos los electrodomésticos individualmente

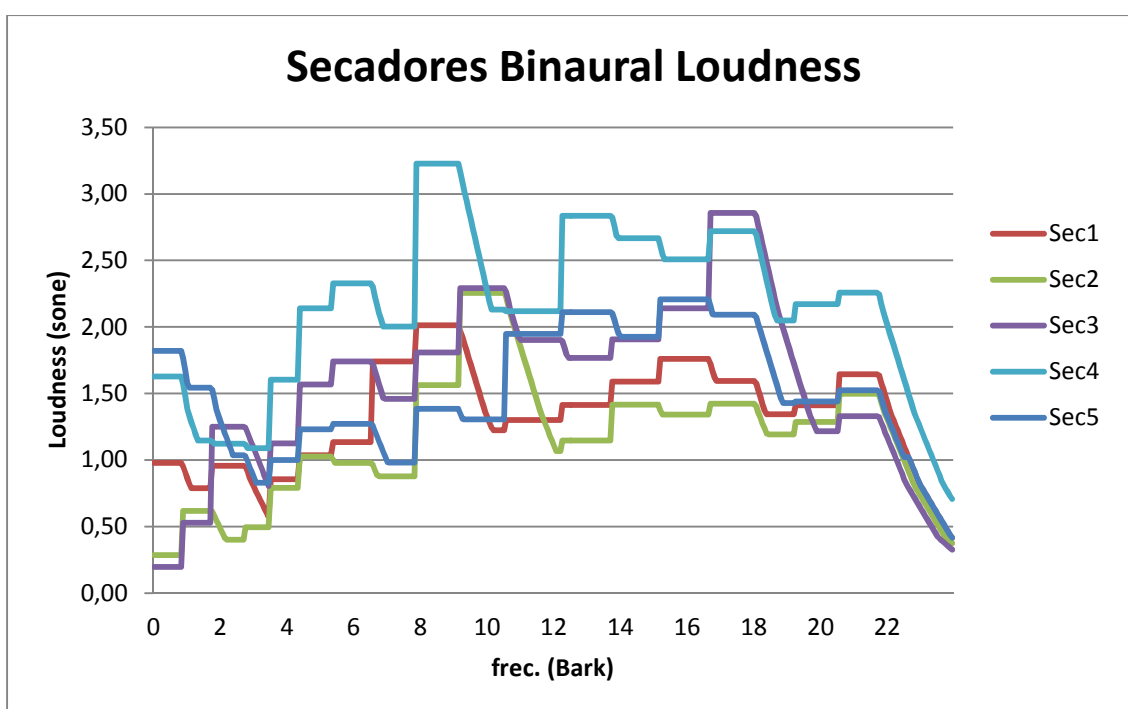


Fig.40. Espectro del Loudness de todos los secadores

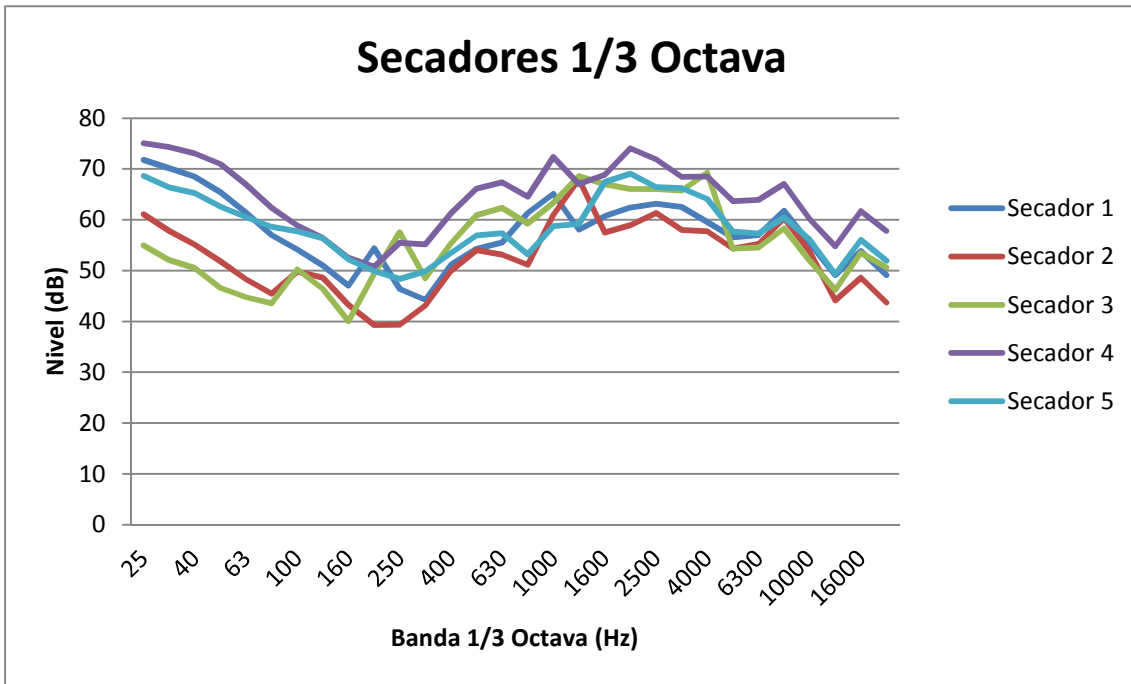


Fig.41. Espectro del Laeq de todos los secadores

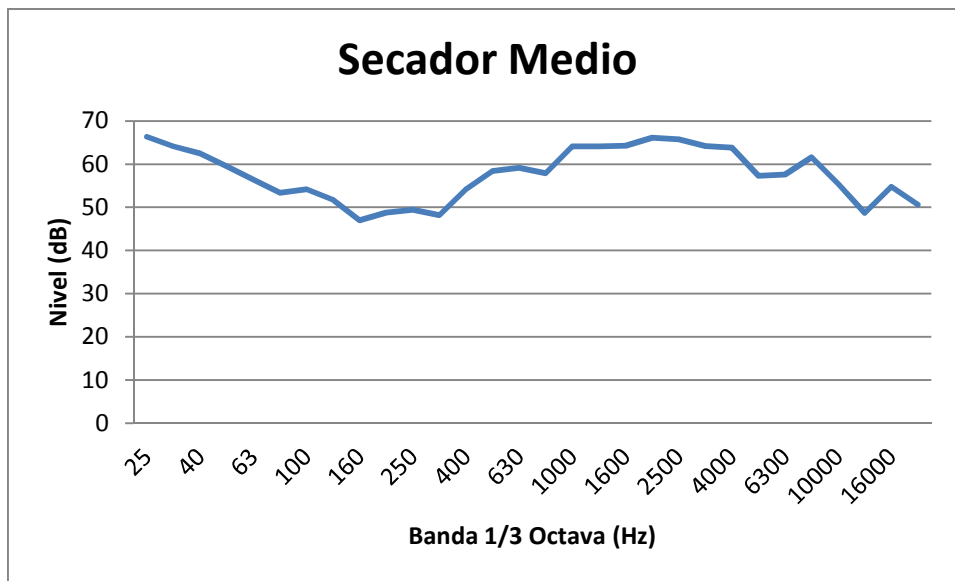


Fig.42. Espectro medio de los secadores

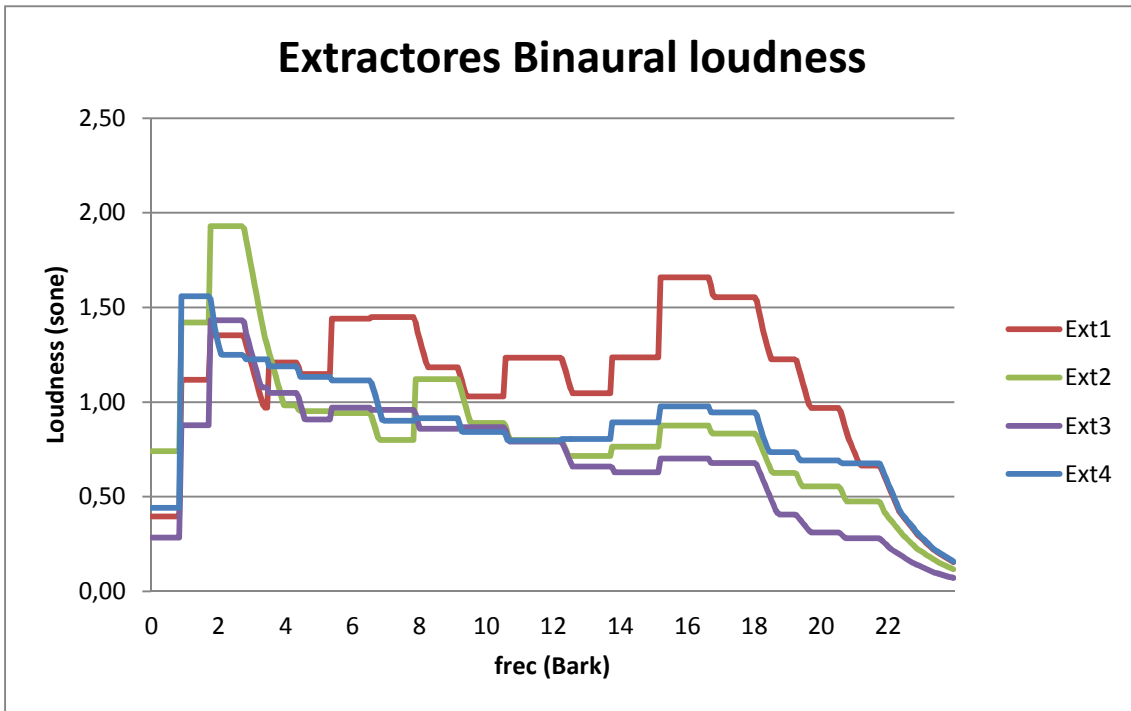


Fig.43. Espectro del Loudness de todos los extractores

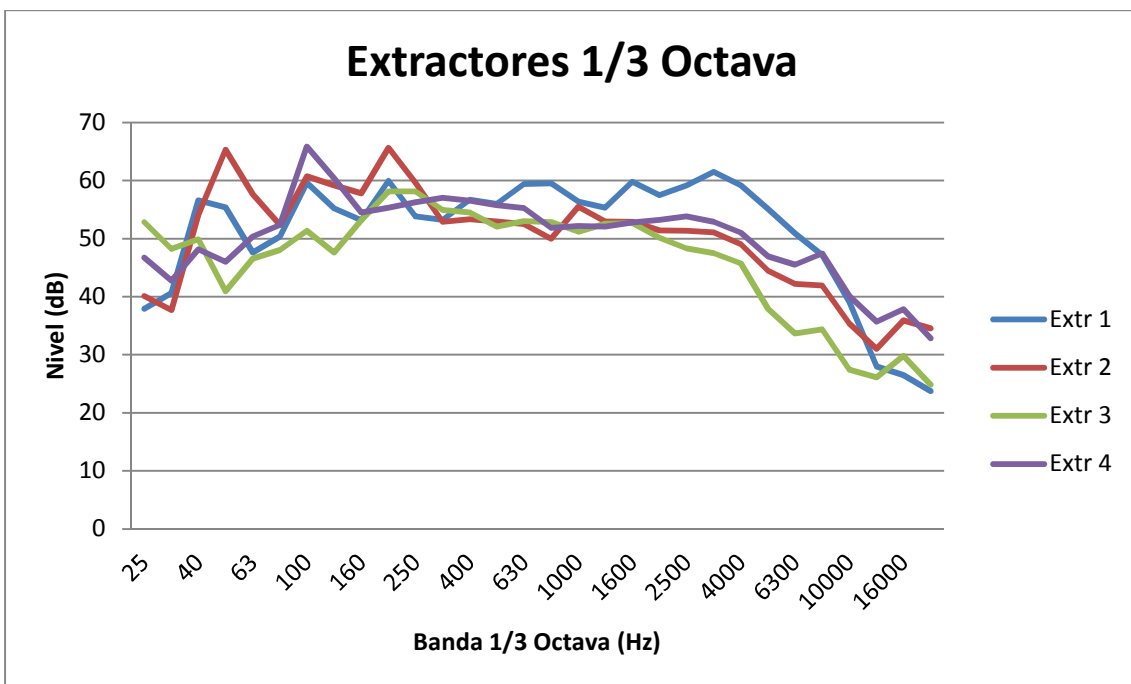


Fig.44. Espectro del Laeq de todos los extractores

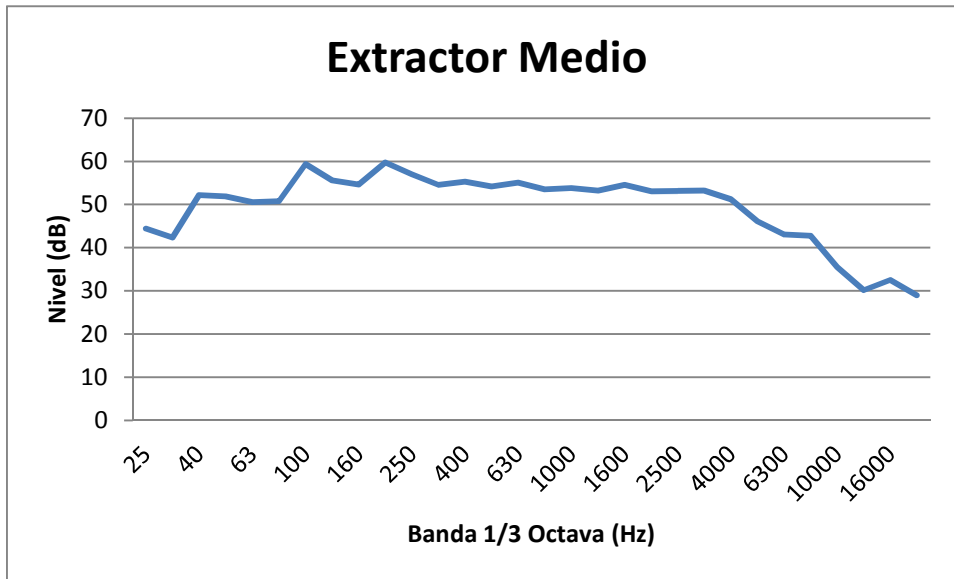


Fig.45. Espectro medio de los extractores

Para los extractores se extrae que de media salen unos valores de 65 dB y 20.6 sone. Es el tipo de electrodomésticos con segundo menor nivel y sonoridad.

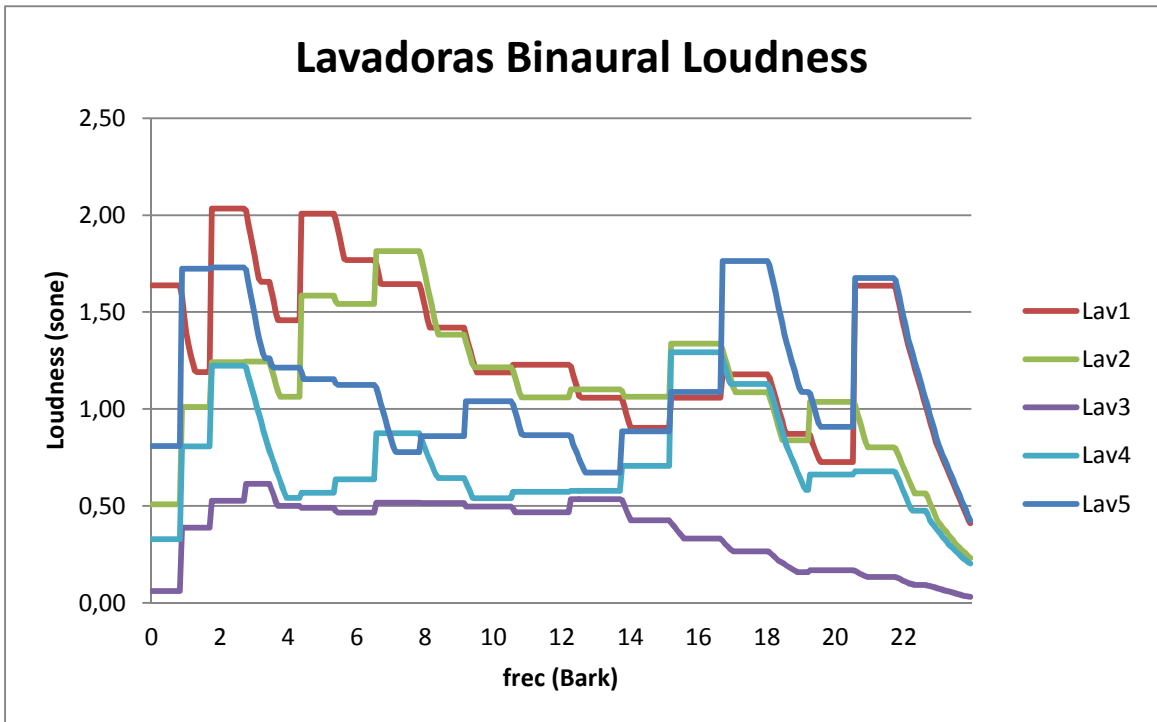


Fig.46. Espectro del Loudness de todas las lavadoras

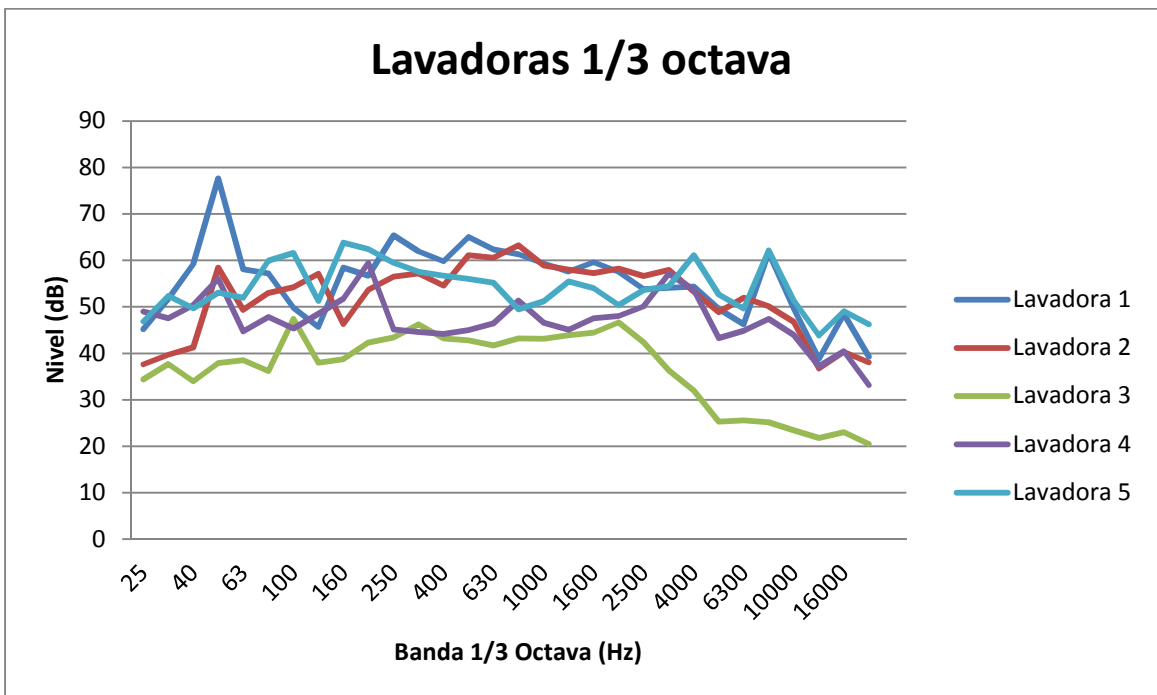


Fig.47. Espectro del Laeq de todas las lavadoras

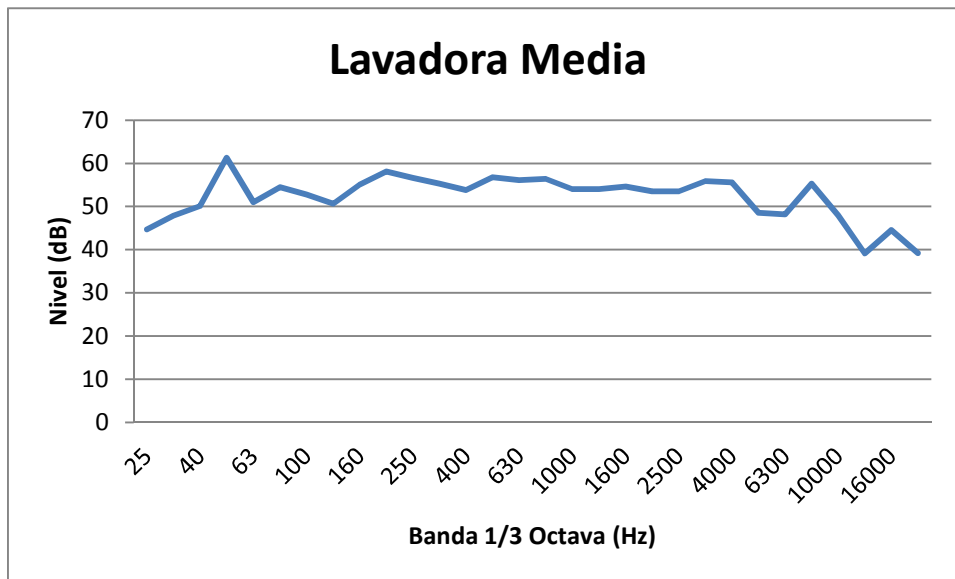


Fig.48. Espectro medio de las lavadoras

Las lavadoras son el tercer electrodoméstico con mayor molestia y nivel con unos valores de 67.6 dB y 24.3 sone. En comparación con los dos primeros electrodomésticos (los secadores y los extractores) la diferencia es notable y con los dos electrodomésticos menos molestos (los microondas y los extractores) también es notable la diferencia. Para la lavadora 3 hubo un problema en la medida, no se llenó de ropa para realizar la medida lo que conllevó que al realizarse la función de centrifugado no sonara tanto como debería sonar en una situación normal.

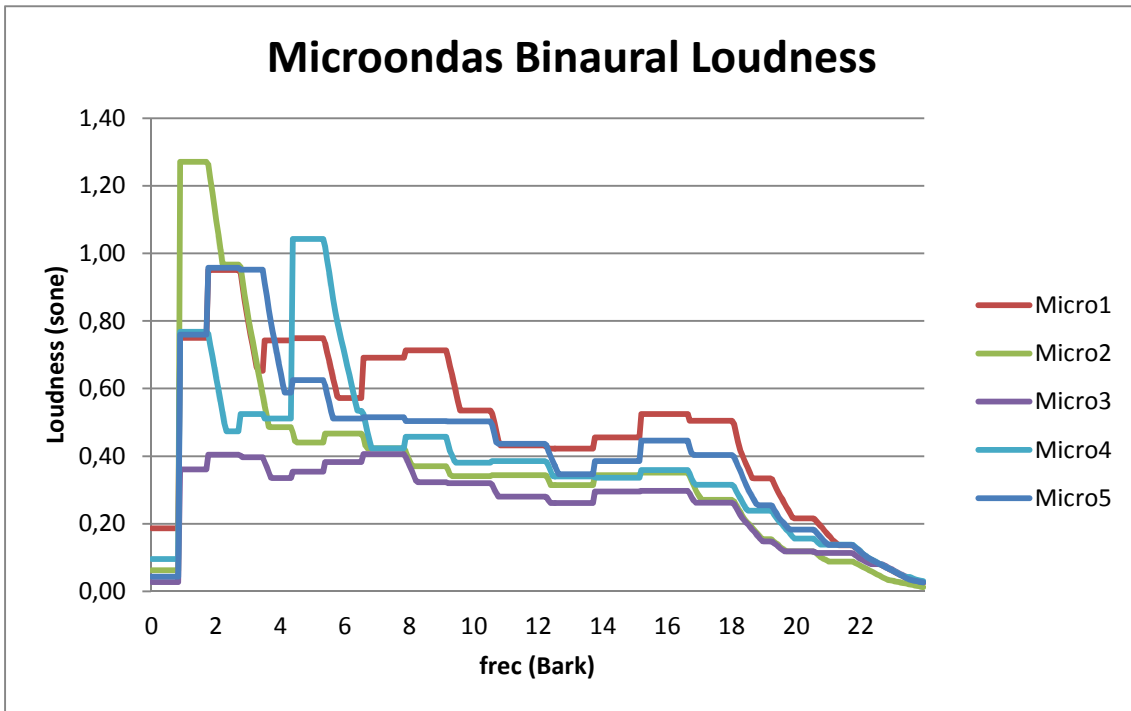


Fig.49. Espectro del Loudness de todos los microondas

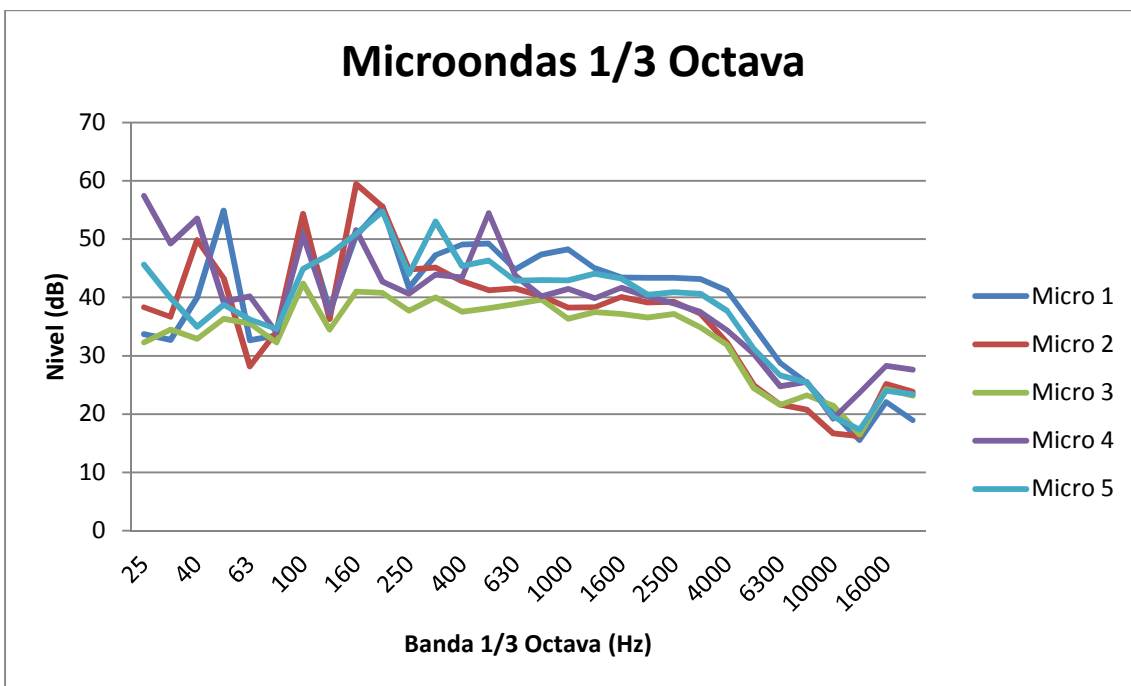


Fig.50. Espectro del Laeq de todos los microondas

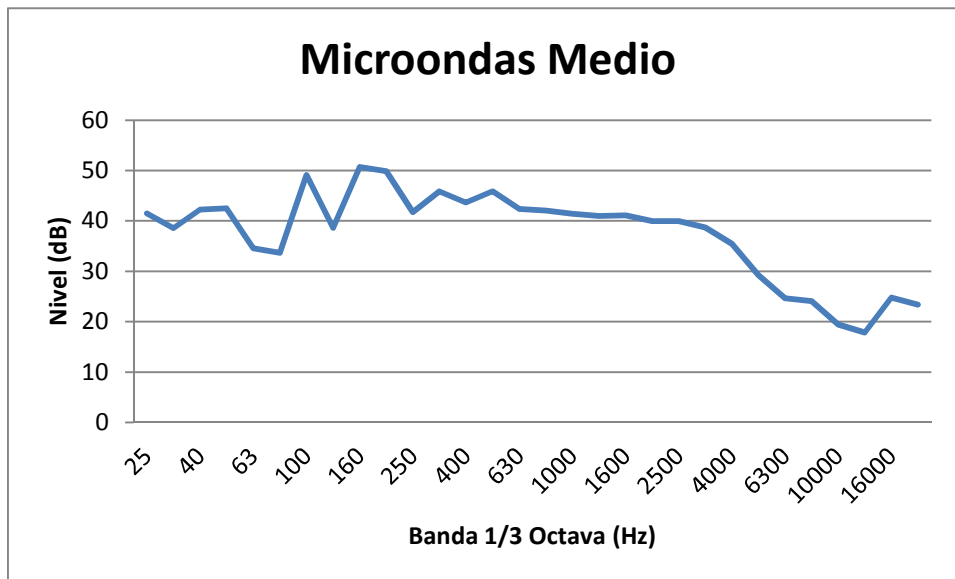


Fig.51. Espectro medio de los microondas

Los microondas son claramente los menos molestos con niveles de 53.2 dB y 8.9 sone. La diferencia entre los microondas y los demás electrodomésticos es como mínimo de 12 dB y 11 sone y máximo 22 dB y 30 sone.

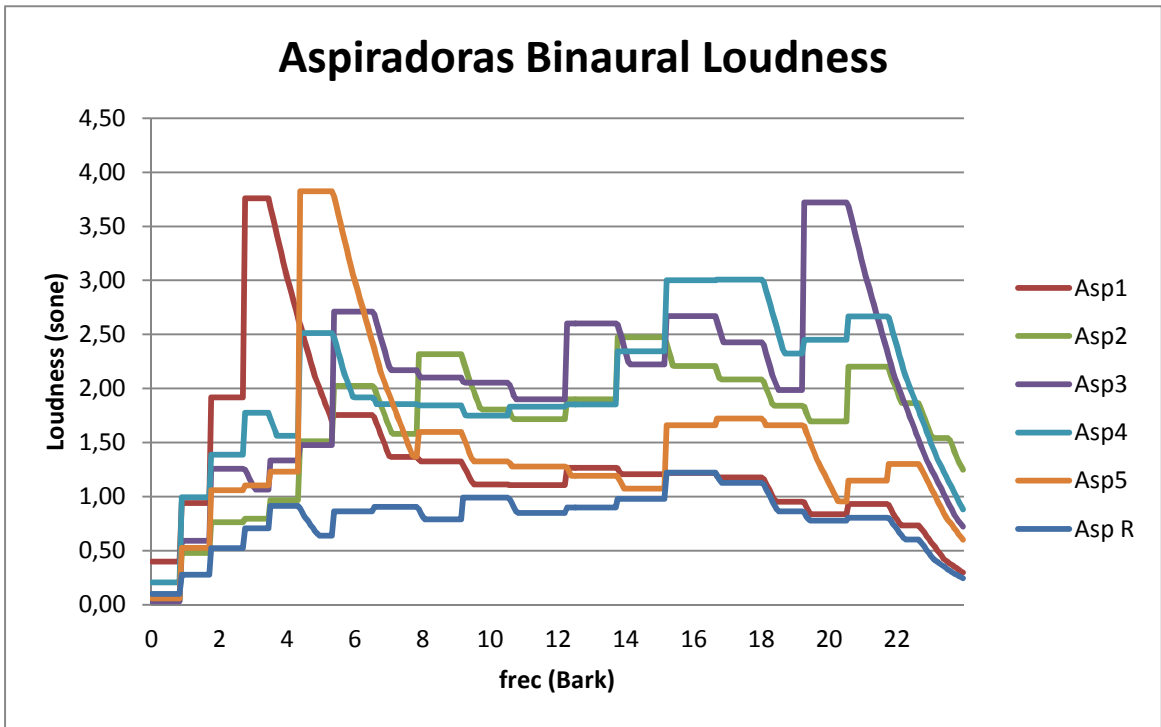


Fig.52. Espectro del Loudness de todos los aspiradores

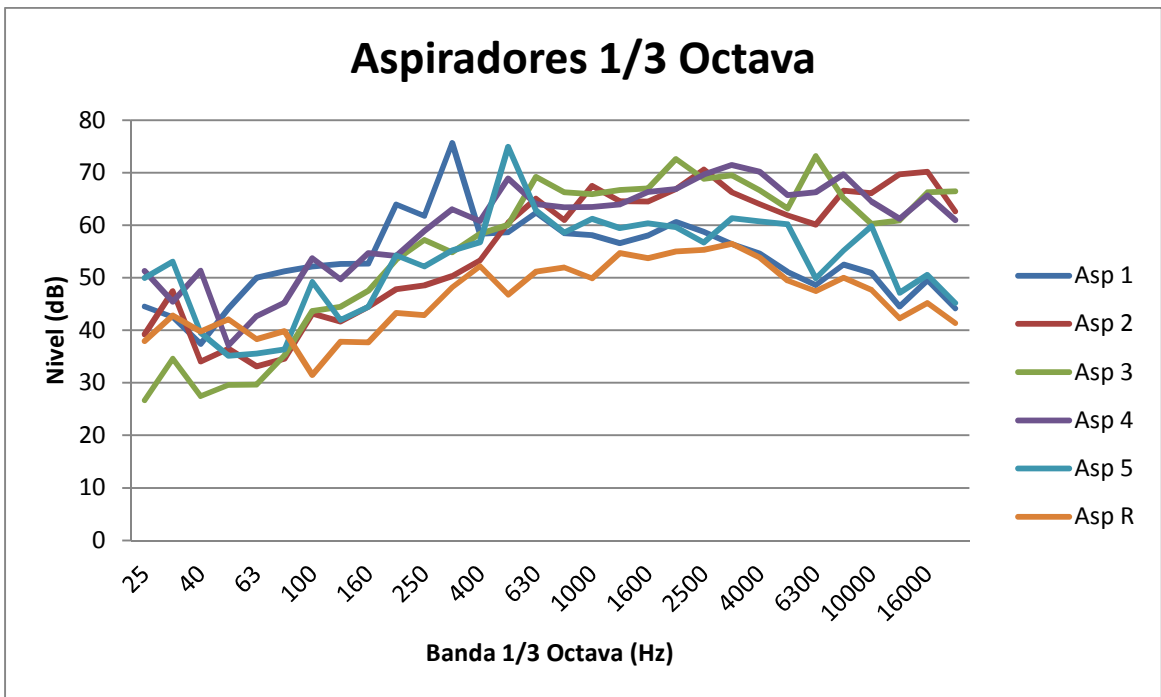


Fig.53. Espectro del Laeq de todos los aspiradores

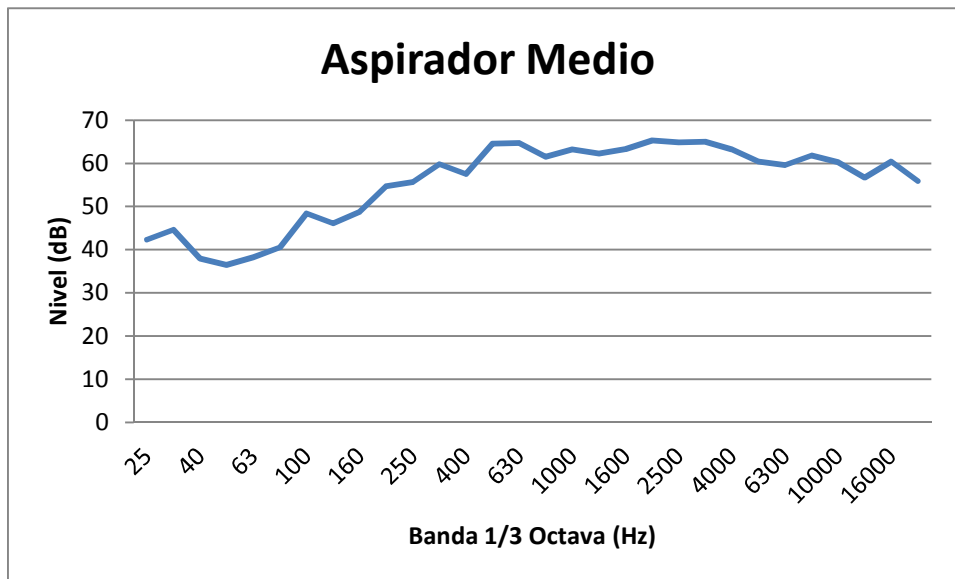


Fig.54. Espectro medio de los aspiradores

Los aspiradores con 76.6 dBA y 39.2 sone son de media los electrodomésticos más ruidosos según se ha realizado la medida. A esto hay que añadirle que en los aspiradores se encuentra el modelo IRUMBA que no aspira del modo que lo hacen los aspiradores tradicionales. Para hacer la media de los aspiradores no se ha tenido en cuenta ese aspirador ya que no emite el ruido de la misma forma que los otros y habría que meterlo en un subgrupo para poder compararlos. Este modelo sobresale por debajo de los niveles de los demás aspiradores.

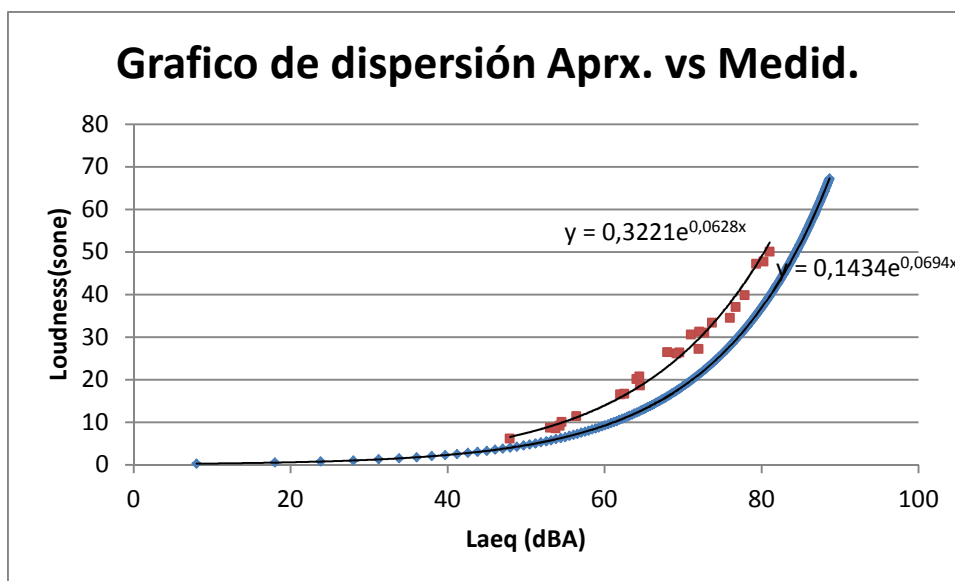


Fig.55. Comparación de la aproximación propuesta en la introducción teórica (azul) y los resultados obtenidos (rojo)

Con la sonoridad ya analizada en las figuras 55 y 56 se puede ver la diferencia que hay entre la aproximación de nivel de presión que se propone en la introducción teórica y loudness y los resultados medidos. También están escritas las aproximaciones tipo exponencial y tipo logarítmica que salen de los valores medidos. Se trata de las mismas gráficas pero con diferentes disposiciones.

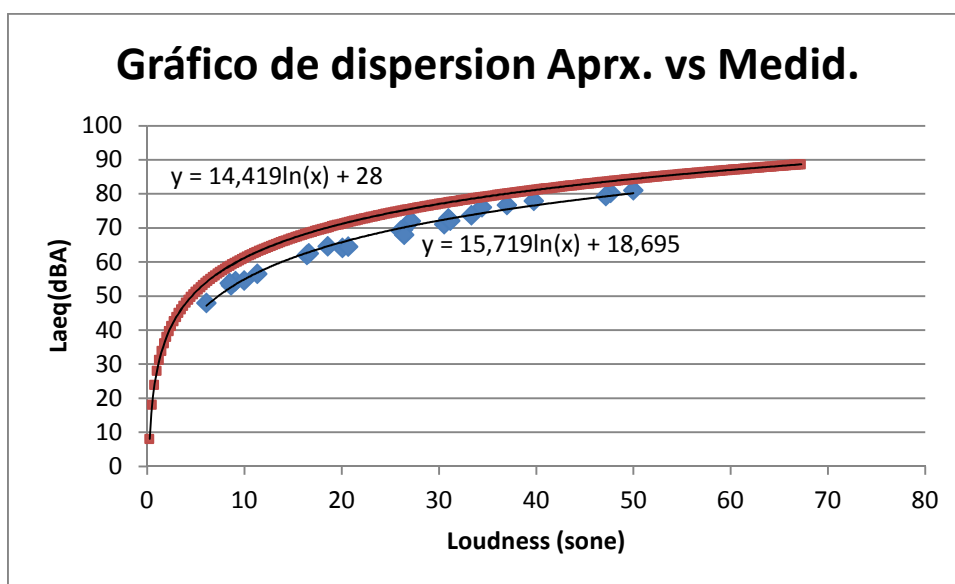


Fig.56. Comparación de la aproximación propuesta en la introducción teórica (rojo) y los resultados obtenidos (azul)

	Sharpness (acum (Z))		Sharpness (acum (Z))
Secador 1	31,0	Lavadora 1	30,6
Secador 2	27,1	Lavadora 2	26,1
Secador 3	37,0	Lavadora 3	8,5
Secador 4	50,0	Lavadora 4	16,6
Secador 5	34,4	Lavadora 5	26,4

	Sharpness (acum (Z))		Sharpness (acum (Z))
Extractor 1	26,3	Microondas 1	11,3
Extractor 2	20,1	Microondas 2	8,6
Extractor 3	16,4	Microondas 3	6,1
Extractor 4	20,7	Microondas 4	9,1
		Microondas 5	10,0

Aspirador 1	31,2
Aspirador 2	39,8
Aspirador 3	47,7
Aspirador 4	47,2
Aspirador 5	33,4
Aspirador 6	18,6

Tabla.5. Niveles de sharpness de todos los electrodomésticos

	Secadores	Extractores	Lavadoras	Microondas	Aspiradores
Sharpness medio	35,1	20,6	8,9	24,3	39,2

Tabla.6. Nivel de sharpness medio de cada grupo de electrodomésticos

5.3.-Análisis de los test subjetivos

En principio el test consta de 3 apartados: molestia de volumen, molestia/presencia de agudos y presencia/molestia de modulaciones.

Los tests de molestia de volumen se han realizado con valores del 1 al 9 siendo 1 un sonido poco molesto y 9 uno muy molesto.

Para los tests de agudos y de modulaciones se han realizado con valores del 1 al 5. Siendo 1 para los sonidos con poca presencia de agudos/modulaciones y 5 para sonidos con mucha presencia de agudos/modulaciones. Estos tests se realizan para la validación del parámetro sharpness, y los parámetros roughness y fuerza de fluctuación. En el caso de las modulaciones, no se agruparan como el roughness y la fuerza de fluctuación, en 2 tipos de frecuencias de modulación sino que se agruparán para la mejor realización del test.

Se realizará un test a 25 personas conocedoras de los principales parámetros de acústica, para que así se traten de personas entrenadas.

Se analizarán los tests realizados a las 25 personas por su media y su desviación estándar. Se hace la desviación estándar para validar el test y el parámetro a estudiar y que si dan valores muy diferentes se vea en los datos.

Secadores

La media y desviación estándar de los secadores es la siguiente:

MOLESTIA	Secador 1	Secador 2	Secador 3	Secador 4	Secador 5
MEDIA	4,6	4,9	6,3	8,1	5,7
DESV.EST	0,9	0,9	1	0,9	1,1

Tabla.7. Molestia de volumen subjetiva

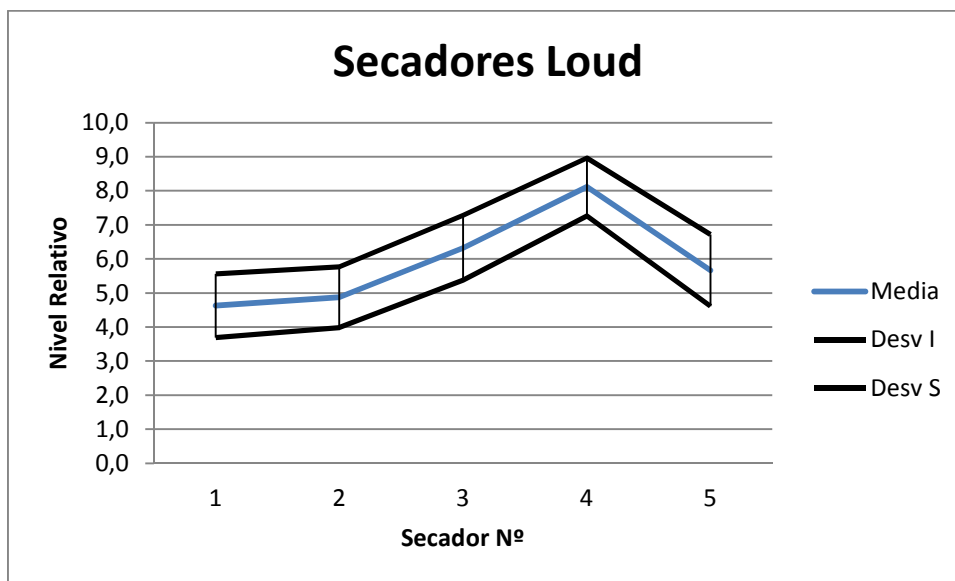


Fig.57. Molestia media subjetiva y desviación

Se puede ver en la figura 55 que el secador 1 es el más molesto con 8,1 puntos y el secador 1 el menos molesto con 4,6 puntos. La media de los secadores es de 5,8 puntos el tercer grupo de electrodomésticos con mayor molestia.

Aparentemente todos los casos de este electrodoméstico tienen una desviación estándar relativamente pequeña, como para validar el resultado del test subjetivo.

SHARPNESS	Secador 1	Secador 2	Secador 3	Secador 4	Secador 5
MEDIA	3,6	4,9	3,5	3,4	3,2
DESV.EST	0,7	0,3	0,5	0,7	0,6

Tabla.8. Molestia de agudos subjetiva

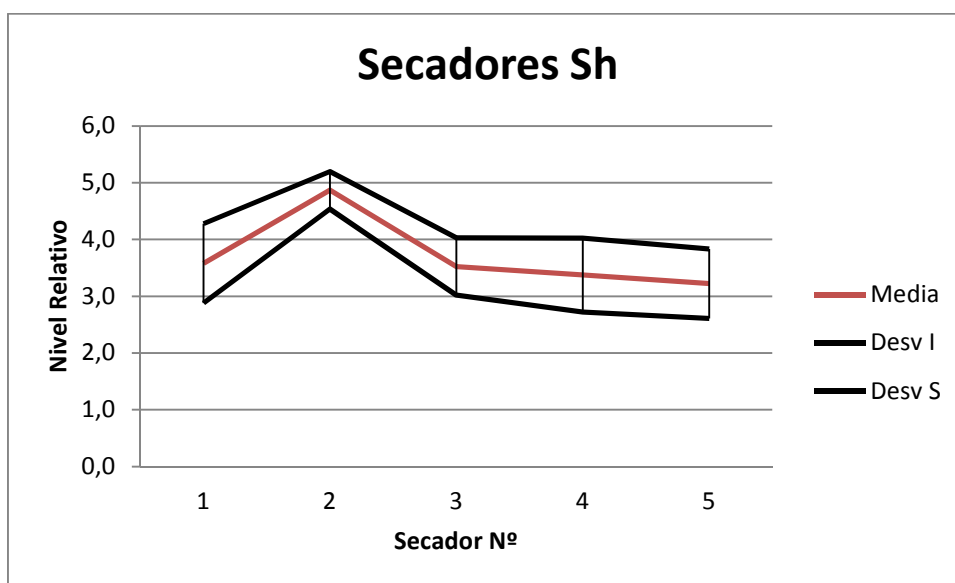


Fig.58. Molestia de agudos subjetiva y desviación

El sharpness obtenido de los tests subjetivos tiene de media 3,7 puntos con valores comprendidos entre los 3,2 puntos del secador 5 y los 4,9 puntos del secador 2.

MODULAC.	Secador 1	Secador 2	Secador 3	Secador 4	Secador 5
MEDIA	1,4	1,2	1,4	1,7	2,3
DESV.EST	0,5	0,5	0,7	0,8	1,2

Tabla.9. Molestia de modulaciones subjetiva

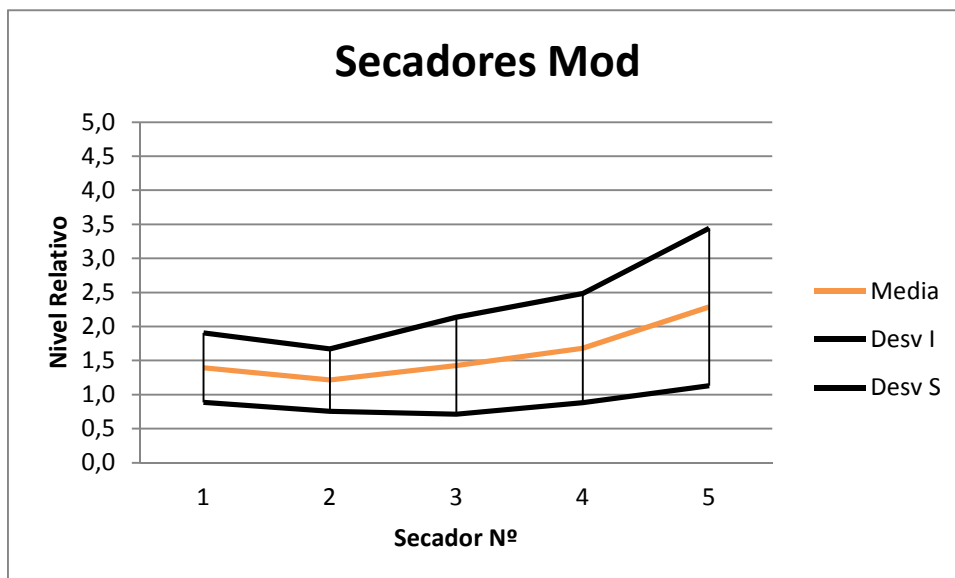


Fig.59. Molestia de modulaciones subjetiva y desviación

Extractores

La media y la desviación estándar de los extractores es la siguiente:

MOLESTIA	Extractor 1	Extractor 2	Extractor 3	Extractor 4
MEDIA	4,1	3,6	1,9	3,3
DESV.EST	1,1	1,5	0,9	1,3

Tabla.10. Molestia de volumen subjetiva

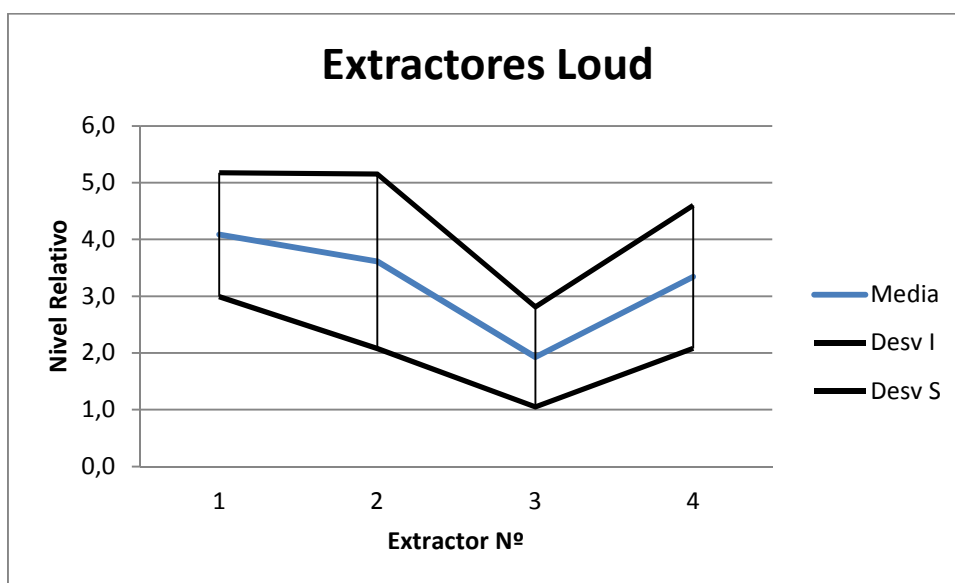


Fig.60. Molestia media subjetiva y desviación

El extractor 1 es el más molesto con 4,1 puntos y el extractor 3 el menos molesto con 1,9 puntos. La media de los extractores es de 3,1 puntos. El segundo menor loudness de todos los electrodomésticos analizados.

SHARPNESS	Extractor 1	Extractor 2	Extractor 3	Extractor 4
MEDIA	2,2	1,5	1,6	1,8
DESV.EST	0,5	0,6	0,7	0,8

Tabla.11. Molestia de agudos subjetiva

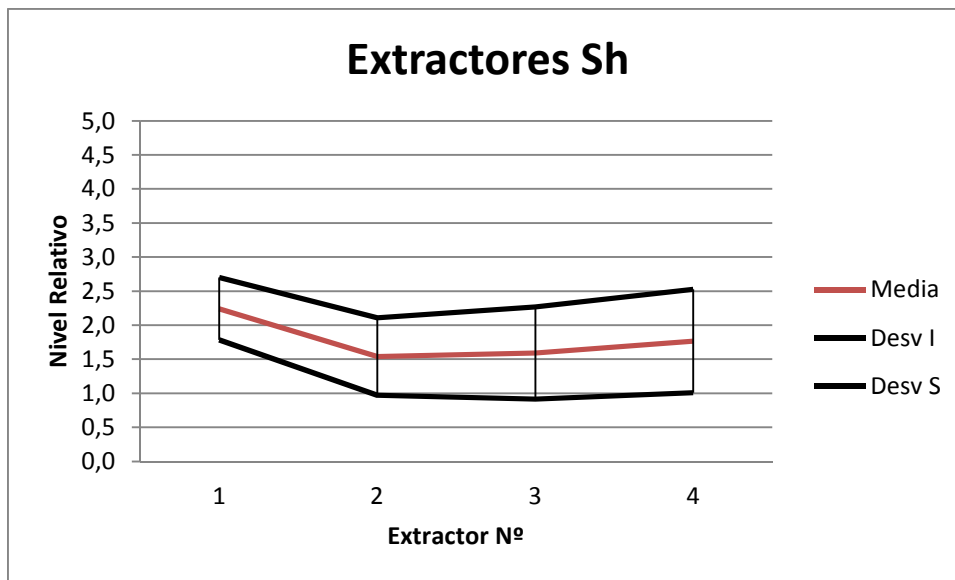


Fig.61. Molestia de agudos subjetiva y desviación

El sharpness obtenido de los tests subjetivos tiene de media 1,8 puntos con valores comprendidos entre los 2,2 puntos del extractor 1 y los 1,5 puntos del extractor 2.

MODULAC.	Extractor 1	Extractor 2	Extractor 3	Extractor 4
MEDIA	1,4	1,6	1,4	1,4
DESV.EST	0,5	1,1	0,7	1

Tabla.12. Molestia de modulaciones subjetiva

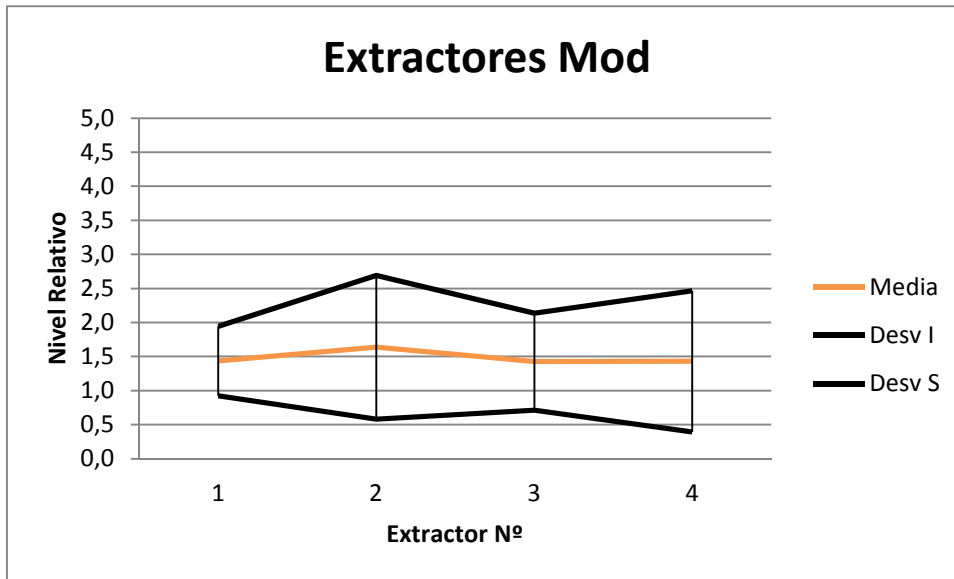


Fig.62. Molestia de modulaciones subjetiva y desviación

Microondas

La media y la desviación estándar de los microondas es la siguiente:

MOLESTIA	Microondas1	Microondas1	Microondas3	Microondas4	Microondas5
MEDIA	2,1	1,4	1	1,8	1,8
DESV.EST	0,9	0,7	0	1,1	0,8

Tabla.13. Molestia de volumen subjetiva

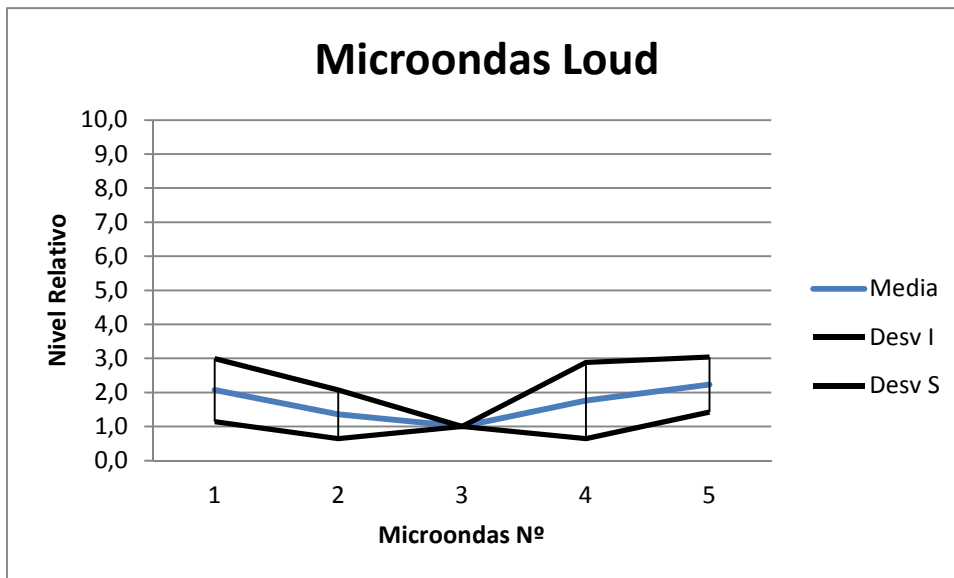


Fig.63. Molestia media subjetiva y desviación

Se puede ver que el microondas 1 es el más molesto con 2,1 puntos, que en realidad no es molesto y el microondas 3 el menos molesto con 1 punto, que además ha sido elegido por unanimidad, que se puede observar en el resultado de la desviación estadística que es 0. La

media de los microondas es de 1,6 puntos siendo la menor con diferencia de todos los electrodomésticos analizados.

SHARPNESS	Microondas1	Microondas1	Microondas3	Microondas4	Microondas5
MEDIA	1,1	1,1	1,7	2,5	1,8
DESV.EST	0,4	0,4	0,7	0,7	0,7

Tabla.14. Molestia de agudos subjetiva

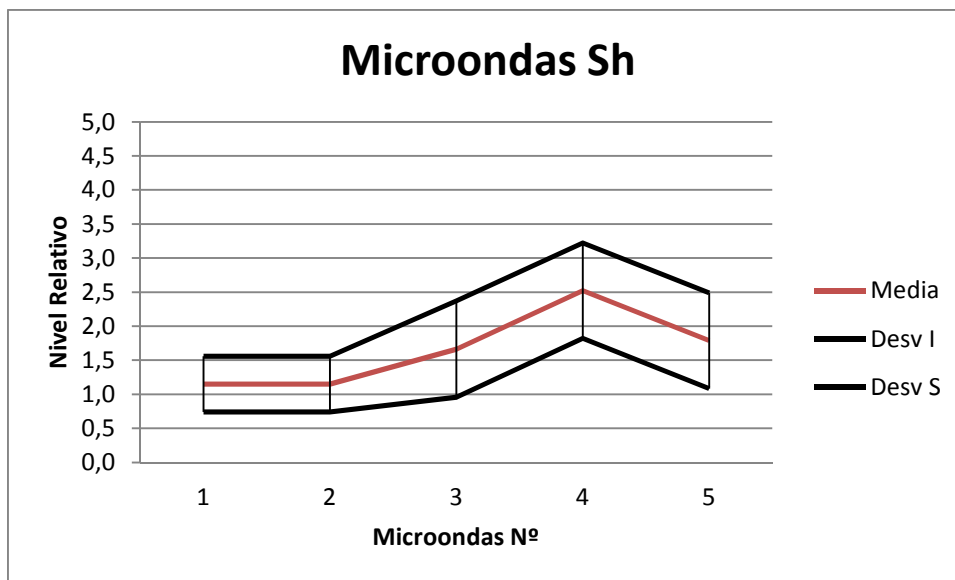


Fig.64. Molestia de agudos subjetiva y desviación

El sharpness obtenido de los tests subjetivos tiene una media de 1,6 puntos con valores comprendidos entre los 1,1 puntos del microondas 1 y 2 y los 2,5 puntos del microondas 4. Además de tener el nivel de molestia menor, tienen el menor sharpness, esta vez con menor diferencia con el segundo grupo de niveles de sharpness.

MODULAC.	Microondas1	Microondas1	Microondas3	Microondas4	Microondas5
MEDIA	1,1	1,1	1,4	1,6	1,4
DESV.EST	0,4	0,4	0,6	0,9	0,7

Tabla.15. Molestia de modulaciones subjetiva

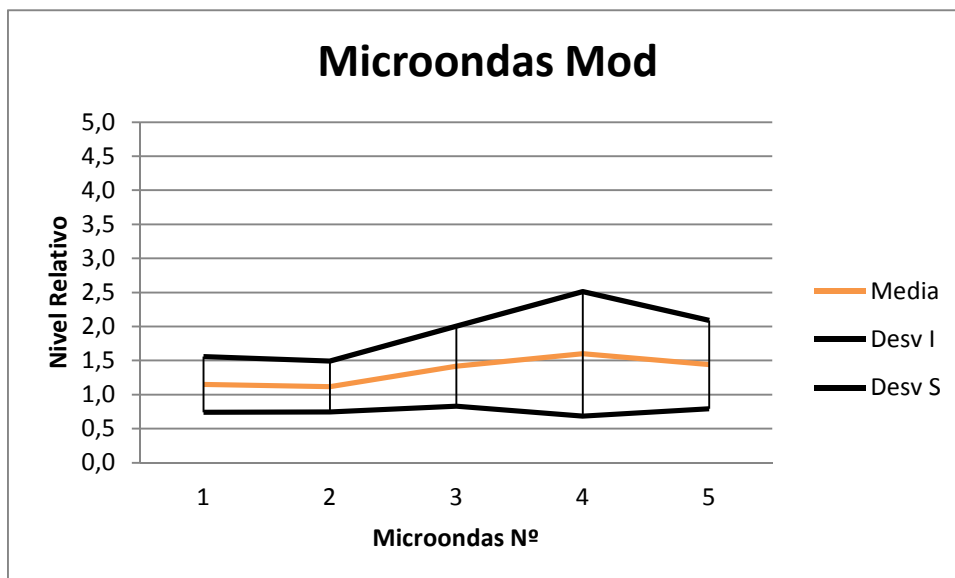


Fig.65. Molestia de modulaciones subjetiva y desviación

Lavadoras

La media y la desviación estándar de las lavadoras es la siguiente:

MOLESTIA	Lavadora 1	Lavadora 2	Lavadora 3	Lavadora 4	Lavadora 5
MEDIA	5,7	5,7	1,2	5,7	6,7
DESV.EST	0,9	0,9	0,5	1,6	1,2

Tabla.16. Molestia de volumen subjetiva

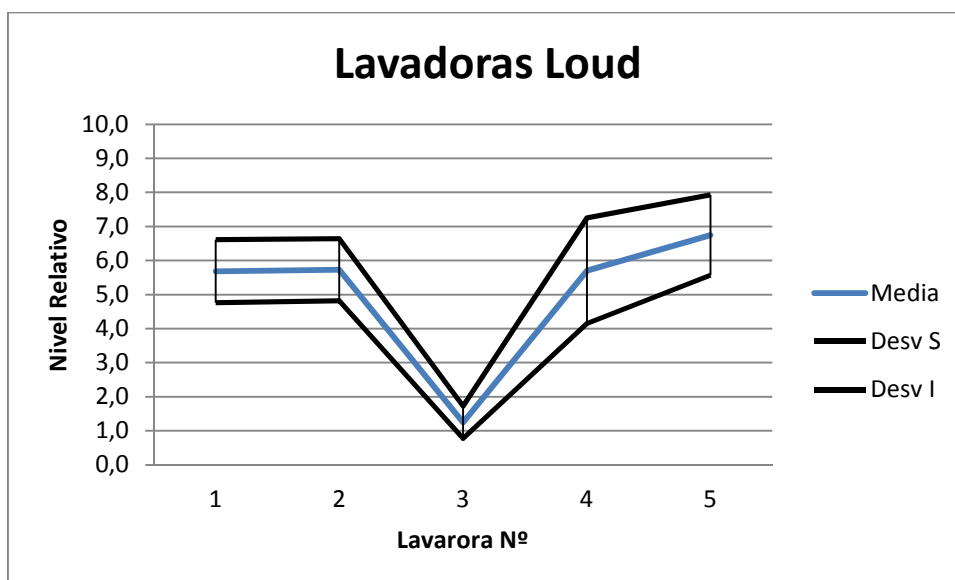


Fig.66. Molestia media subjetiva y desviación

Se puede ver que la lavadora 5 es la más molesta con 6,7 puntos y la lavadora 3 la menos molesta con 1,2 puntos. Como ya se ha comentado en anteriores apartados al medir la lavadora 3 hubo un error en la medida. Al descartar esta medida el resto de lavadoras obtendrían el nivel

de molestia más pequeño con 5,7 puntos cada lavadora. La media de las lavadoras es de 4,4 puntos sin quitar la lavadora 3 y la media quitando la lavadora 3 es de 6 puntos.

SHARPNESS	Lavadora 1	Lavadora 2	Lavadora 3	Lavadora 4	Lavadora 5
MEDIA	3,5	4,2	1,9	3,9	4,1
DESV.EST	0,6	0,6	0,6	0,7	0,5

Tabla.17. Molestia de agudos subjetiva

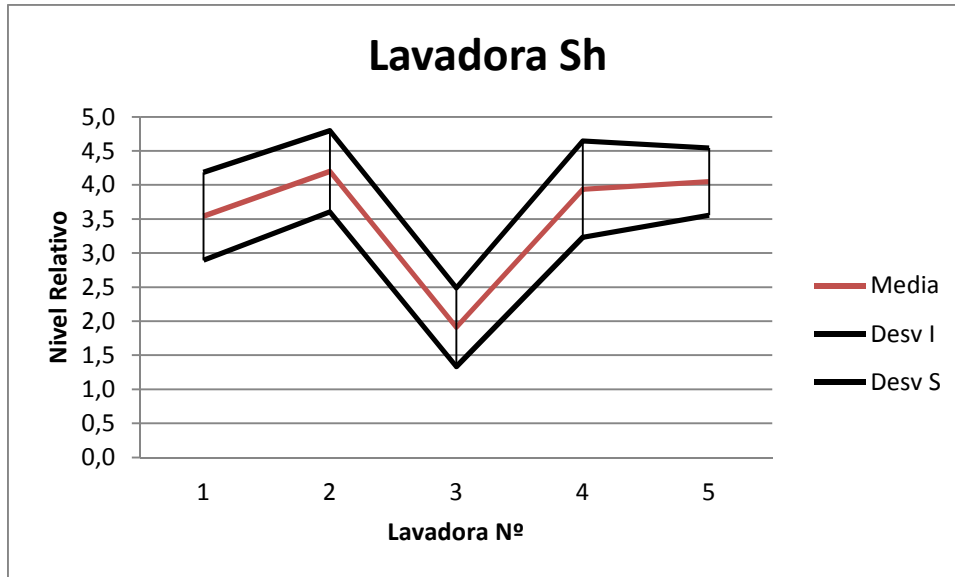


Fig.67. Molestia de agudos subjetiva y desviación

El sharpness obtenido de los tests subjetivos tienen de media 3,7 puntos con valores comprendidos entre los 3,2 puntos de la lavadora 5 y los 1,9 puntos de la lavadora 3. Otra vez se ha de comentar que la lavadora 3 no entra en los cálculos, así que la lavadora con el menor sharpness es la lavadora 1 con 3,5 puntos.

MODULAC.	Lavadora 1	Lavadora 2	Lavadora 3	Lavadora 4	Lavadora 5
MEDIA	4,6	4,9	2,6	4,4	3,7
DESV.EST	0,5	0,3	0,9	0,6	0,5

Tabla.18. Molestia de modulaciones subjetiva

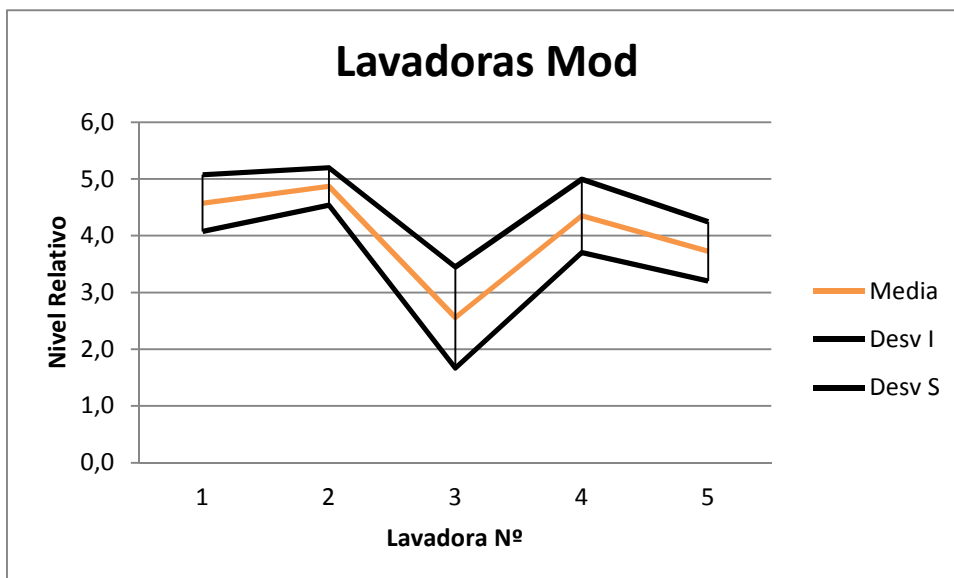


Fig.68. Molestia de modulaciones subjetiva y desviación

Aspiradores

La media y la desviación estándar de los aspiradores es la siguiente:

MOLESTIA	Aspirador1	Aspirador2	Aspirador3	Aspirador4	Aspirador5	Aspirador6
MEDIA	6,4	7,6	8,8	8,8	5,9	2,8
DESV.EST	0,9	1	0,4	0,4	1,1	1

Tabla.19. Molestia de volumen subjetiva

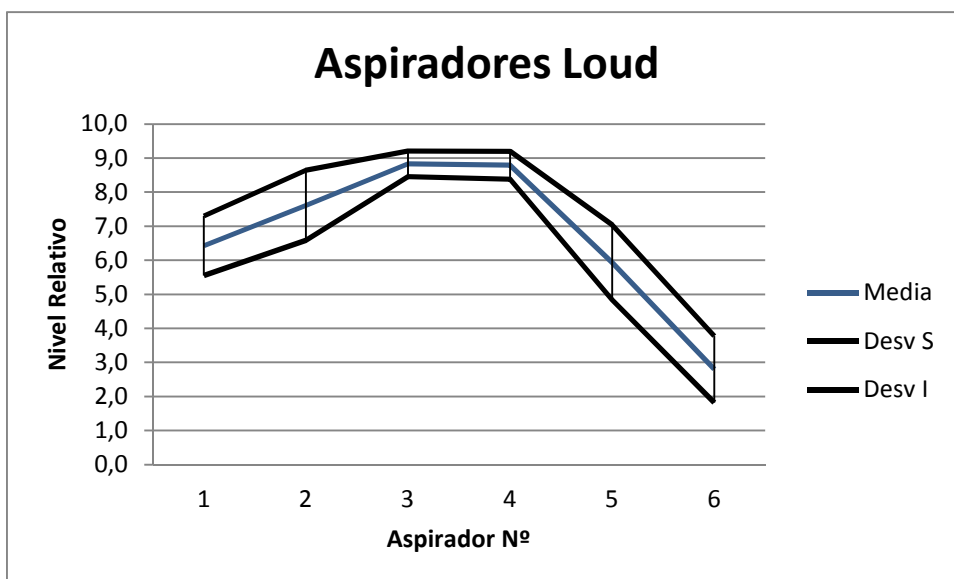


Fig.69. Molestia media subjetiva y desviación

Se puede ver que los aspiradores 3 y 4 son los más molestos con 8,8 puntos y rozando el dolor con una exposición prolongada. El aspirador menos molesto con 2,8 puntos es el RUMBA. La media de los aspiradores es de 6,3 puntos la más alta de todos los electrodomésticos. Además si

se eliminara el aspirador RUMBA de la media la media subiría hasta los 7,4 puntos siendo también la mayor media de todas, pero además con mayor diferencia con el siguiente grupo de electrodomésticos.

SHARPNESS	Aspirador1	Aspirador2	Aspirador3	Aspirador4	Aspirador5	Aspirador6
MEDIA	3	4,8	4,8	3,4	3,7	2,3
DESV.EST	0,5	0,4	0,4	0,7	0,6	0,6

Tabla.20. Molestia de agudos subjetiva

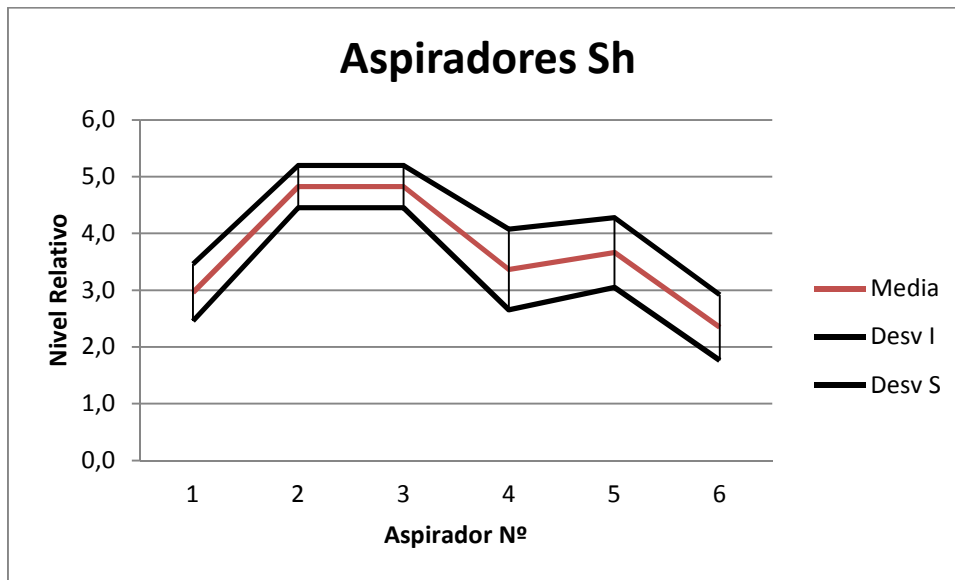


Fig.70. Molestia de agudos subjetiva y desviación

El sharpness obtenido de los tests subjetivos tiene una media de 3,5 puntos con valores comprendidos entre los 2,6 puntos del aspirador 6 RUMBA y los 4,8 puntos de los aspiradores 2 y 3. Como en todos estos apartados quitando el aspirador 6 RUMBA de la media se obtiene una media de 3,9 puntos siendo la más alta a 0,2 puntos de la media de los secadores.

MODULAC.	Aspirador 1	Aspirador 2	Aspirador 3	Aspirador 4	Aspirador 5	Aspirador 6
MEDIA	1,9	1,3	1,2	1,5	1,4	2,1
DESV.EST	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8

Tabla.21. Molestia de modulaciones subjetiva

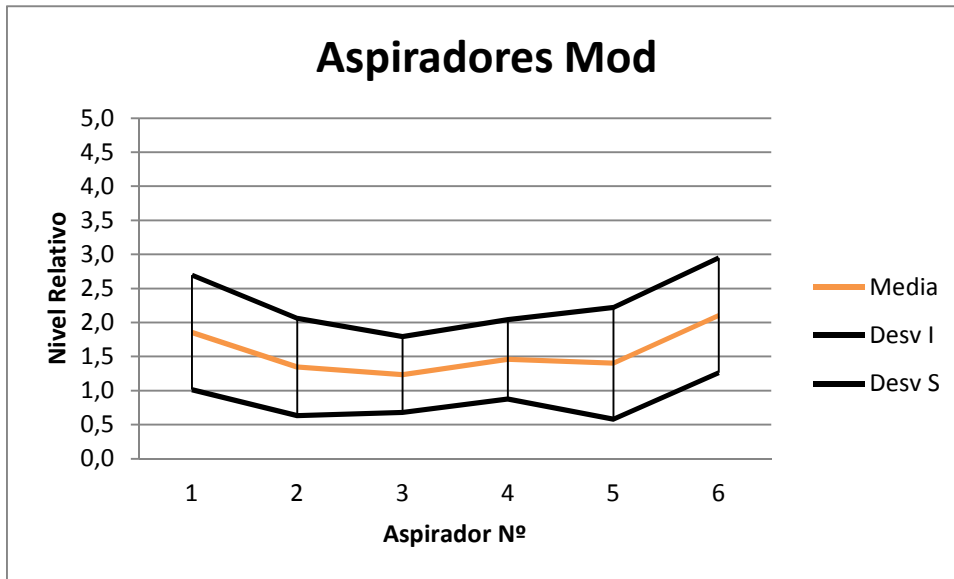


Fig.71. Molestia de modulaciones subjetiva y desviación

5.4.-Comparación del test subjetivo con los resultados de PULSE

Para empezar con esta comparación se ha de realizar un cambio de las variables que ofrece PULSE a variables que puedan ser comparables con los resultados de los tests. Para ello se ha elegido cambiar los valores de PULSE en una escala del 1 al 9 para que puedan ser comparados. El cambio se ha realizado eligiendo el valor de 1 al valor del loudness mínimo obtenido en todos los electrodomésticos y el valor 9 para el valor máximo. El resto de valores se asignaran por rangos divididos en 9 rangos.

Los valores obtenidos para los diferentes parámetros son los siguientes:

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Secador 1	6	5	2	5
Secador 2	5	5	3	5
Secador 3	7	4	4	4
Secador 4	9	4	2	5
Secador 5	6	4	2	5
MEDIA	6,5	4,4	2,5	4,8

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Extractor 1	5	3	3	1
Extractor 2	3	2	3	1
Extractor 3	3	2	3	2
Extractor 4	3	3	2	1
MEDIA	3,4	2,4	2,7	1,2

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Microondas 1	2	1	3	1
Microondas 2	1	1	4	1
Microondas 3	1	2	5	2
Microondas 4	1	1	4	1
Microondas 5	1	1	5	1
MEDIA	1,1	1,1	4,1	1,1

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Lavadora 1	5	3	1	2
Lavadora 2	5	3	5	2
Lavadora 3	1	2	5	2
Lavadora 4	3	4	4	4
Lavadora 5	5	4	2	2
MEDIA	4,4	3,5	2,5	2,4

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Aspirador 1	6	2	1	1
Aspirador 2	7	5	2	1
Aspirador 3	9	5	3	2
Aspirador 4	9	5	3	1
Aspirador 5	6	4	2	2
Aspirador 6	3	3	4	3
MEDIA	6,3	3,8	2,3	1,5

Tabla.21. Valores asignados por rangos del 1 al 9 para poder comparar resultados

La diferencia de los parámetros obtenidos por PULSE mediante rangos y los resultados de los tests es la siguiente. Las celdas en color verde significan un valor entre el test de PULSE y es subjetivo menor de 1 punto en el loudness y menor que 0,5 puntos en los otros 3 parámetros. Las celdas amarillas tienen valores de las diferencias entre 1 y 1,5 puntos en el loudness y 0,5 y 1 puntos en los otros parámetros. Finalmente las celdas rojas superan estos niveles de 1,5 puntos en el loudness y 1 punto en los demás parámetros:

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Secador 1	1,4	1,4	0,6	3,6
Secador 2	0,1	0,1	1,8	3,8
Secador 3	0,7	0,5	2,6	2,6
Secador 4	0,9	0,6	0,3	3,3
Secador 5	0,3	0,8	0,3	2,7

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Extractor 1	0,9	0,8	1,6	0,4
Extractor 2	0,6	0,5	1,4	0,6
Extractor 3	1,1	0,4	1,6	0,6
Extractor 4	0,3	1,2	0,6	0,4

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Microondas 1	0,1	0,1	1,9	0,1
Microondas 2	0,4	0,1	2,9	0,1
Microondas 3	0,0	0,3	3,6	0,6
Microondas 4	0,8	1,5	2,4	0,6
Microondas 5	1,2	0,8	3,6	0,4

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Lavadora 1	0,7	0,5	3,6	2,6
Lavadora 2	0,7	1,2	0,1	2,9
Lavadora 3	0,2	0,1	2,4	0,6
Lavadora 4	2,7	0,1	0,4	0,4
Lavadora 5	1,7	0,1	1,7	1,7

	Loudness	Sharpness	Roughness	FF
Aspirador 1	0,4	1,0	0,9	0,9
Aspirador 2	0,6	0,2	0,7	0,3
Aspirador 3	0,2	0,2	1,8	0,8
Aspirador 4	0,2	1,6	1,5	0,5
Aspirador 5	0,1	0,3	0,6	0,6
Aspirador 6	0,2	0,7	1,9	0,9

Tabla.22. Diferencias entre los valores del test subjetivo y los valores de los rangos asignados anteriormente

Se puede observar en las tablas que los resultados del loudness son relativamente aceptables. Sólo se obtienen 2 parámetros en “rojo” y 2 en “amarillo”. Los demás son todos “verdes”.

El parámetro sharpness también obtiene unos resultados aceptables con 4 resultados “rojos” y 2 “amarillos”.

El hecho de que el loudness sea el parámetro que mejores resultados ha dado puede ser debido a que es el único que está estandarizado.

El sharpness no está estandarizado pero no es nada más que una relación ponderada de los niveles obtenidos en cada frecuencia.

Para el roughness y la fuerza de fluctuación los resultados no se pueden llegar a valorar debido a que los elementos a examinar no poseen unas modulaciones claras que puedan dar unos valores de estos parámetros buenos. Las lavadoras son las únicas que podrían dar unos resultados aproximados. El hecho de que las lavadoras tengan unas revoluciones de centrifugado de entre 800 y 1200 r.p.m. (entre 14 y 20 Hz) significa que son los valores que estos parámetros tienen mínimos de molestia. Debido a esto no se puede entrar a valorar bien los resultados del roughness y de la fuerza de fluctuación.

Se podría establecer un valor umbral para el cual el valor de estos dos últimos parámetros tuviera sentido. Este valor podría depender del porcentaje de modulación de los sonidos evaluados, y de la frecuencia de modulación de la señal (lo de la frecuencia ya se aplica). En general es aplicable para ciertos sonidos que tienen una modulación muy clara y no es aplicable para los que no la tienen ya que como está establecido ahora el valor de estos dos parámetros se obtienen valores para cualquier señal.

6.-Conclusiones

Se ha analizado el programa PULSE Sound Quality con sus funciones básicas.

Se han realizado medidas de ruido a electrodomésticos para que posteriormente puedan ser analizadas por medio de tests subjetivos y por medio del software PULSE Sound Quality.

Los valores **óptimos del *time between spectra*** para el PULSE realice bien las pruebas de calidad acústica sin submuestrear son **0,01s para la FF y 1,5 ms para el roughness**.

No hay grandes diferencias entre el L_{Aeq} y el loudness en la mayoría de los sonidos evaluados. Esta diferencia entre los dos parámetros pasa de ser: $y = 0,143e^{0,069x}$ en la aproximación de la introducción teórica, a ser: $y = 0,322e^{0,062x}$ en las mediciones realizadas.

Al comparar los dos tipos de análisis, el de las mediciones y el de los tests subjetivos, en el caso del loudness los resultados son similares. Con la asignación de rangos de los tests medidos y los resultados de los tests subjetivos, la **diferencia media es de 0.9 puntos** y la desviación es de 0.6 puntos.

En el caso del sharpness también salen unos resultados similares de la comparación de los dos tipos de tests. **La diferencia del sharpness en este caso es de 0.8 puntos**. Es un poco mayor la diferencia en este caso que en la del loudness porque se ha evaluado del 1 al 5 en vez del 1 al 9 del loudness.

Al comparar los resultados de la fuerza de fluctuación y del roughness no se pueden extraer conclusiones en cuanto a fiabilidad de los parámetros. No hay relación alguna al comparar los dos tipos de tests. **La diferencia media es de 2.2 puntos de media en el caso del roughness y de 1.7 en el caso de la fuerza de fluctuación**. Son unos resultados bastante mayores a los esperados.

Esto puede ser debido a que los niveles de modulaciones en los electrodomésticos medidos son bajos y por lo tanto no se puede realizar un test de este tipo de parámetros con unos niveles tan bajos de modulaciones.

Para el caso de las lavadoras sí que se observan modulaciones, que al ser en el rango de frecuencias que menos nivel aportan a estos dos parámetros, tampoco se puede extraer nada de estas mediciones. Las frecuencias de mayor molestia de modulaciones son 4 Hz para la fuerza de fluctuación y 70 Hz para el roughness. Las lavadoras trabajan a 800-1200 r.p.m. y eso da unas frecuencias de modulación de 14-20 Hz que no teóricamente no causan los mayores niveles de molestia.

El parámetro loudness es el único parámetro estandarizado y eso se palpa en los resultados de este proyecto.

El parámetro sharpness no está estandarizado pero al tratarse de una ponderación de frecuencias los resultados de los tests realizados son aprobables.

Los parámetros de las modulaciones, roughness y fuerza de fluctuación, son todavía muy mejorables.

7-.Bibliografia

- [1] 'Practical application of sound quality technique in pump development' K. B.Ginn, H. Haslev, J.B. Nielsen, *Internoise* (2004)
- [2] 'Sensory Evaluation of Air-Conditioning Noise: Sound Design and Psychoacoustic Evaluation', P. Susini et al. (*Internoise* 2001)
- [3] 'Psychoacoustics: Facts and Models' Zwicker, Fastl, (Springer 2007)
- [4] 'Sensory Evaluation Techniques', M. Meilgaard, G.V. Civille, B.T. Carr, Third Ed, CRC Press, 1999
- [5] ISO 8586 'Sensory Analysis – General guidance for the selection, training and monitoring of assessors' (1993)
- [6] ISO 11035 'Sensory Analysis – Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach' (1994)
- [7] ISO 11056 'Sensory Analysis – Methodology – Magnitude estimation method' (1991)
- [8] 'The use of psychoacoustic parameters combined with A-weighted SPL in noise description', K Genuit, *Internoise* (1999)
- [9] 'Recent Developments in Powertrain Noise Simulation', AV Phillips, *Noise and the Automobile, Selected Papers from Autotech '93*, Mechanical Engineering Publications Ltd (1993)
- [10] 'Sound Quality Program Type 7698', User Manual. Brüel & Kjaer©
- [11] 'ACOUSTICS AND PSYCHOACOUSTICS'. D.M. Howard, J.Angus. Elsevier (2006)
- [12] 'Designing for Product Sound Quality'. R.H. Lyon. M. Dekker (2000)
- [13] ISO 532B, 'Acoustics—Method for calculating loudness level' (1975)
- [14] UNE 74-014-78. 'Método de cálculo del nivel de sonoridad' (1978)
- [15] 'Comparative study of the commercial software for sound quality analysis'. Sung-Hwan Shin. *Acoust. Sci. & Tech.* 29(3) 221-228 (2008)
- [16] 'Specification of component sound quality applied to automobile power windows'. A. Nykänen , A. Sirkka. *Applied Acoustics* 70, 813–820 (2009)
- [17] 'Index for vehicle acoustical comfort inside a passenger car', M.J.M. Nor, M.H. Fouladi, H. Nahvi, A.K. Ariffin, *Applied Acoustics* 69, 343–353 (2008)
- [18] 'Analysis of car door closing sound quality', E. Parizet, E. Guyader, V. Nosulenko, *Applied Acoustics* 69, 12-22 (2008)
- [19] 'Research and Development of Sound Quality in Lifts', Case study. Brüel & Kjaer© (2009)
- [20] 'Standards for calculating loudness of stationary or timevarying sounds', H. Fastl, F. Völk, M. Straubinger, *INTER-NOISE* 2009

Anexo I - Gráficas Loudn./Sharp./Rough./FF en electrodomésticos

Loudness-Sharpness

Secadores

Para el secador 1 tenemos un nivel de presión de 72.7 dBA y un loudness de 31 sone. Se trata de un nivel molesto, pero teniendo en cuenta que se ha medido a poca distancia de la cabeza binaural se puede decir que es un sonido molesto en cuanto a sonoridad pero sólo para el que está secándose el pelo, porque ese sonido detrás de una pared o a una distancia diferente de la utilizada, el sonido atenuara bastante.

El sharpness es elevado, 2.23 acum(z), debido a que de por si el sonido es elevado y en frecuencias mayores que 16 barks tiene niveles elevados haciendo un sonido molesto en sharpness.

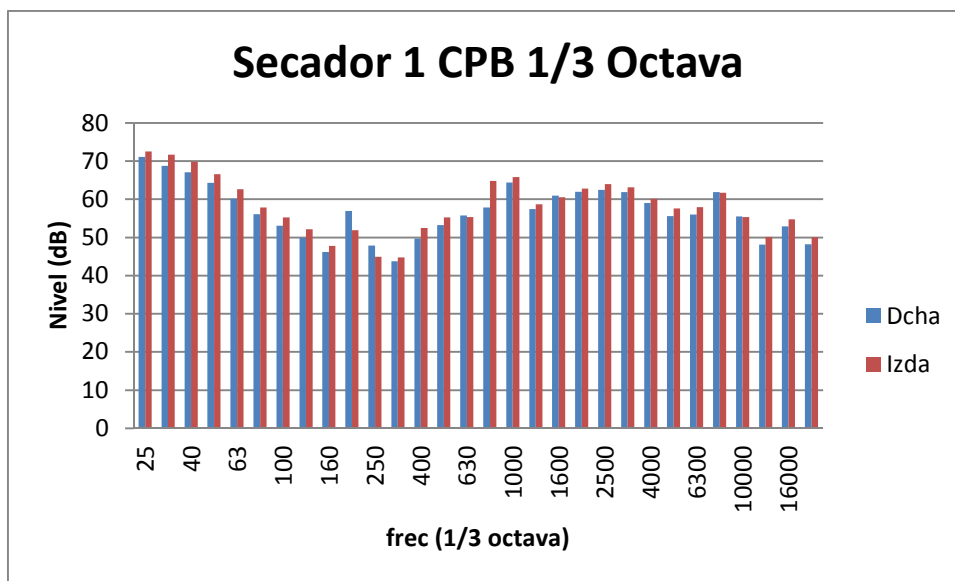


Fig.72. Nivel CPB 1/3 octava

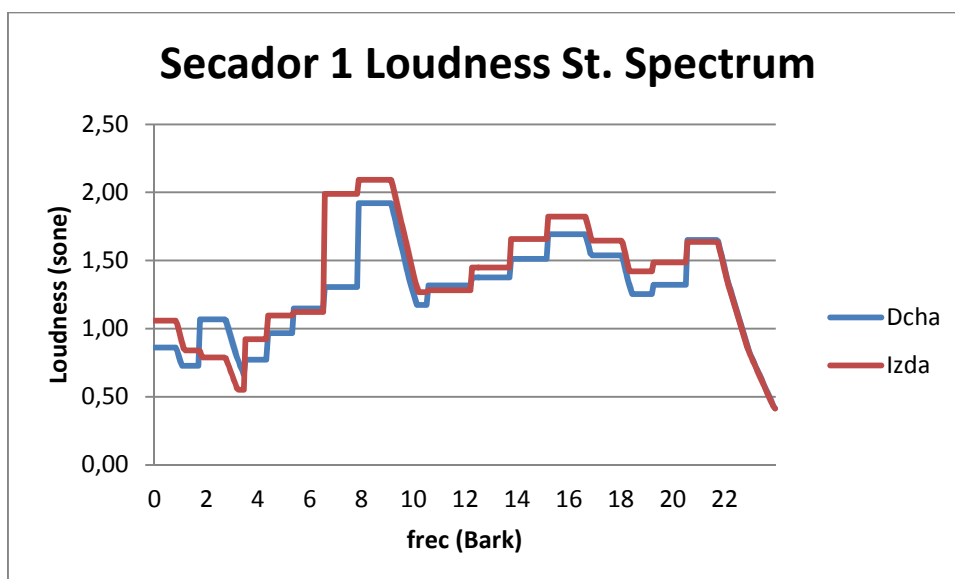


Fig.73. Loudness stationary spectrum

Para el secador 2 tenemos un nivel de presión 72 dBA y un loudness de 27.1 sone. El nivel de este secador es similar al del secador 1 (0,7dB-2.9sone de diferencia) además con un espectro parecido, el análisis que se puede hacer en este caso es que es mayor la diferencia en sonoridad que en nivel de presión.

Para el sharpness este secador es el más molesto, con un sharpness de 2.29 acum(z). No es el electrodoméstico más molesto, porque otra vez los aspiradores son los más molestos para el parámetro sharpness.

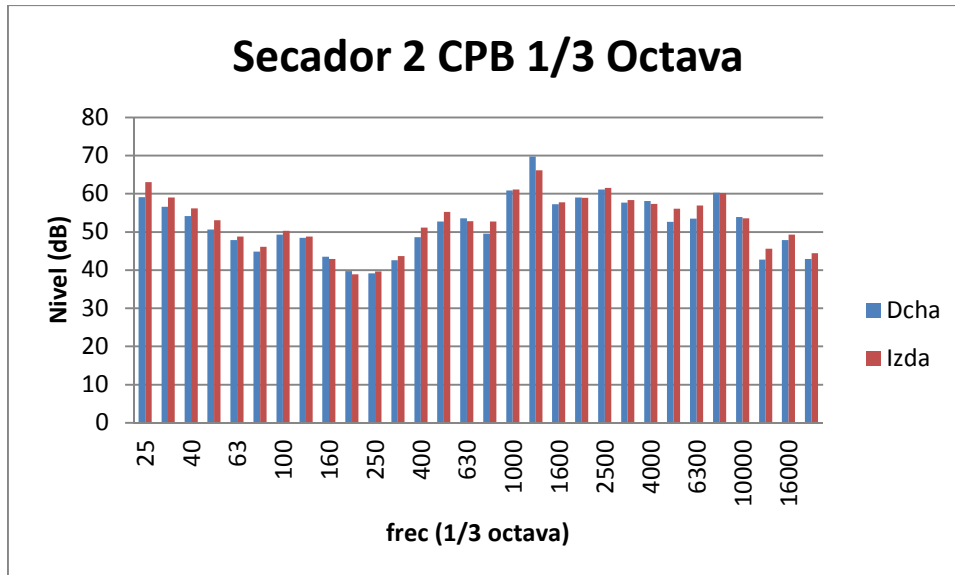


Fig.74. Nivel CPB 1/3 octava

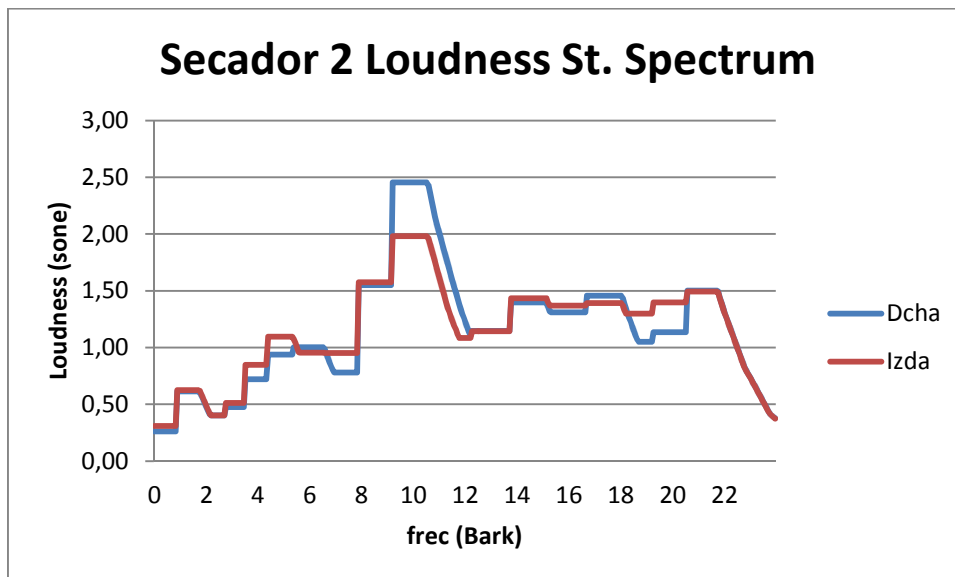


Fig.75. Loudness stationary spectrum

Para el secador 3 tenemos un nivel de presión 76.7 dBA y un loudness de 37 sone. Superior al de los 2 primeros secadores, además se nota en los espectros una mayor presencia de altas frecuencias (1k-4k) que luego veremos con el parámetro sharpness. Es el segundo secador con mayor sonoridad y nivel.

Como se ha comentado arriba, el sharpness tiene un nivel alto en frecuencias de 1KHz a 4KHz, que en el espectro del loudness equivale a las bandas de 17-18 barks. Esto hace que el sharpness sea alto pero no el más alto debido a que las frecuencias que más ponderan este parámetro, de tipo exponencial a partir de 16 barks, son las más altas y estas son más bajas que en otros sonidos.

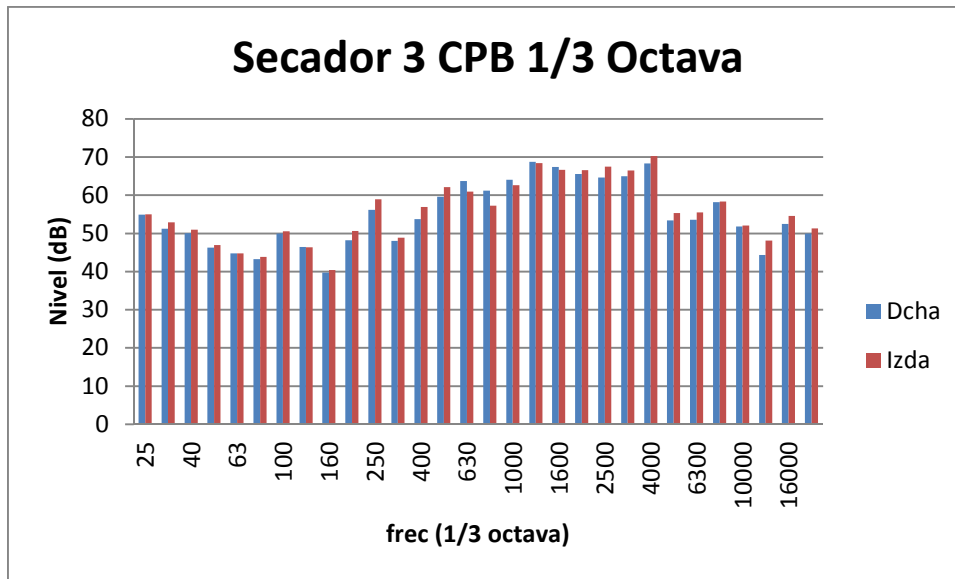


Fig.76. Nivel CPB 1/3 octava

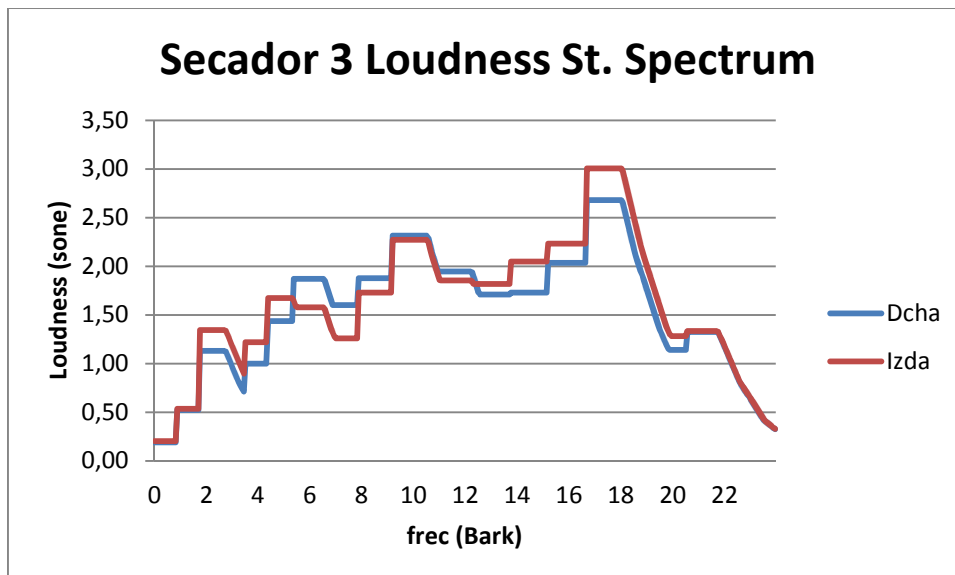


Fig.77. Loudness stationary spectrum

Para el secador 4 tenemos un nivel de presión 81 dBA y un loudness de 50 sone. Este secador ha tenido la mayor sonoridad, así como el mayor nivel de presión. En comparación con los otros secadores, la diferencia es bastante abultada (13 sone, 4.3 dBA). Además también se trata del elemento más molesto, teniendo en cuenta la sonoridad y el nivel de presión medidos con PULSE. Más tarde se verá si concuerdan estos resultados con los obtenidos mediante test subjetivos, que se puede adelantar que varían los resultados.

El sharpness en el secador4 es de 2.14 acum(z), un valor en la media de todos los secadores.

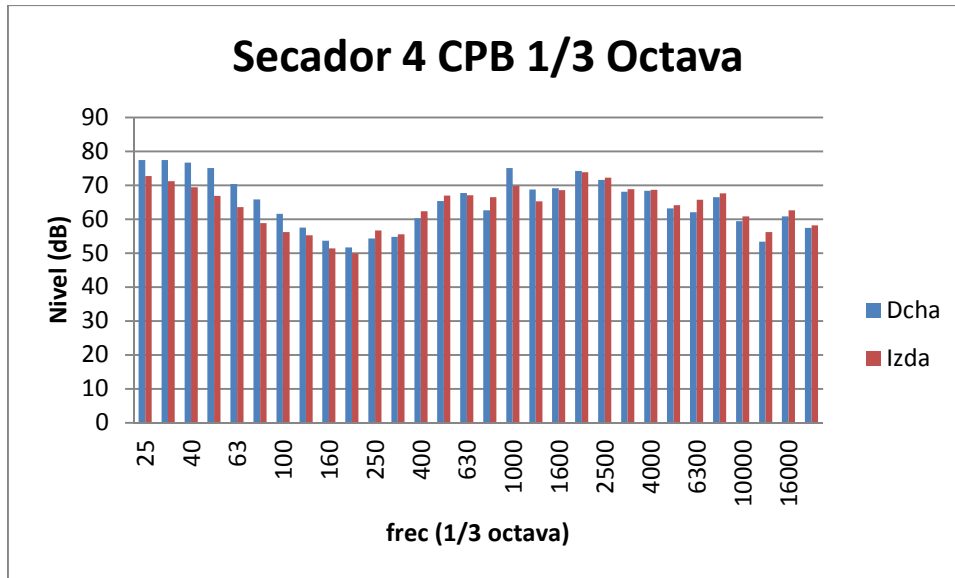


Fig.78. Nivel CPB 1/3 octava

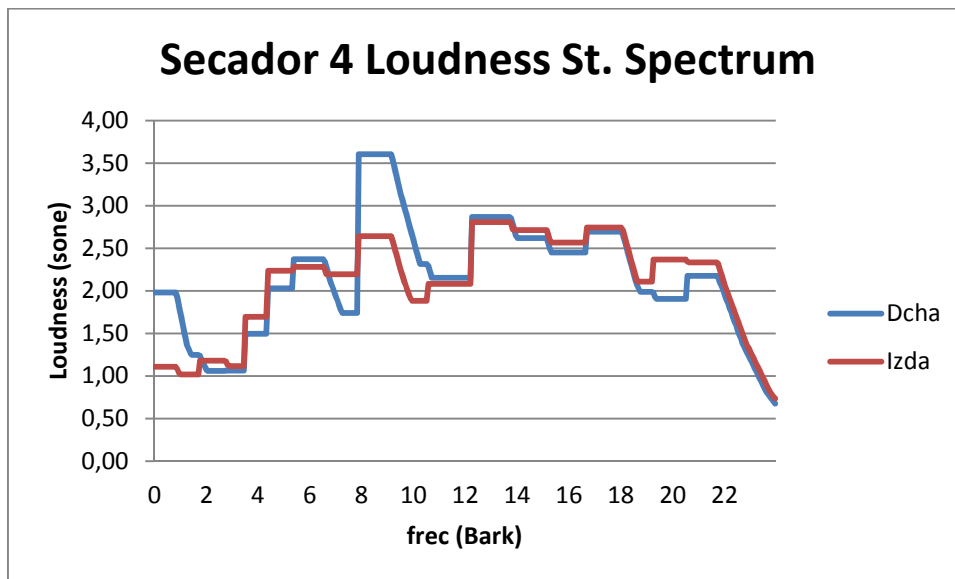


Fig.79. Loudness stationary spectrum

Para el secador 5 tenemos un nivel de presión 76 dBA y un loudness de 34.4 sone. Se observa además que se obtienen a frecuencias bajas unos niveles muy diferentes en un canal que en otro. Esto es debido a que el secador se desvió del centro de la cabeza y se introdujo aire en el canal izquierdo, elevando el nivel en bajas frecuencias que hacen vibrar la membrana del micrófono. Esto hace que los resultados obtenidos en este caso sean un poco alterados.

El sharpness es de 2.15 acum(z). En este caso también podría haber variado el resultado del sharpness por el aire que se introduce en el canal izquierdo.

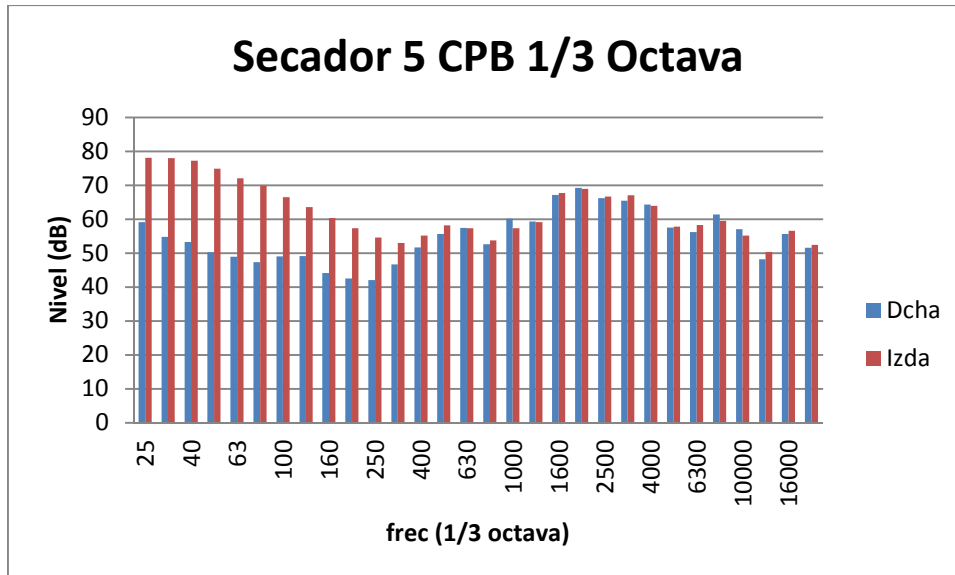


Fig.80. Nivel CPB 1/3 octava

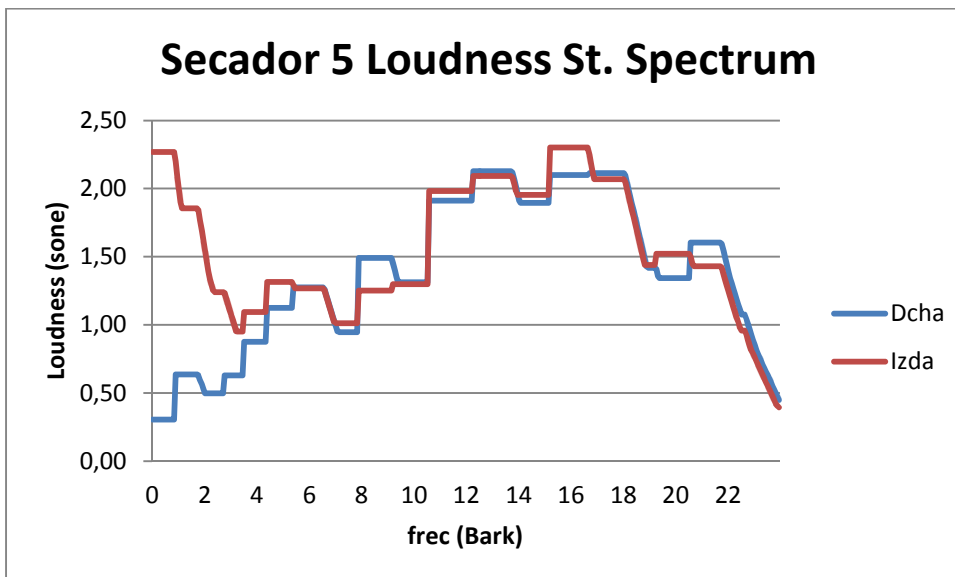


Fig.81. Loudness stationary spectrum

Extractores

Para el extractor 1 tenemos un nivel de presión 69.5 dBA y un loudness de 26.3 sone. El nivel más alto de los extractores. Tampoco se puede decir que se trata de un nivel elevado, ya que es menor que los cinco secadores, ni bajo porque entre los mismos extractores tenemos niveles de 62 db- 16.4 sone.

El espectro en frecuencias de este extractor, es relativamente plano entre 40 y 5khz. Con un sharpness de 1.77 acum(z) también es el sonido más molesto en frecuencia para este tipo de electrodomésticos.

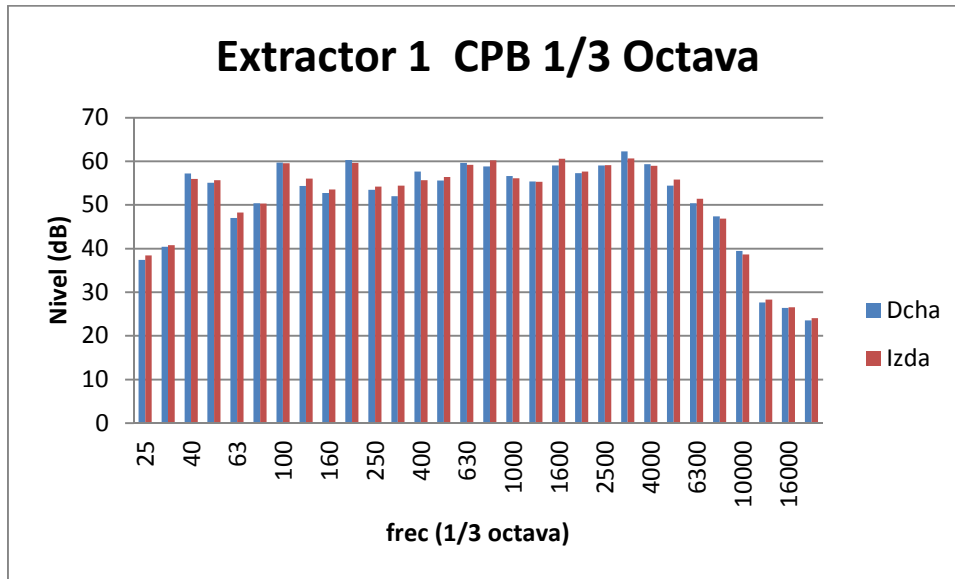


Fig.82. Nivel CPB 1/3 octava

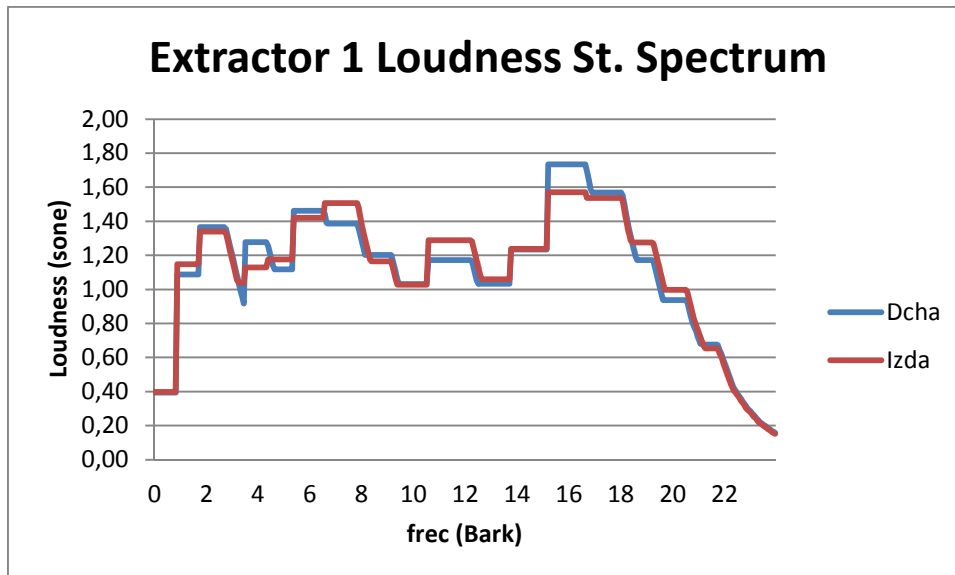


Fig.83. Loudness stationary spectrum

Para el extractor 2 tenemos un nivel de presión 64.1 dBA y un loudness de 20.1 sone. Este extractor tiene el nivel medio de los extractores, al igual que el extractor4 que distan 5 dB y 6 sone con el extractor1 y 2 dB y 4 sone con el extractor3.

Su nivel de sharpness concuerda con la relación en frecuencias que se puede ver en la gráfica del nivel, con un sharpness de 1.49 acum(z), siendo las frecuencias bajas las que predominan en este sonido teniendo un pico en 2 barks.

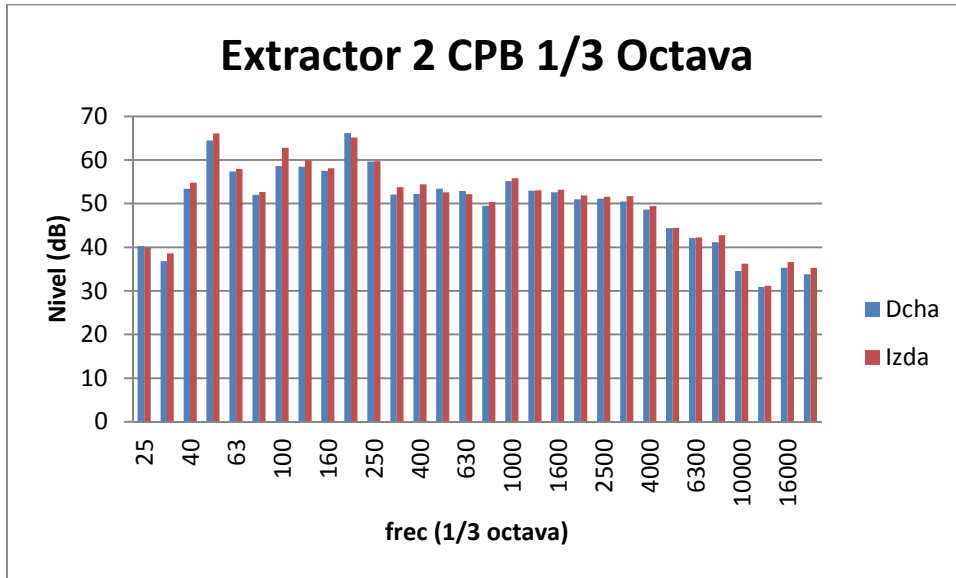


Fig.84. Nivel CPB 1/3 octava

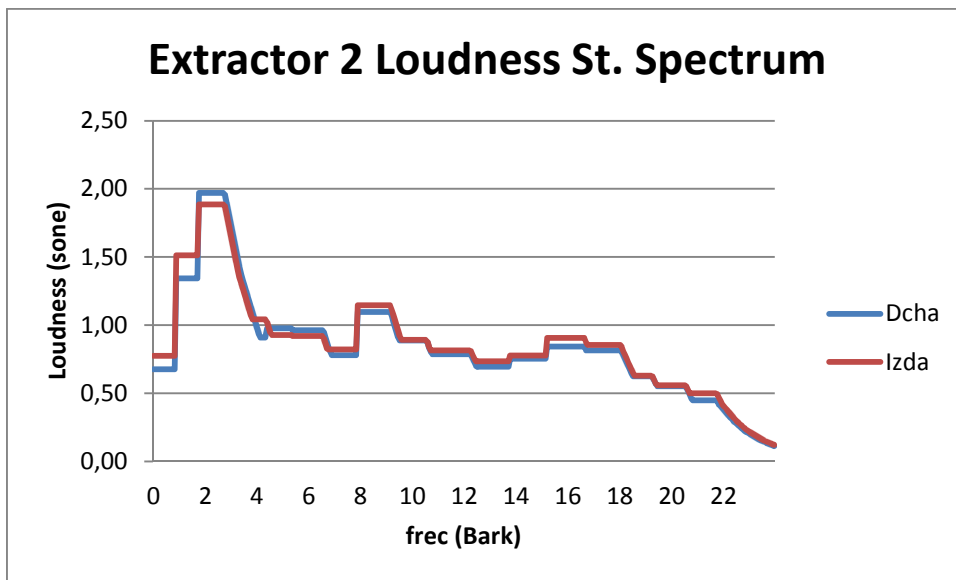


Fig.85. Loudness stationary spectrum

Para el extractor 3 tenemos un nivel de presión 62 dBA y un loudness de 16.4 sone. Tiene el nivel mínimo de sonoridad de los extractores, 4 sone por debajo de la media.

El sharpness es de 1.38 acum(z) que también es el más bajo de los extractores. Tiene un espectro en barks similar al extractor 2 con un pico en 2-3 barks y en el resto de bandas baja el nivel de 1.4 sone a 0.7 sone, la mitad de la sonoridad en esas bandas.

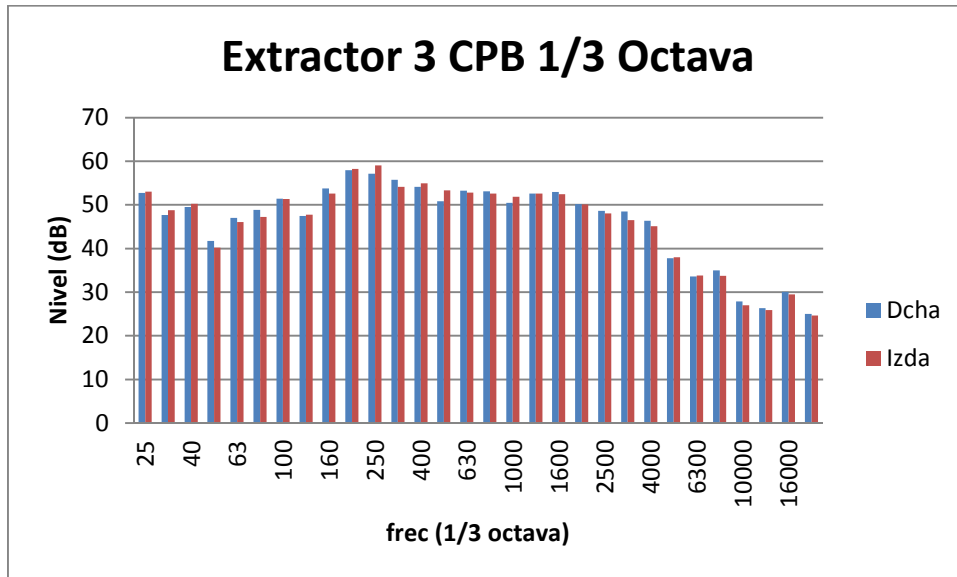


Fig.86. Nivel CPB 1/3 octava

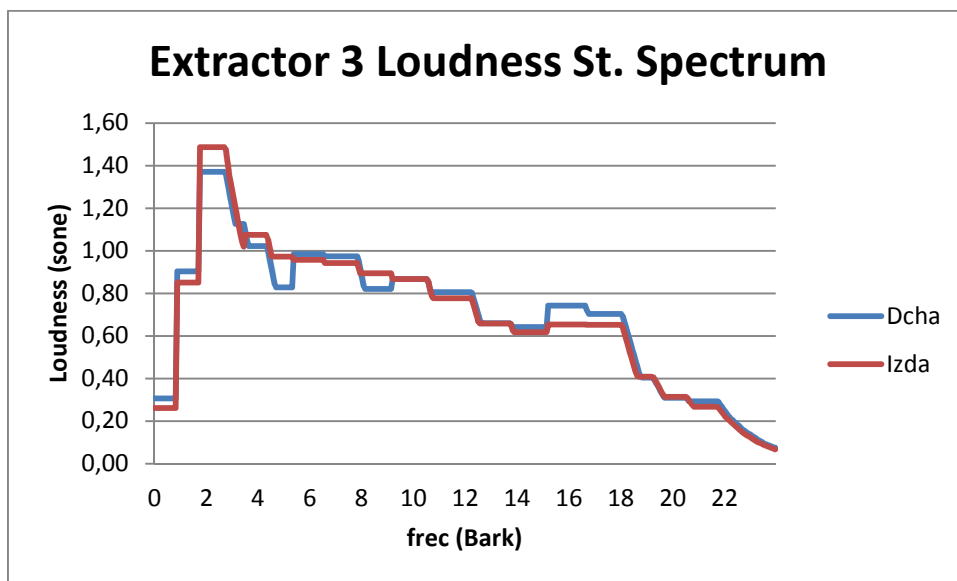


Fig.87. Loudness stationary spectrum

Para el extractor 4 tenemos un nivel de presión 64.4 dBA y un loudness de 20.7 sone. Como el extractor 2 tiene el nivel medio de los extractores.

Para el caso del sharpness y en comparación con el extractor 2 que tiene su misma sonoridad, el extractor 2 tiene el pico en 2-3 barks más pronunciado y los niveles de las otras bandas más bajo que el extractor 4 que tiene su sonoridad en 2-3 barks con menos nivel y las demás bandas con un nivel mayor que eleva el parámetro del sharpness hasta los 1.70 acum(z) frente a los 1.49 del extractor 2.

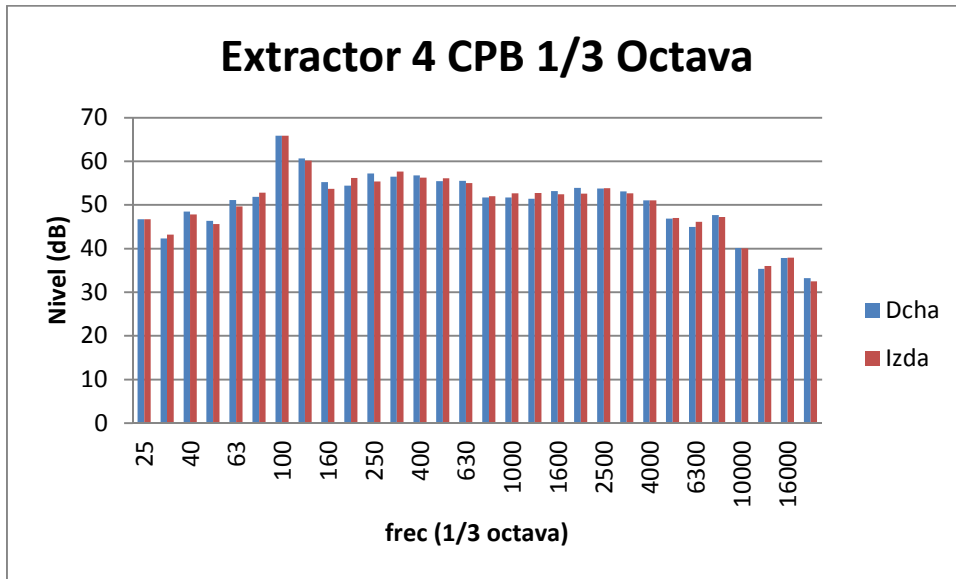


Fig.88. Nivel CPB 1/3 octava

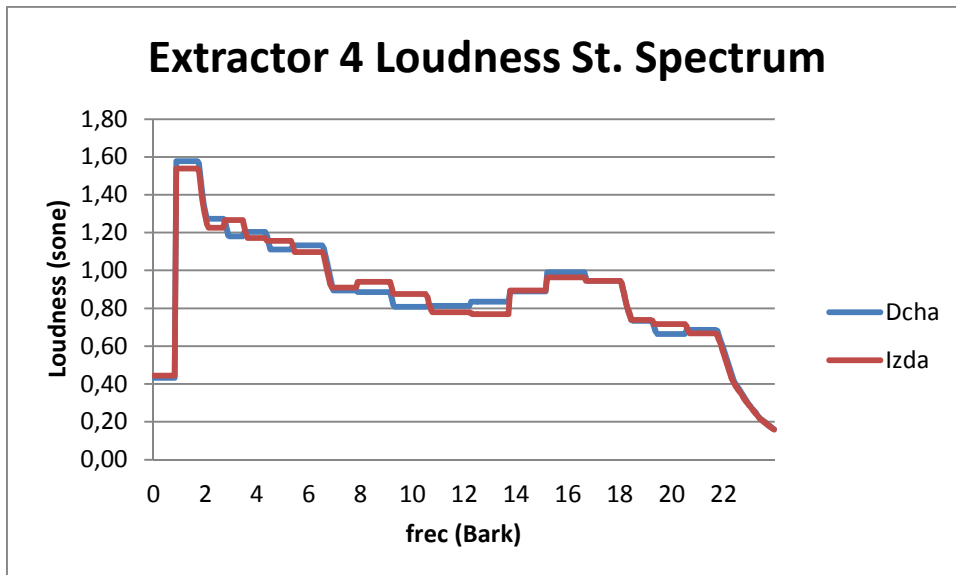


Fig.89. Loudness stationary spectrum

Microondas

Para el microondas 1 tenemos un nivel de presión 56.4 dBA y un loudness de 11.3 sone. Con un nivel muy pequeño se trata del que más nivel tiene de los microondas. Aunque todos los microondas tengan niveles bajos, unos son muy silenciosos y otros tienen un nivel ligeramente molesto. Este microondas es de los ligeramente molestos, aunque se ha de reiterar que siguen siendo los electrodomésticos más silenciosos que se están evaluando.

El sharpness en todos los microondas es inferior a 1.40 acum(z) que también resultan los niveles más bajos de sharpness. Para el microondas 1 el sharpness es de 1.32 acum(z).

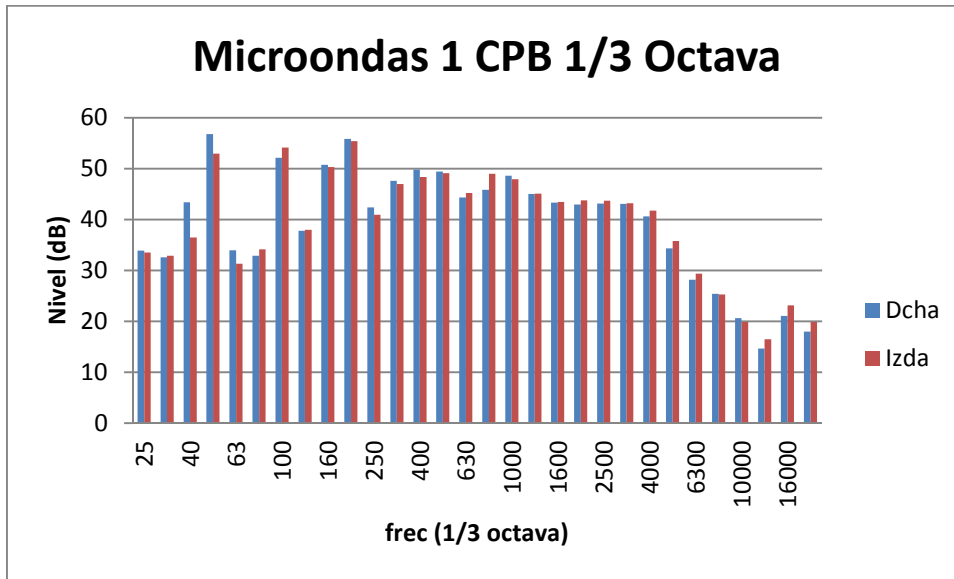


Fig.90. Nivel CPB 1/3 octava

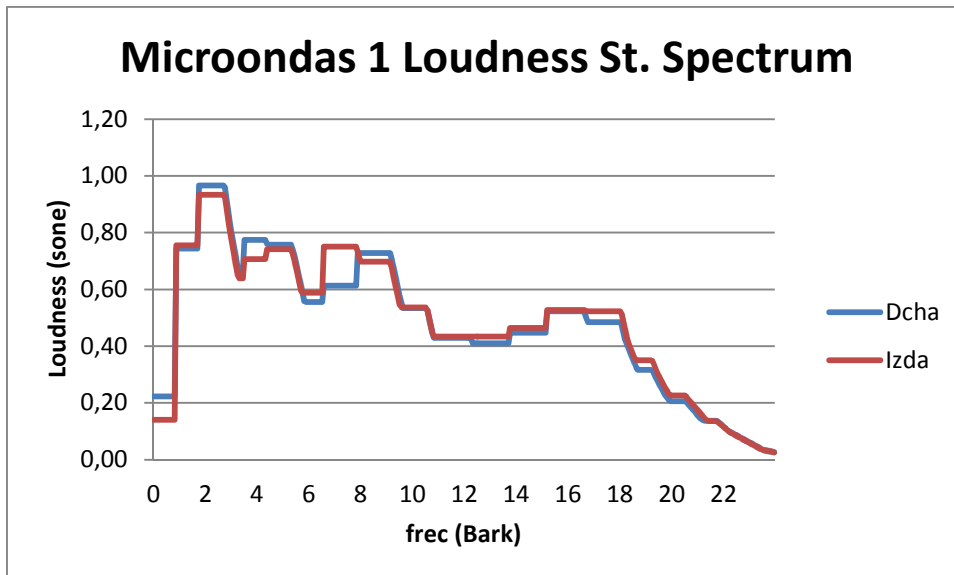


Fig.91. Loudness stationary spectrum

Para el microondas 2 tenemos un nivel de presión 53.1 dBA y un loudness de 8.6 sone. Este sonido está en consonancia con los niveles de los microondas, es decir unos niveles muy bajos en relación con los demás sonidos.

El sharpness 1.1 acum(z) el más bajo de todos los sonidos estudiados. Es 0.19 menor que los siguientes valores superiores. Se puede ver en el espectro del loudness que solo tiene nivel en la banda de 2 barks y en las restantes el nivel está por debajo de 0.5 en todas las bandas.

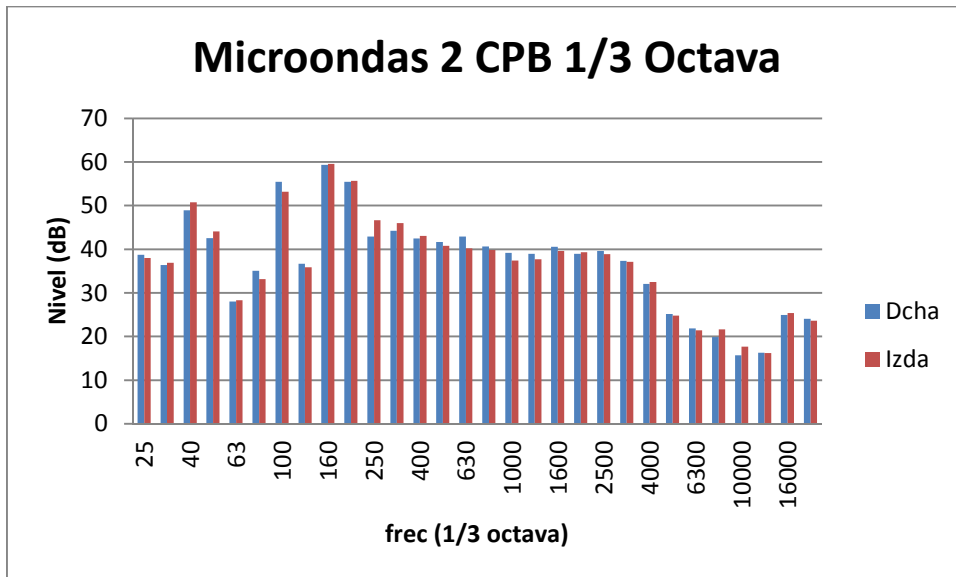


Fig.92. Nivel CPB 1/3 octava

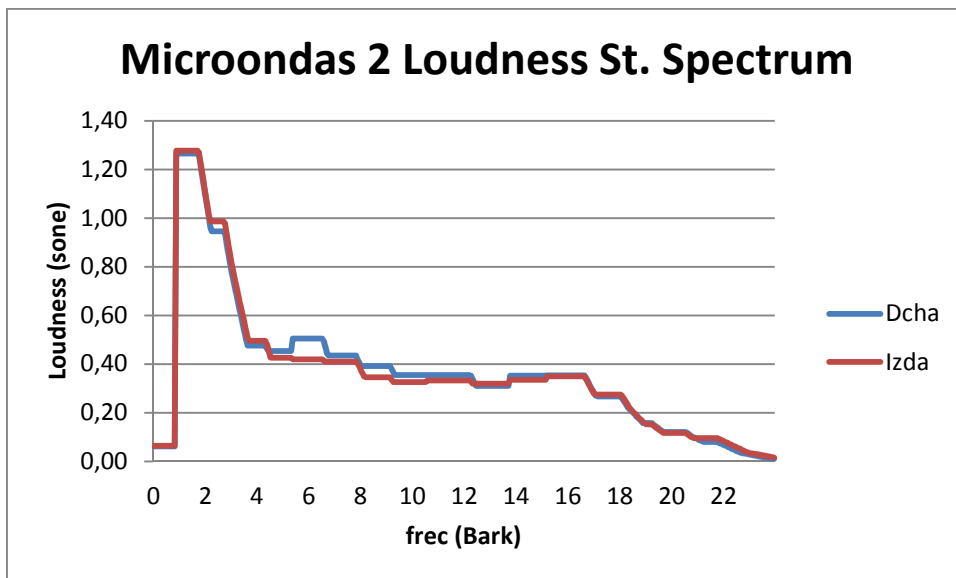


Fig.93. Loudness stationary spectrum

Para el microondas 3 tenemos un nivel de presión 47.9 dBA y un loudness de 6.1 sone. El nivel más bajo de todos los electrodomésticos. En ninguna banda supera los 0.5 sone y llega hasta los 0.05 sone en varias bandas.

Para el sharpness en relación con el microondas 2 es mayor ya que su espectro está más repartido en frecuencias. Su nivel es de 1.4 acum(z) siendo el mayor de los microondas pese a tener la menor sonoridad. Esto es debido a lo ya comentado que tiene un espectro de ruido más plano que otros.

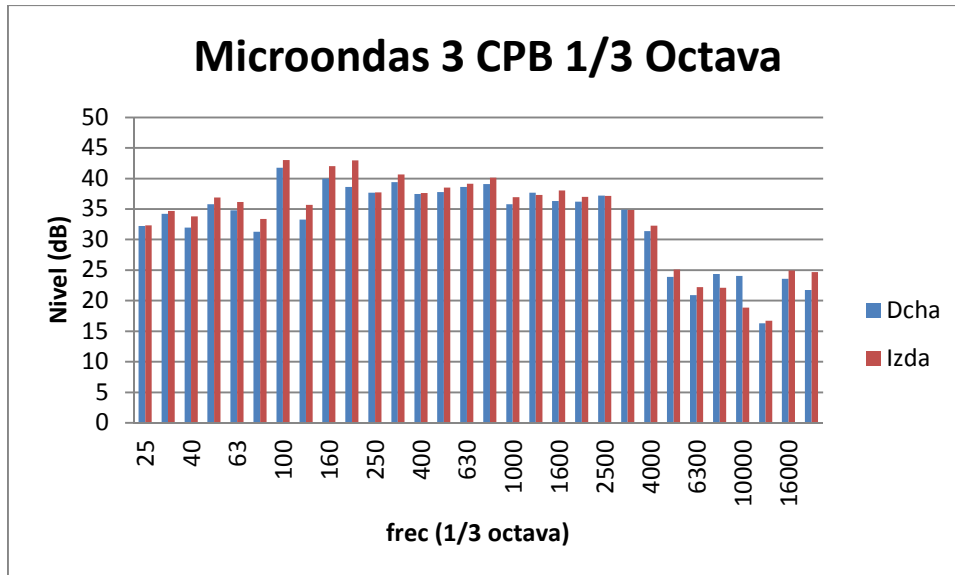


Fig.94. Nivel CPB 1/3 octava

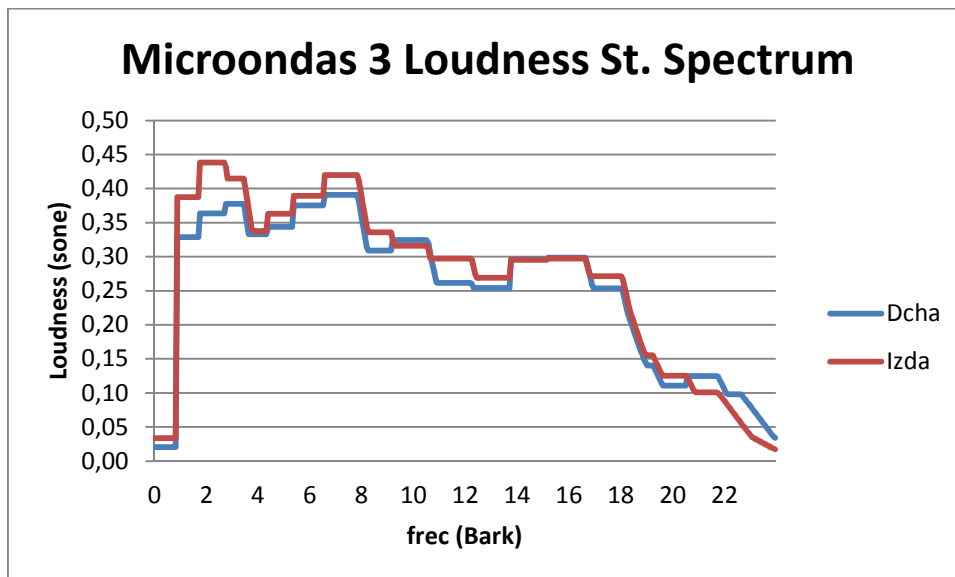


Fig.95. Loudness stationary spectrum

Para el microondas 4 tenemos un nivel de presión 54.3 dBA y un loudness de 9.1 sone. El análisis de este microondas es similar al del microondas 2 en relación a la sonoridad.

Con un sharpness de 1.29 acum(z) es un nivel también muy bajo, pero no el menor. Su espectro en barks es parecido al del microondas 1 que tiene un sharpness 0.03 sone menor.

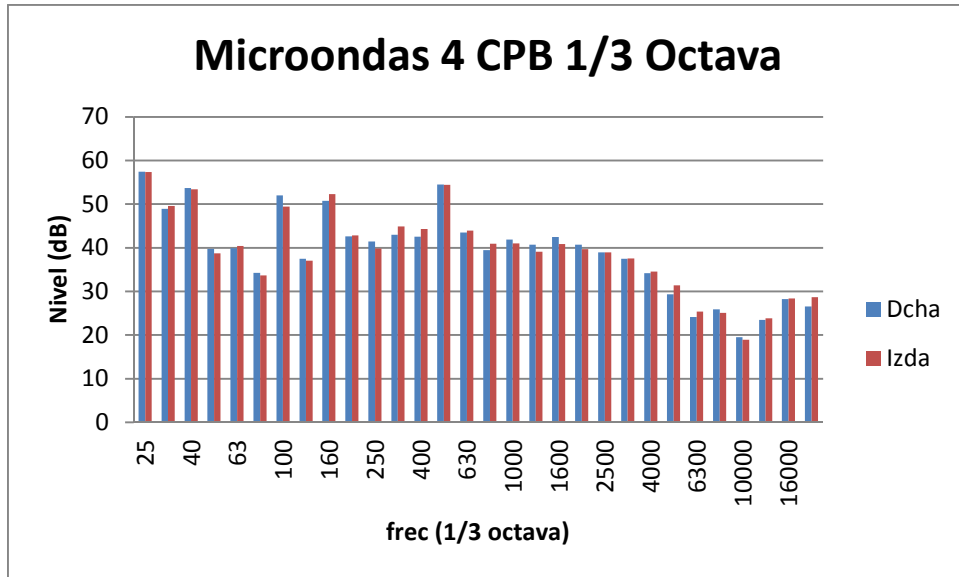


Fig.96. Nivel CPB 1/3 octava

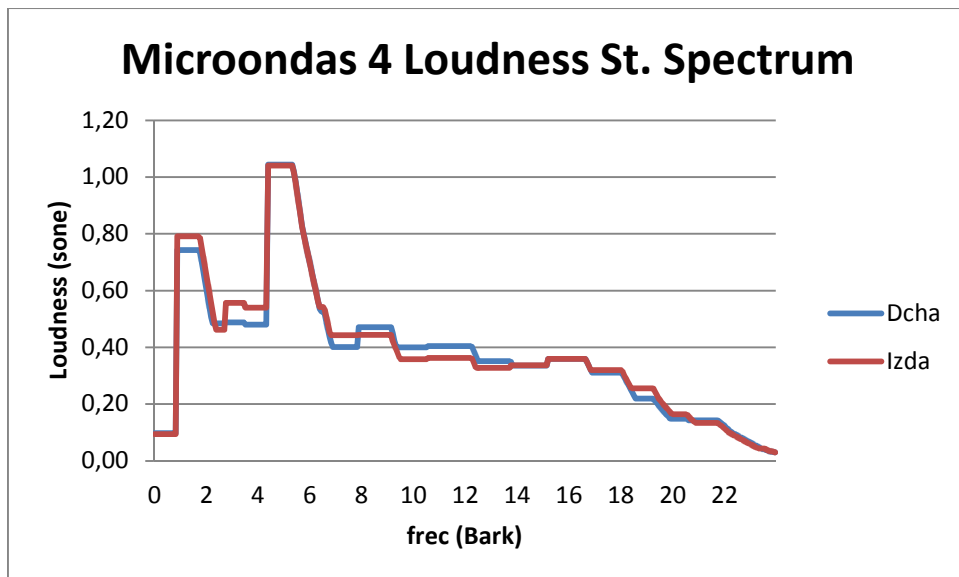


Fig.97. Loudness stationary spectrum

Para el microondas 5 tenemos un nivel de presión 54.5 dBA y un loudness de 10 sone. También de un nivel bajo en comparación con todos los demás electrodomésticos.

Tiene un sharpness de 1.29 acum(z) al igual que el microondas 4.

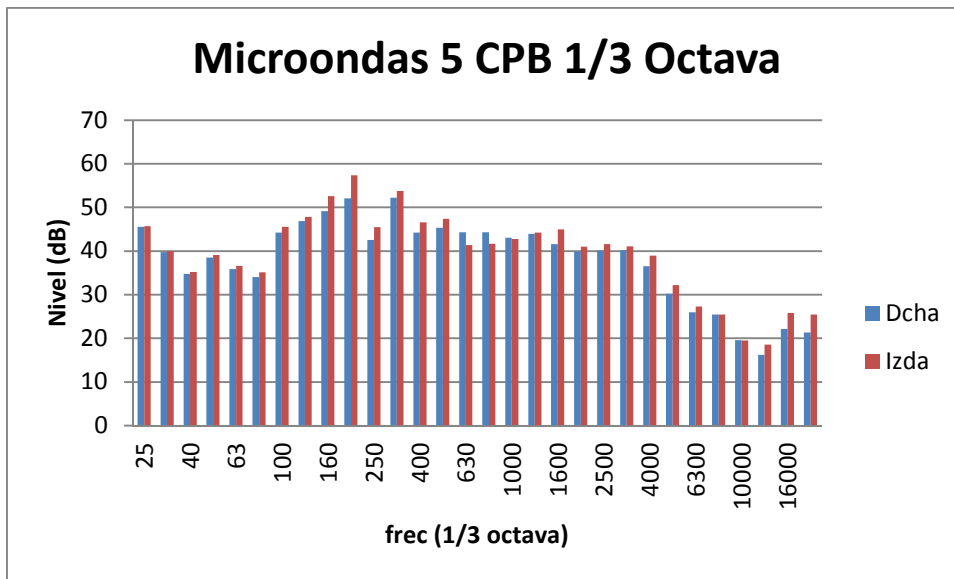


Fig.98. Nivel CPB 1/3 octava

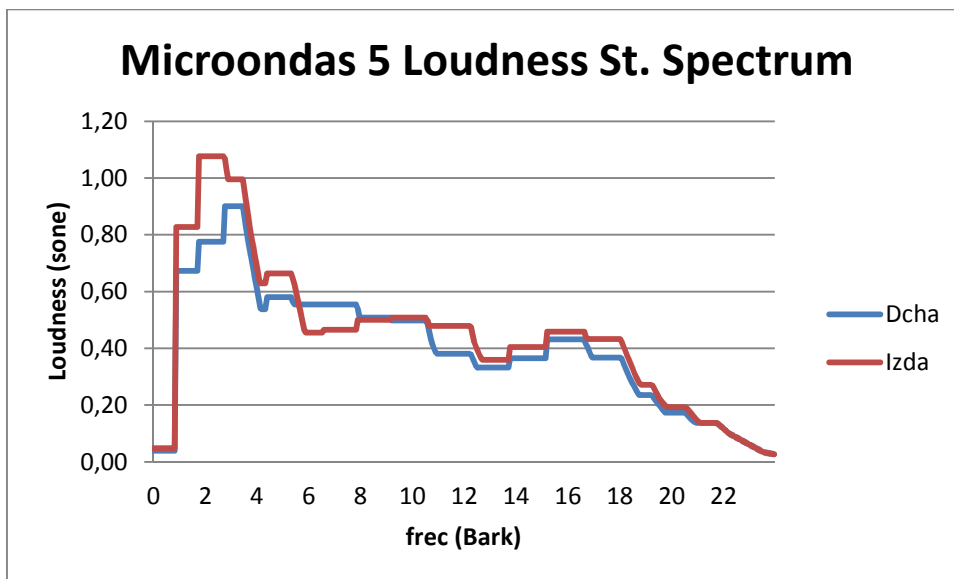


Fig.99. Loudness stationary spectrum

Lavadoras

Para la lavadora 1 tenemos un nivel de presión 71 dBA y un loudness de 30.6 sone. La lavadora con más nivel y sonoridad con 3 dB – 4 sone de diferencia y una diferencia de 5.7 sone con la media de las lavadoras. Tiene más sonoridad que uno de los secadores pese a que la lavadora este a 1 metro de distancia y el secador a 15 cm de la cabeza. Además llega casi a los 31.2 sone de la aspiradora con menor nivel.

El sharpness de la lavadora 1 es de 1.87 acum(z) ligeramente por debajo de la media del sharpness en las lavadoras que es de 2 acum(z).

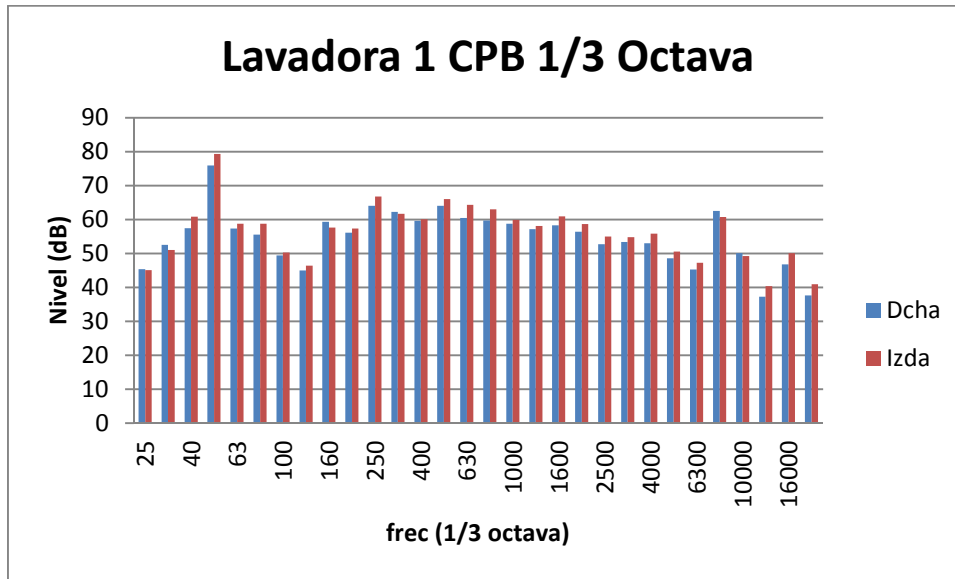


Fig.100. Nivel CPB 1/3 octava

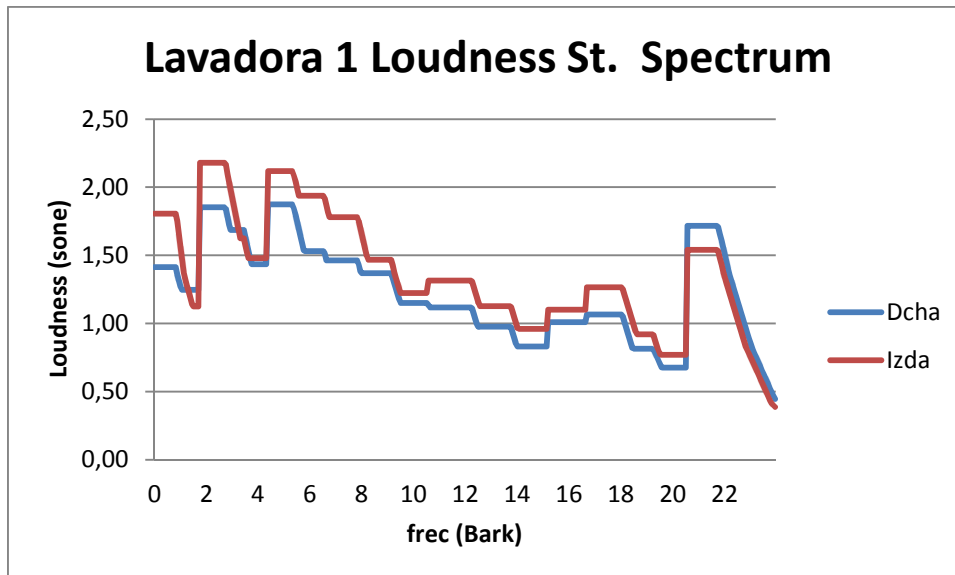


Fig.101. Loudness stationary spectrum

Para la lavadora 2 tenemos un nivel de presión 69.2 dBA y un loudness de 26.1 sone. La tercera lavadora más molesta en cuanto a sonoridad y todavía por encima de la media de las lavadoras. Es 1.8 dB y 4 sone menor que la lavadora 1, la lavadora más sonora.

El sharpness es de 1.77 acum(z) el menor sharpness de las lavadoras, 0.1 acum(z) menor que la siguiente lavadora más molesta en cuanto a sharpness.

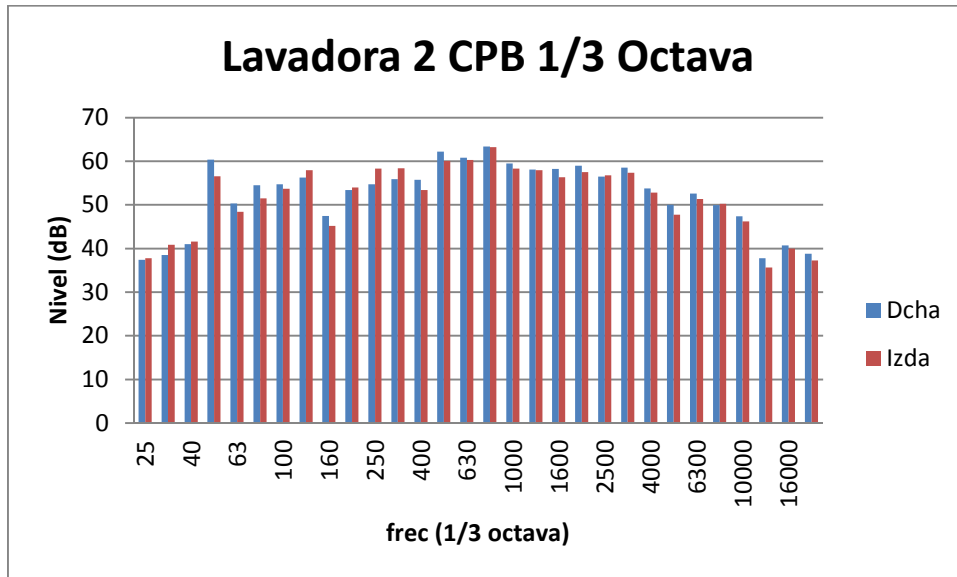


Fig.102. Nivel CPB 1/3 octava

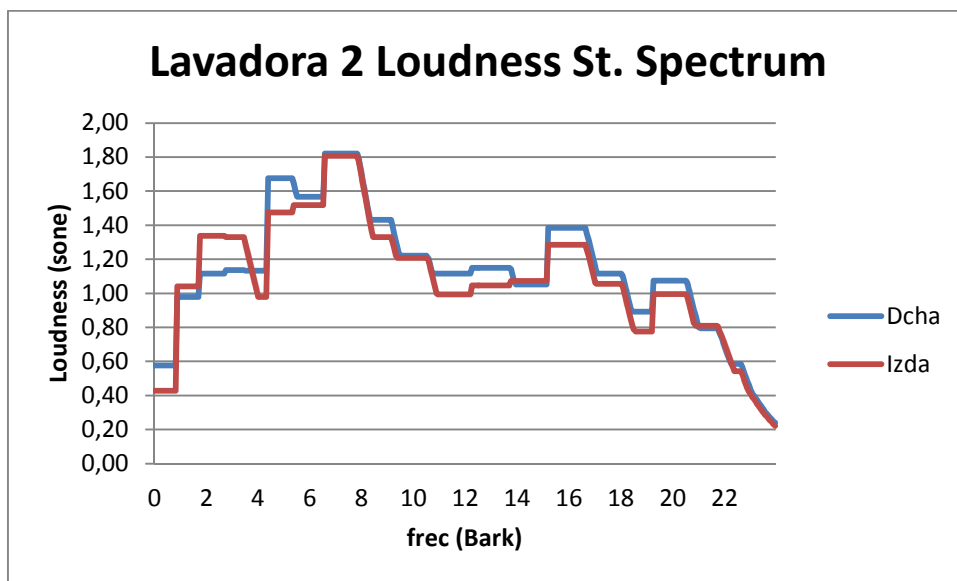


Fig.103. Loudness stationary spectrum

Para la lavadora 3 tenemos un nivel de presión 53.8 dBA y un loudness de 8.5 sone. Se trata de la lavadora mal medida. Se puede observar que es un nivel inusual para una lavadora común. Se descarta la medida para su comparación con los otros electrodomésticos y también para la realización de medias porque se desvirtuarían las medias.

Para el sharpness aun así se realizará el análisis con fin ilustrativo. Debido a las revoluciones y a la fricción de la lavadora esta tiene un nivel mayor de sharpness que todos los microondas pese a tener menos loudness que 4 de los 5 microondas observados.

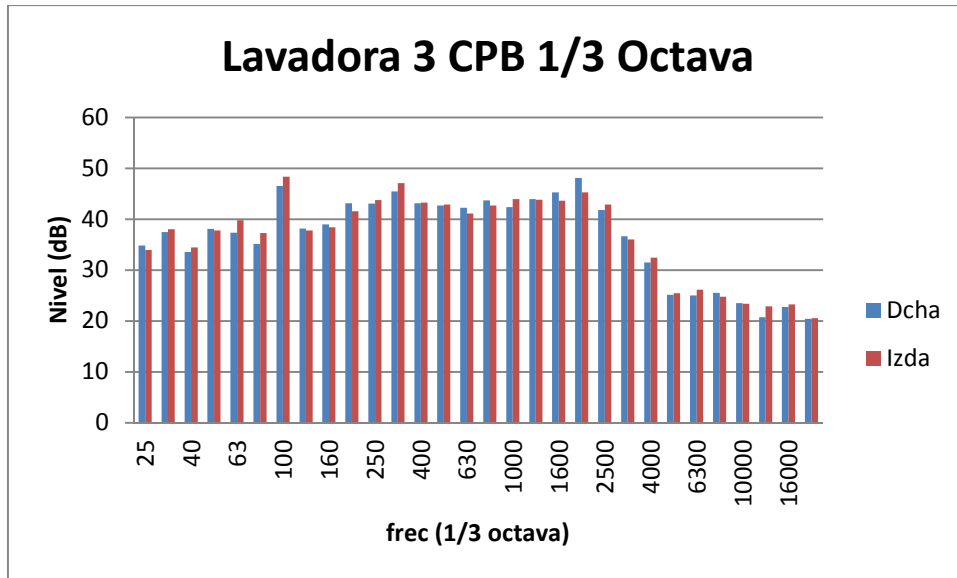


Fig.104. Nivel CPB 1/3 octava

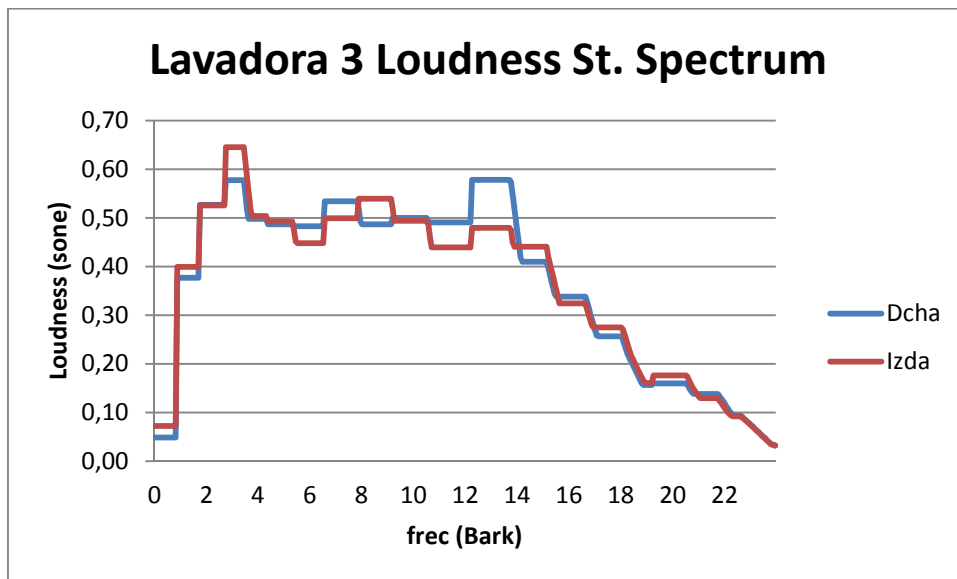


Fig.105. Loudness stationary spectrum

Para la lavadora 4 tenemos un nivel de presión 62.5 dBA y un loudness de 16.6 sone. La lavadora con menor sonoridad. Hasta 10 sone por debajo de la tercera lavadora con mayor sonoridad y 8 sone por debajo de la media. Todos los extractores superan este nivel. Se trata de una lavadora bastante silenciosa y poco molesta.

El sharpness aun así está en la media de las lavadoras, 1.99 acum(z) que como se ha comentado en la lavadora 3 es debido a que trabaja a unas revoluciones altas y tiene fricción con otros elementos que componen la lavadora. Esto se ve en la banda de 16-17 barks – 3-4 KHz con un nivel que sobresale de los valores colindantes.

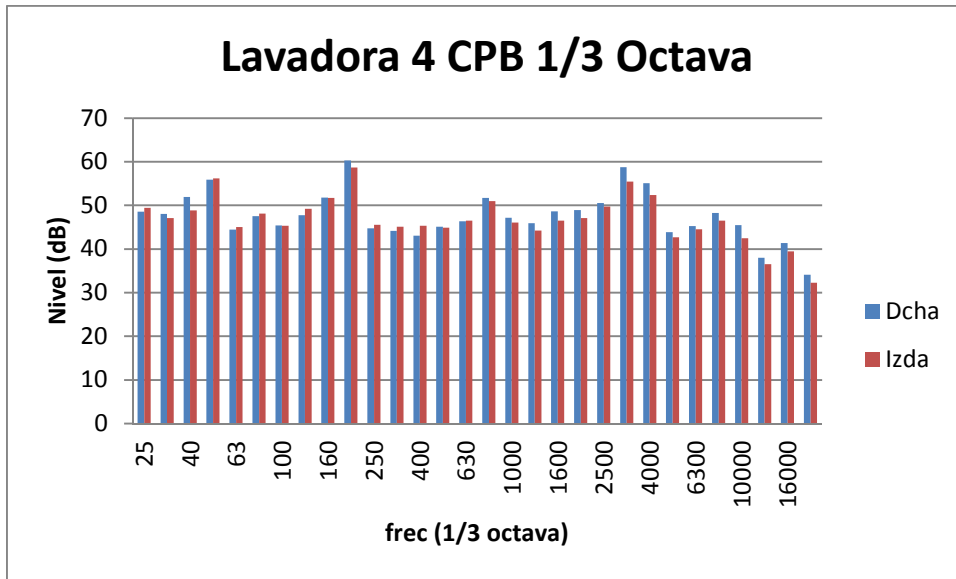


Fig.106. Nivel CPB 1/3 octava

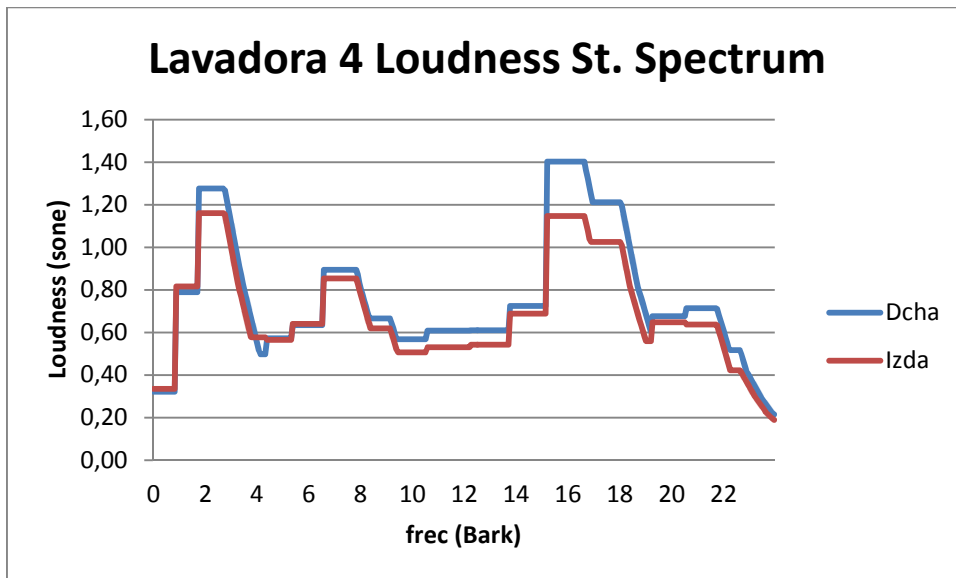


Fig.107. Loudness stationary spectrum

Para la lavadora 5 tenemos un nivel de presión 68 dBA y un loudness de 26.4 sone. Tiene un nivel en dB 1.2 dB menor que la lavadora 2 sin embargo la lavadora 5 tiene una sonoridad 0.4 sone mayor que la lavadora 2. Como en el ejemplo de la introducción teórica una lavadora con un nivel de presión menor que otra, es más molesto que la otra.

Esto que sucede con el loudness se ve plasmado en el sharpness que con un nivel de 2.22 acum(z) es 0.45 acum(z) mayor que la lavadora 2. Es además, el mayor nivel de sharpness de las lavadoras superando a la segunda en 0.23 acum(z).

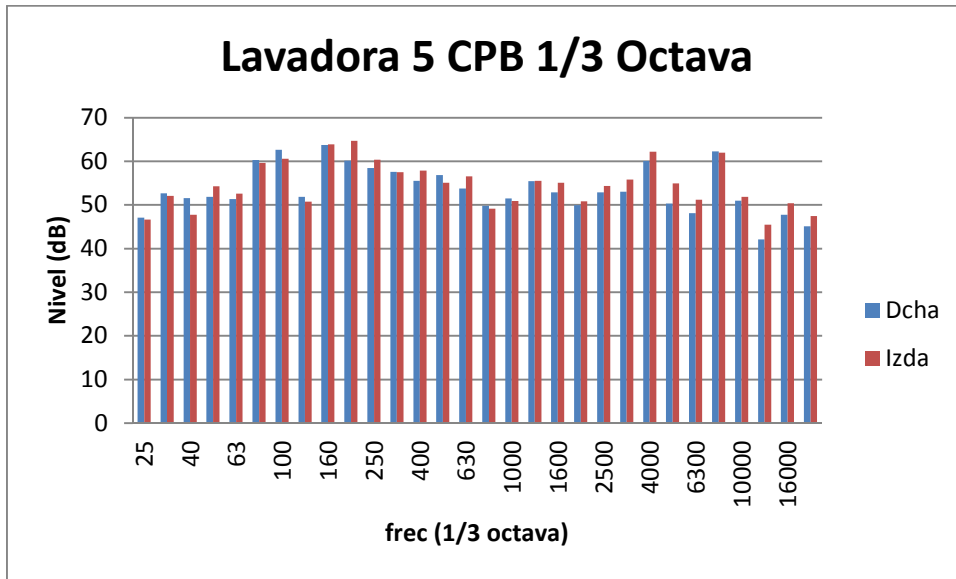


Fig.108. Nivel CPB 1/3 octava

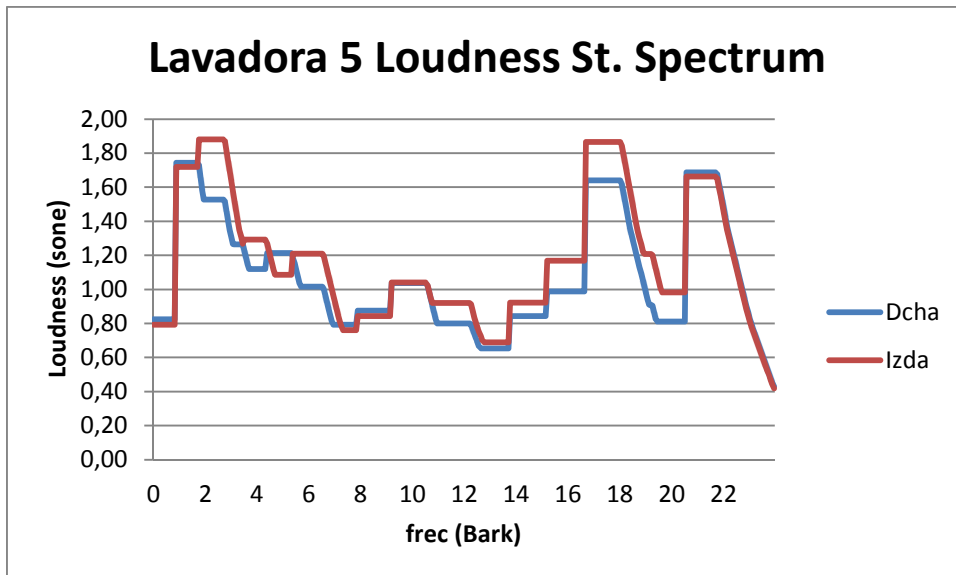


Fig.109. Loudness stationary spectrum

Aspiradores

Para el aspirador 1 tenemos un nivel de presión 72.1 dBA y un loudness de 31.2 sone. El menos molesto de todos los aspiradores y 8 sone por debajo de la media.

El sharpness también es el menor de los aspiradores, 1.62 acum(z). Bastante poco sharpness para los aspiradores que tienen una media de 2.2 acum(z) y el siguiente aspirador con menor sharpness es el aspirador 5 con 2.03 acum(z). También se puede apreciar en el espectro del loudness que tiene más nivel en bajas frecuencias que en altas.

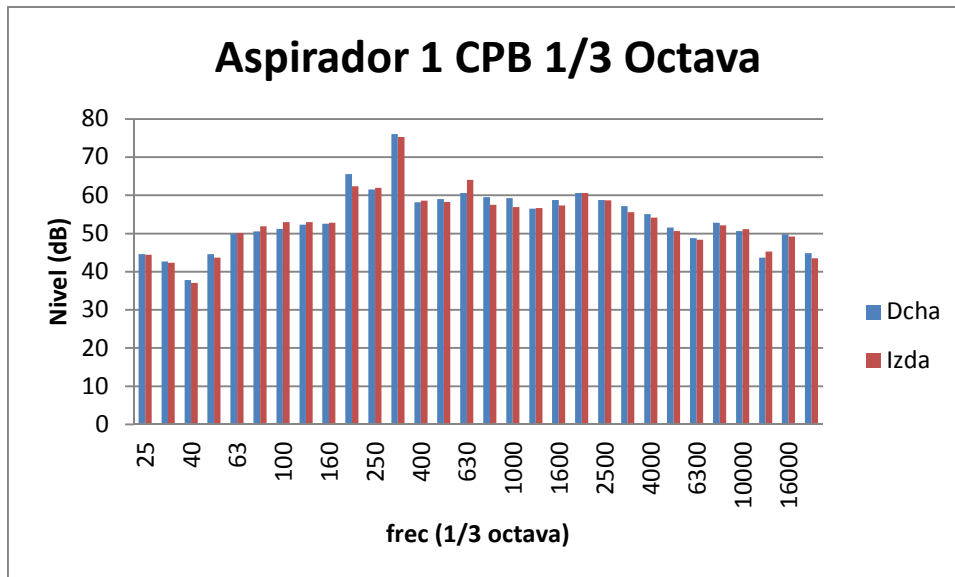


Fig.110. Nivel CPB 1/3 octava

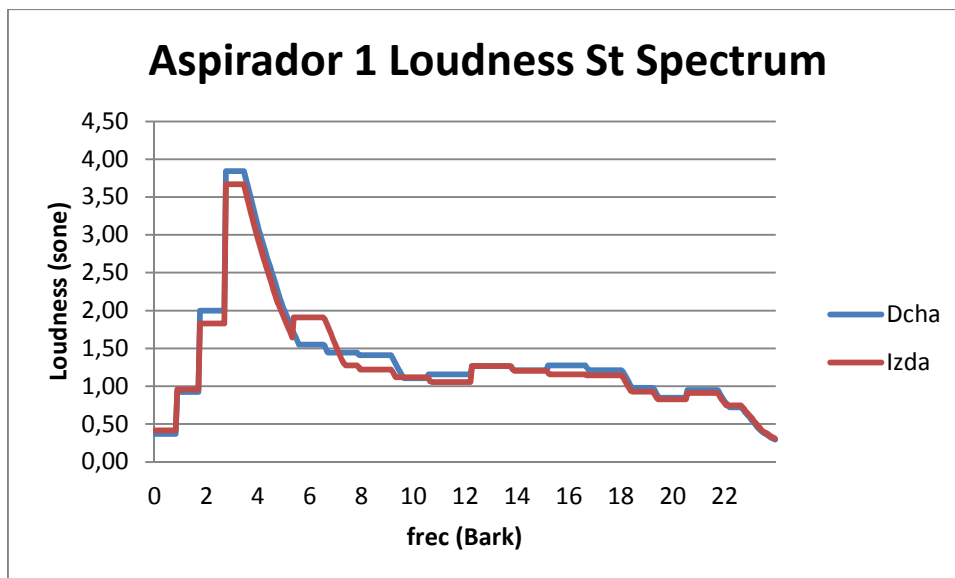


Fig.111. Loudness stationary spectrum

Para el aspirador 2 tenemos un nivel de presión 77.9 dBA y un loudness de 39.8 sone. Justo en la media de los aspiradores. Un sonido elevado pero no tanto como los aspiradores 3 y 4.

El sharpness del aspirador 2 es el más elevado de todos los electrodomésticos. Con un nivel de 2.51 acum(z) se nota en el espectro que tiene unos niveles bastante elevados en frecuencias altas. La razón por la que este electrodoméstico tiene frecuencias altas en su espectro puede que sea porque emite aire y cuando pasa el aire por los conductos del aspirador hace como el efecto de silbido.

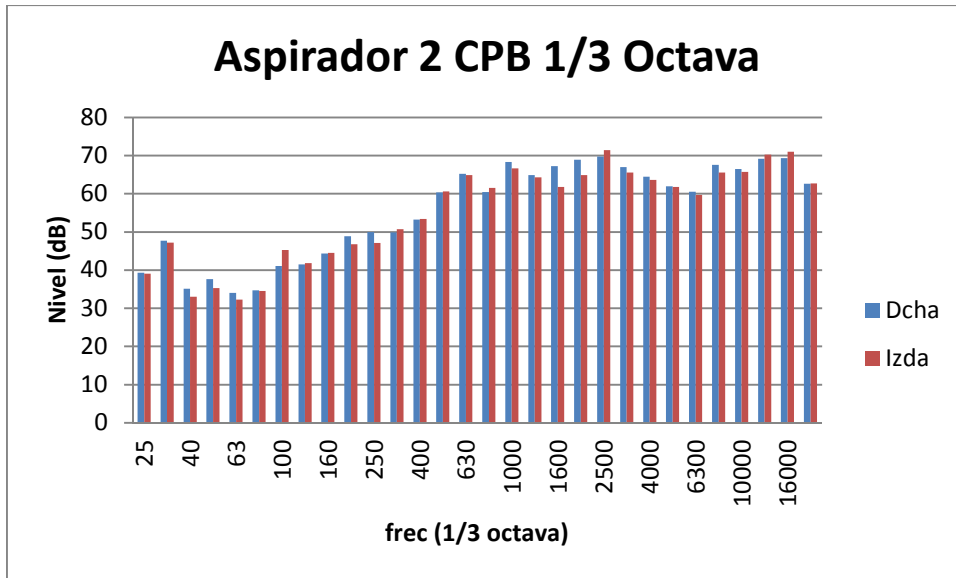


Fig.112. Nivel CPB 1/3 octava

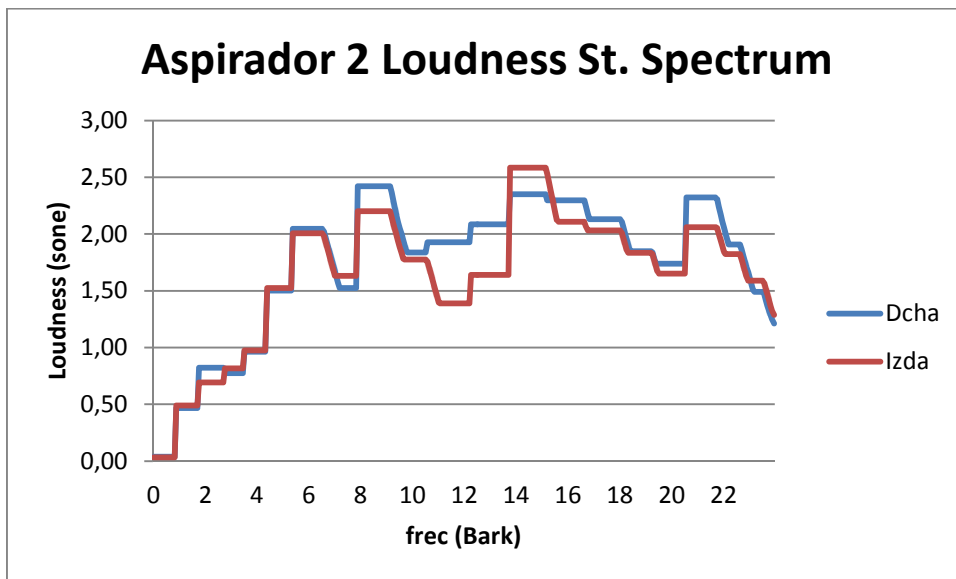


Fig.113. Loudness stationary spectrum

Para el aspirador 3 tenemos un nivel de presión 80.3 dBA y un loudness de 47.7 sone. Es el segundo electrodoméstico con más nivel. Es 0.7 - 2.3 sone menor que el secador 4 que es el electrodoméstico más molesto de los estudiados con 50 sone.

El sharpness es de 2.43 acum(z), también el segundo sharpness mayor de todos los electrodomésticos. Es un valor poco menor que el del aspirador anterior.

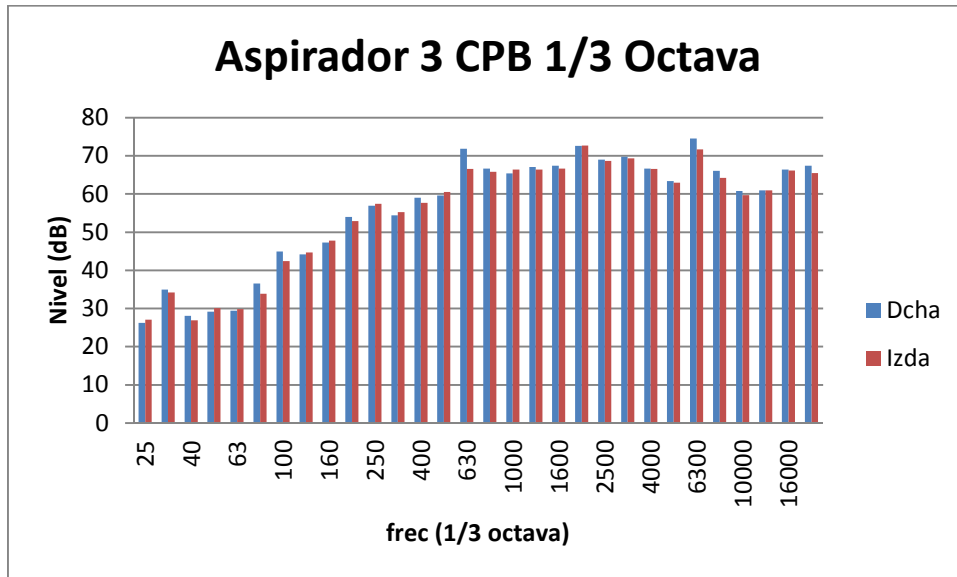


Fig.114. Nivel CPB 1/3 octava

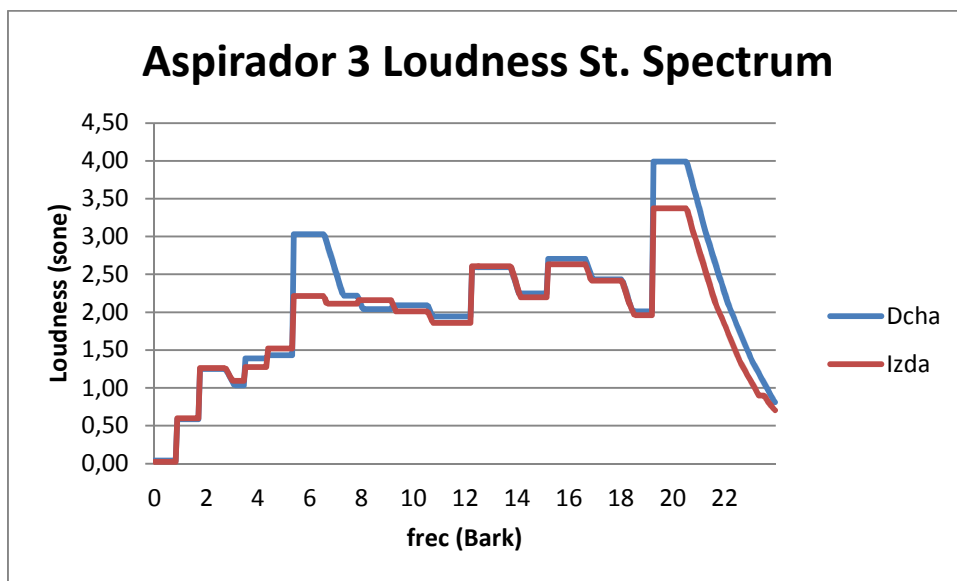


Fig.115. Loudness stationary spectrum

Para el aspirador 4 tenemos un nivel de presión 79.3 dBA y un loudness de 47.2 sone. Con un nivel muy parecido al del aspirador 3, también se trata de un electrodoméstico con un nivel muy elevado, que roza el dolor.

El sharpness es similar al del aspirador 3. Con 2.41 acum(z) es, como todos los aspiradores, de los electrodomésticos con más sharpness.

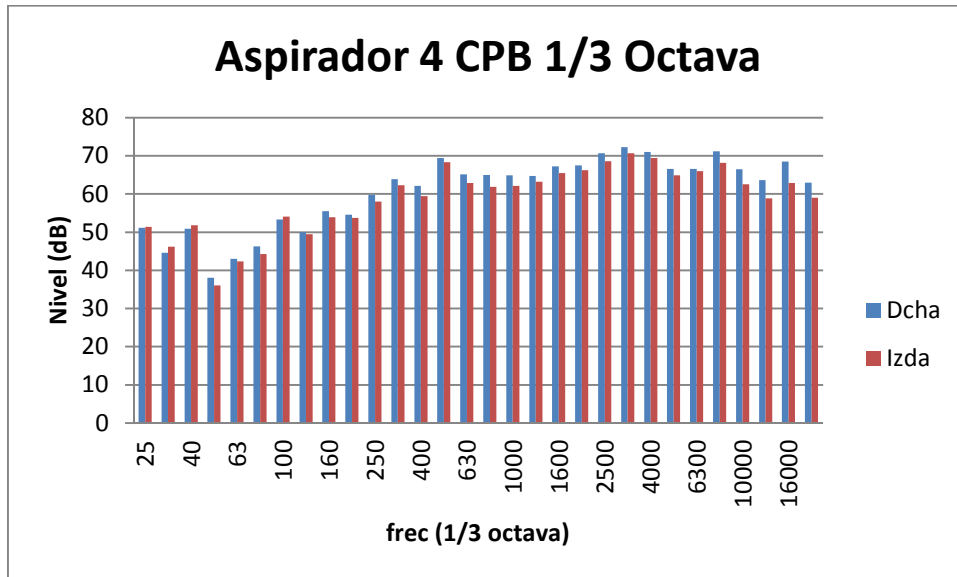


Fig.116. Nivel CPB 1/3 octava

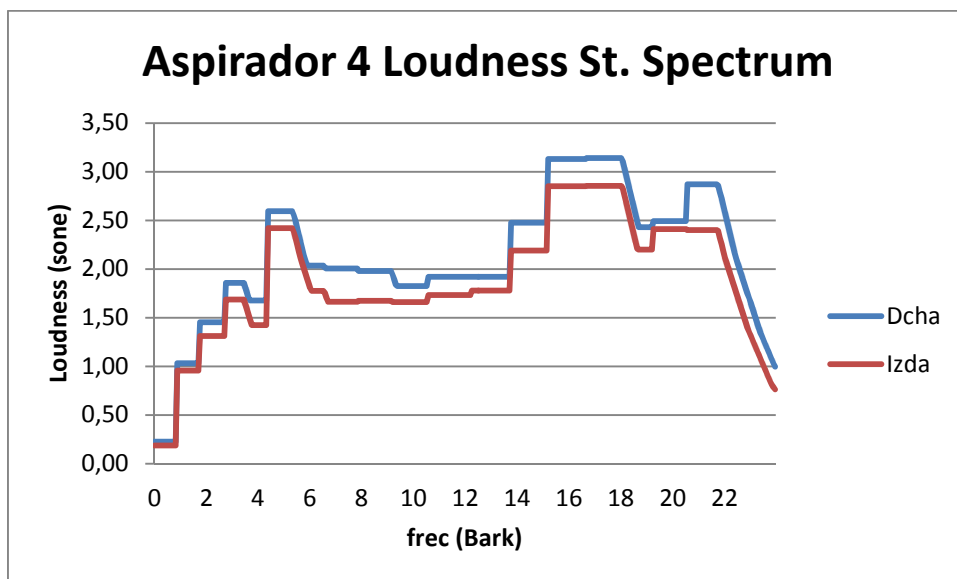


Fig.117. Loudness stationary spectrum

Para el aspirador 5 tenemos un nivel de presión 73.7 dBA y un loudness de 33.4 sone. El segundo aspirador con menor nivel y sonoridad. La diferencia con los 3 aspiradores anteriores es de 4.2 dB – 6.4 sone como mínimo.

El sharpness de este aspirador también es menor que la media de los aspiradores, 2.03 acum(z) frente a los 2.2 acum(z) de la media de los aspiradores.

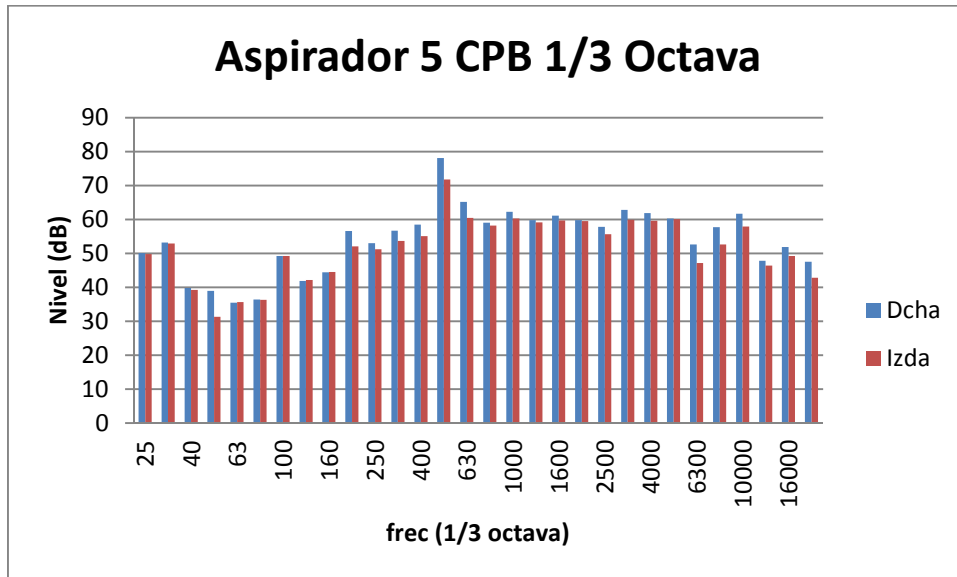


Fig.118. Nivel CPB 1/3 octava

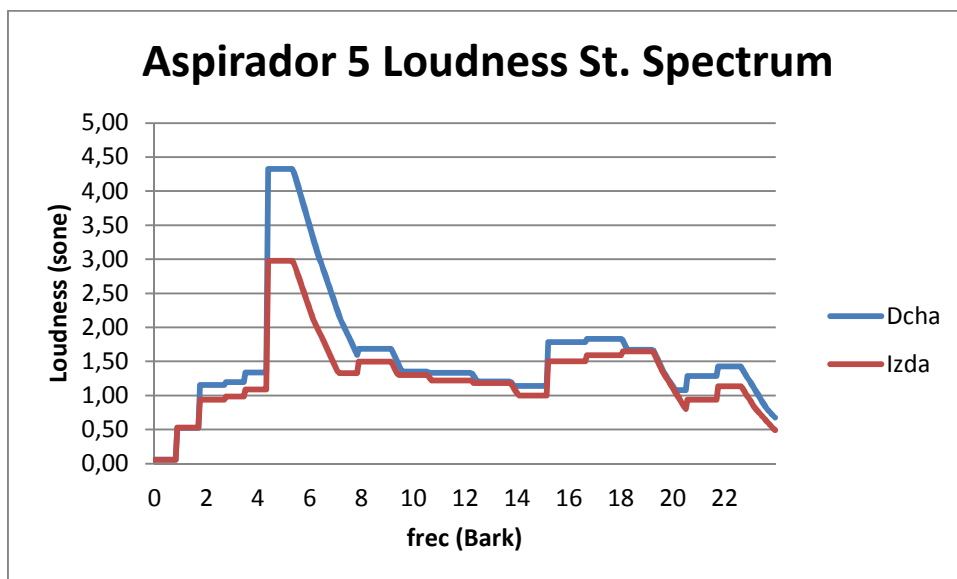


Fig.119. Loudness stationary spectrum

Para el aspirador 6, el RUMBA tenemos un nivel de presión 64.5 dBA y un loudness de 18.6 sone. Este aspirador además de aspirar tiene un rotor que gira y saca la suciedad del suelo automáticamente con unas escobillas. La mayoría del sonido que emite este tipo de aspirador es de fricción con el suelo y en menor medida del hecho de aspirar. Evidentemente es el aspirador con menor molestia debido a que no tiene conductos por los que pasa el aire.

El sharpness es elevado pese a lo que se pueda pensar por no tener conductos de aire. La fricción de las escobillas giratorias contra el suelo provoca sonidos agudos que elevan el sharpness hasta los 2.14 acum(z), más o menos en la media de los aspiradores.

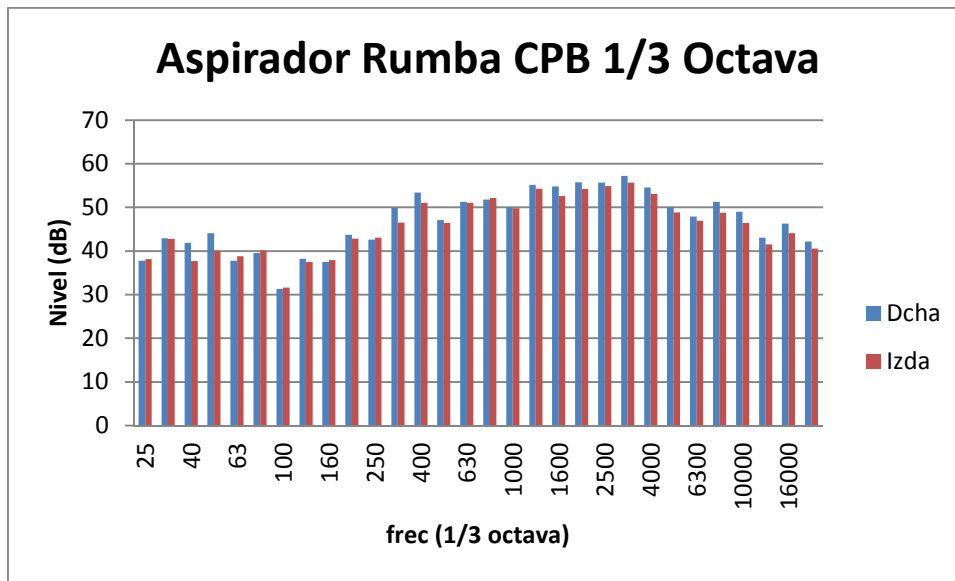


Fig.120. Nivel CPB 1/3 octava

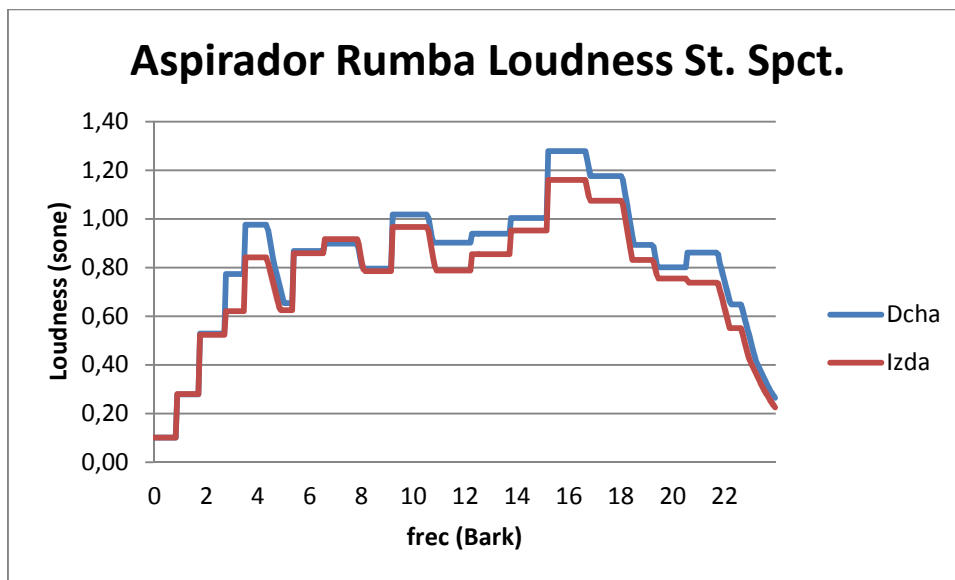


Fig.121. Loudness stationary spectrum

Roughness – Fuerza de fluctuación

Secadores

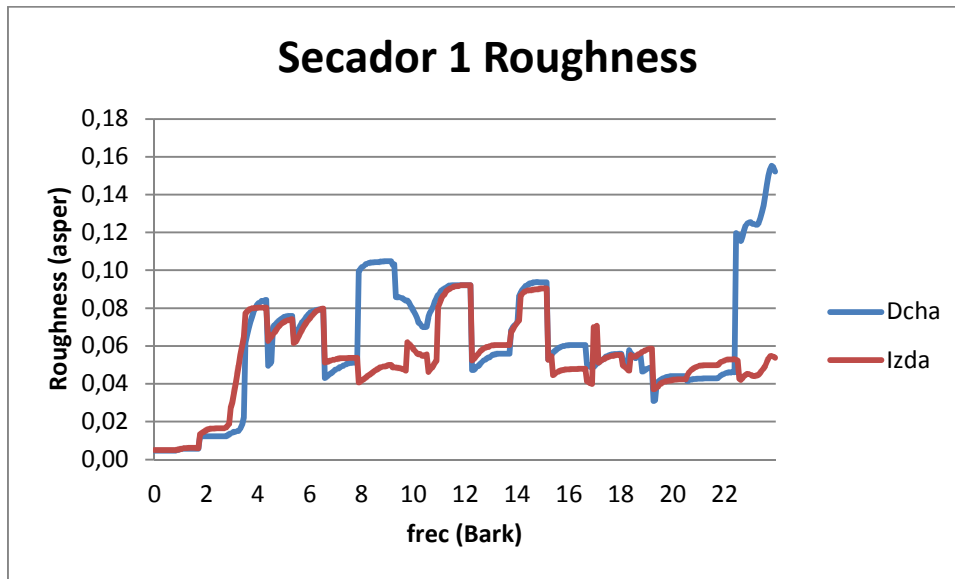


Fig.122. Espectro Roughness

Roughness: 1.26 1.49 asper

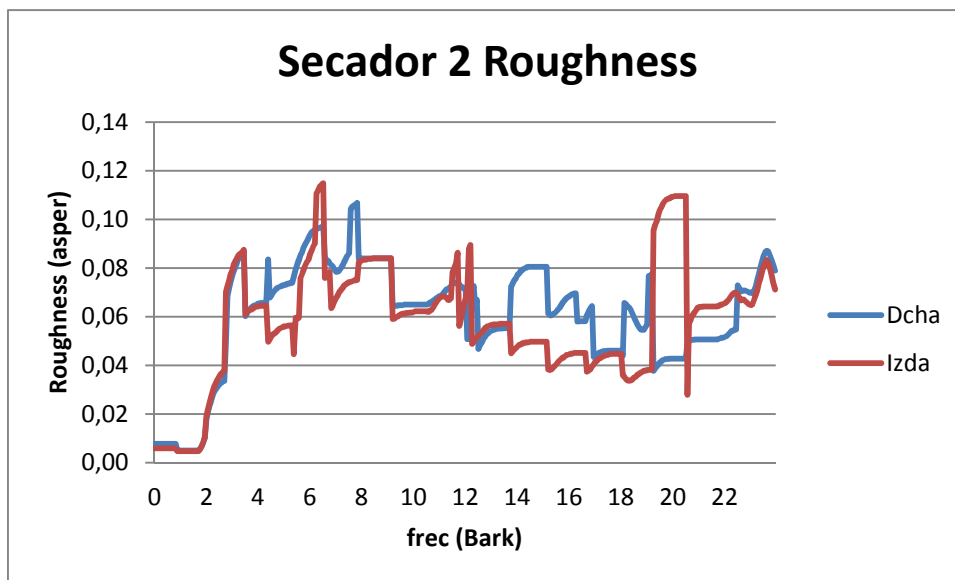


Fig.123. Espectro Roughness

Roughness: 1.4 1.46 asper

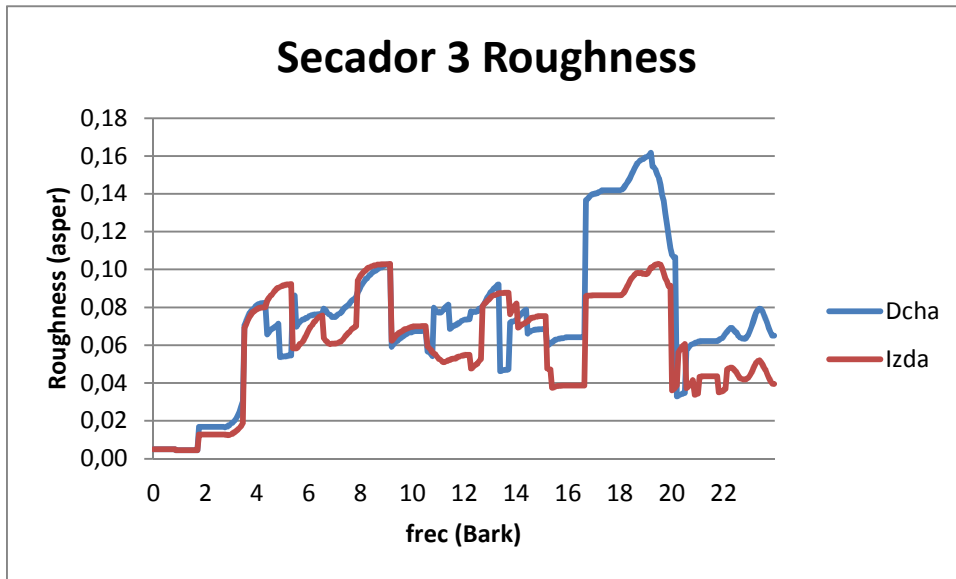


Fig.124. Espectro Roughness

Roughness: 1.43 1.75 asper

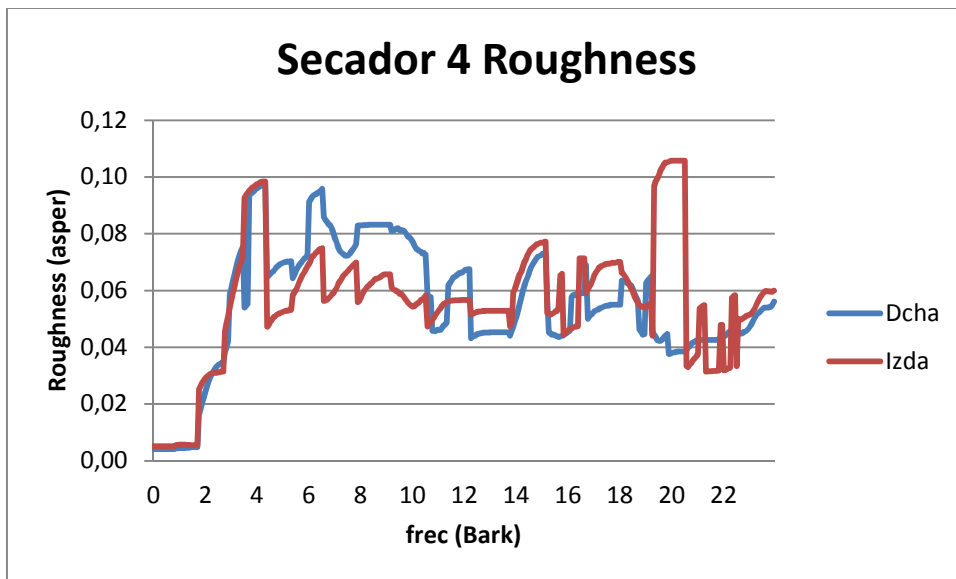


Fig.125. Espectro Roughness

Roughness: 1.35 1.33 asper

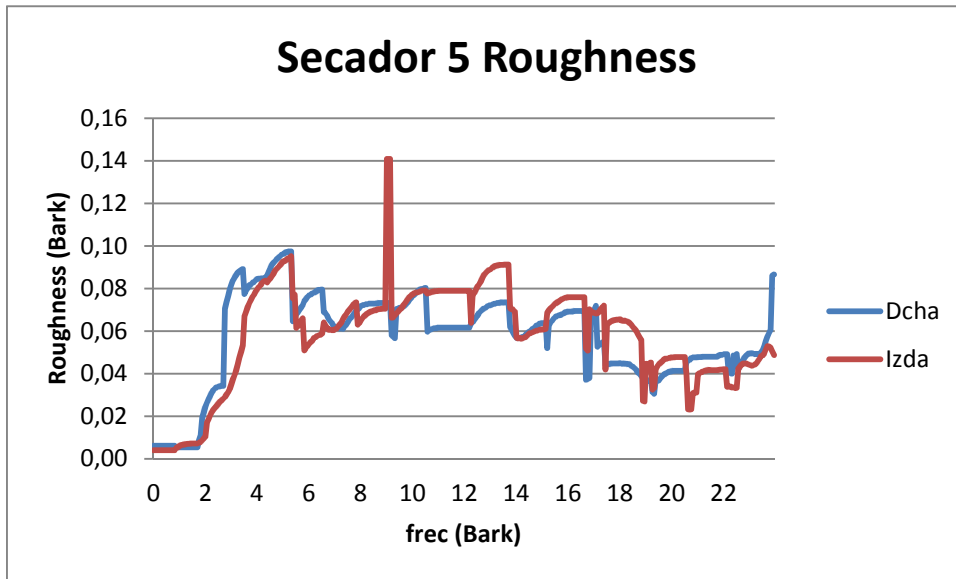


Fig.126. Espectro Roughness

Roughness: 1.39 1.37 asper

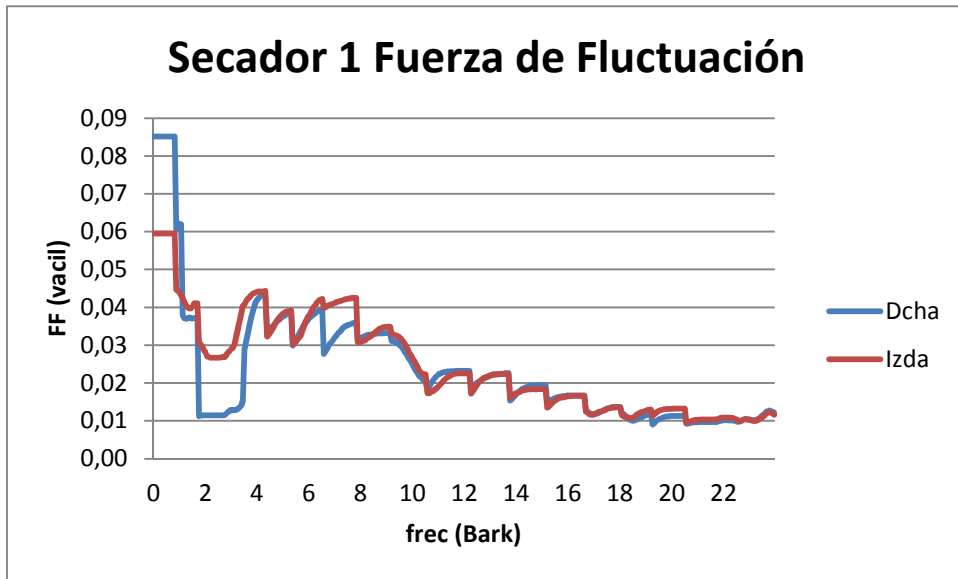


Fig.127. Espectro FF

Fluctuation Strength: 0.595 0.57 vacil

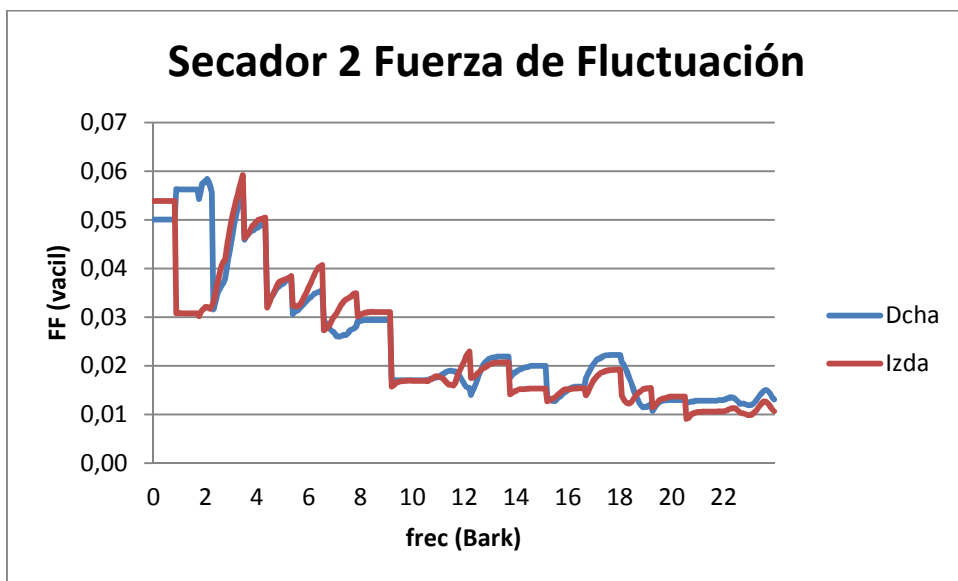


Fig.128. Espectro FF

Fluctuation Strength: 0.572 0.609 vacil

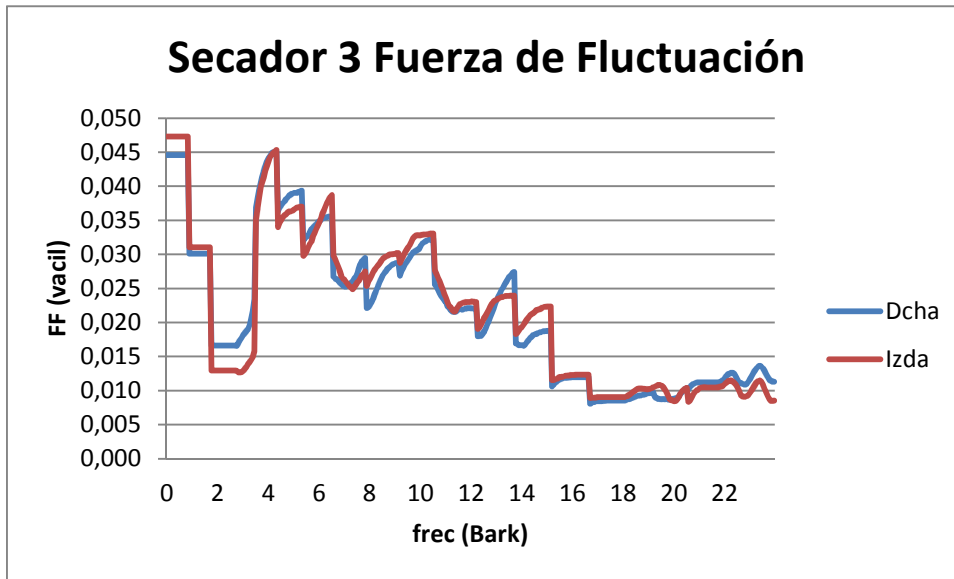


Fig.129. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.515 0.514 vacil

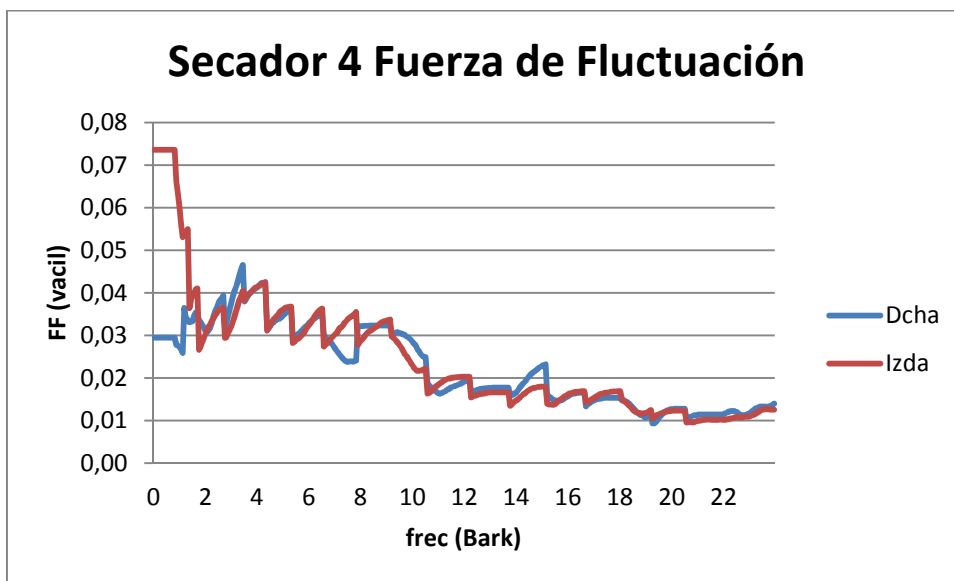


Fig.130. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.585 0.541 vacil

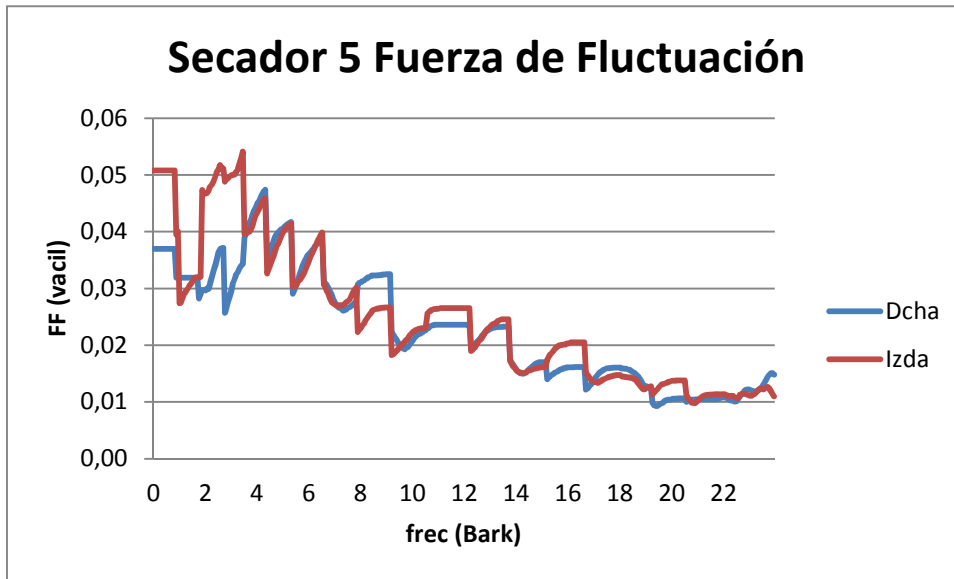


Fig.131. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.595 0.552 vacil

Extractores

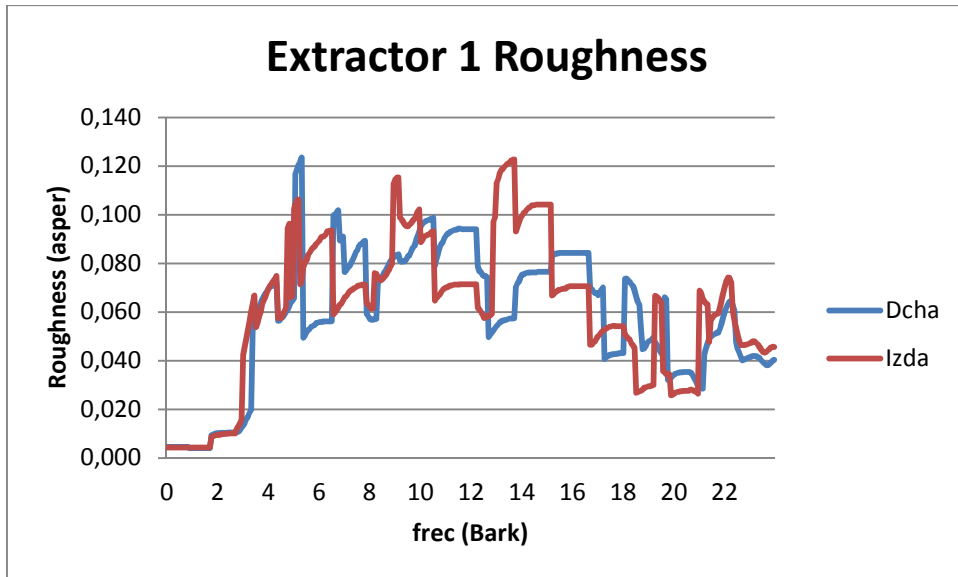


Fig.132. Espectro Roughness

Roughness: 1.46 1.4 asper

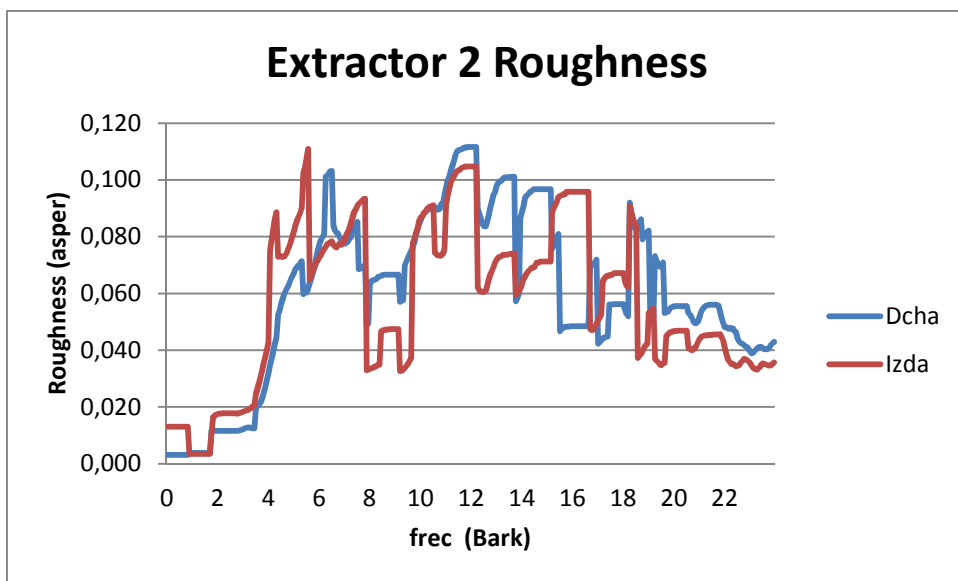


Fig.133. Espectro Roughness

Roughness: 1.37 1.44 asper

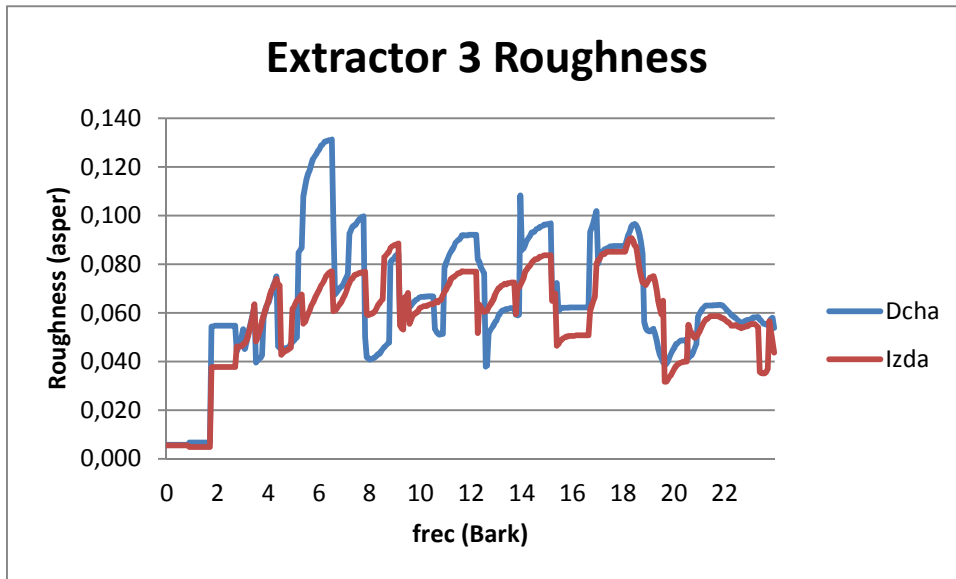


Fig.134. Espectro Roughness

Roughness: 1.41 1.55 asper

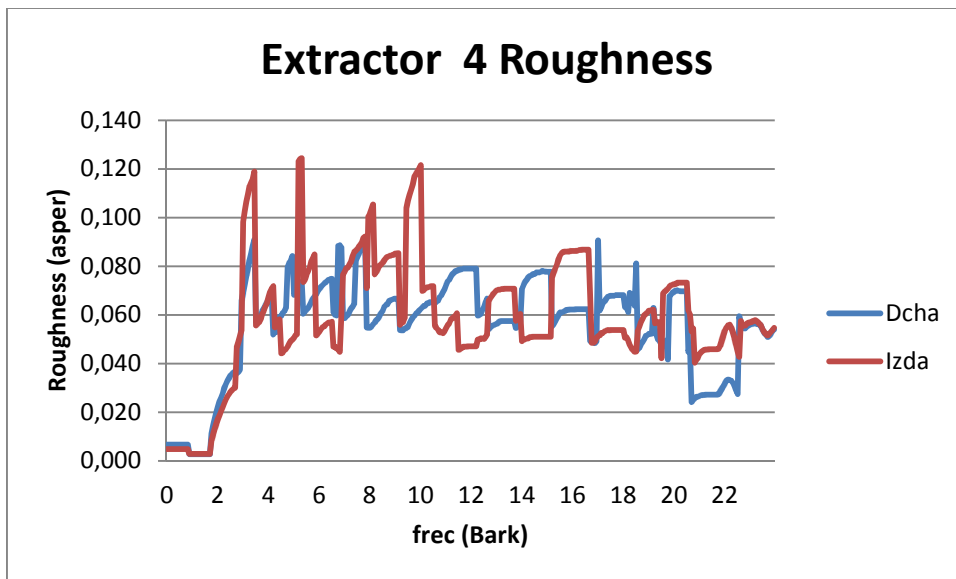


Fig.135. Espectro Roughness

Roughness: 1.41 1.33 asper

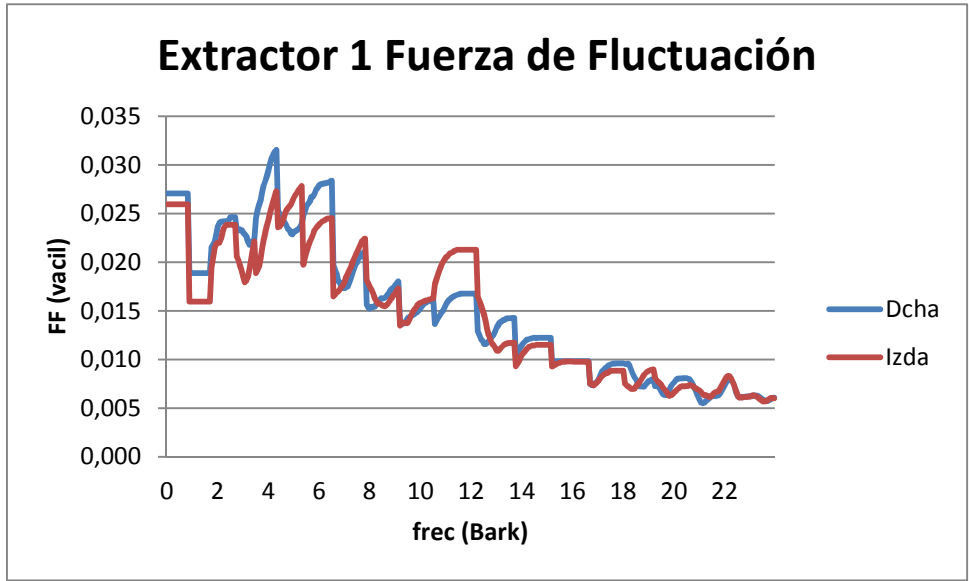


Fig.136. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.352 0.361 vacil

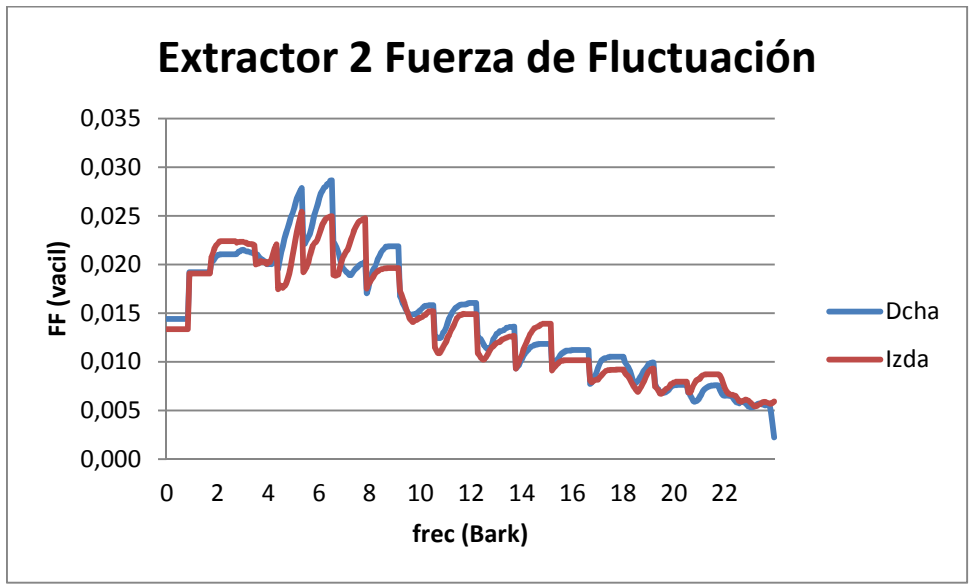


Fig.137. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.336 0.345 vacil

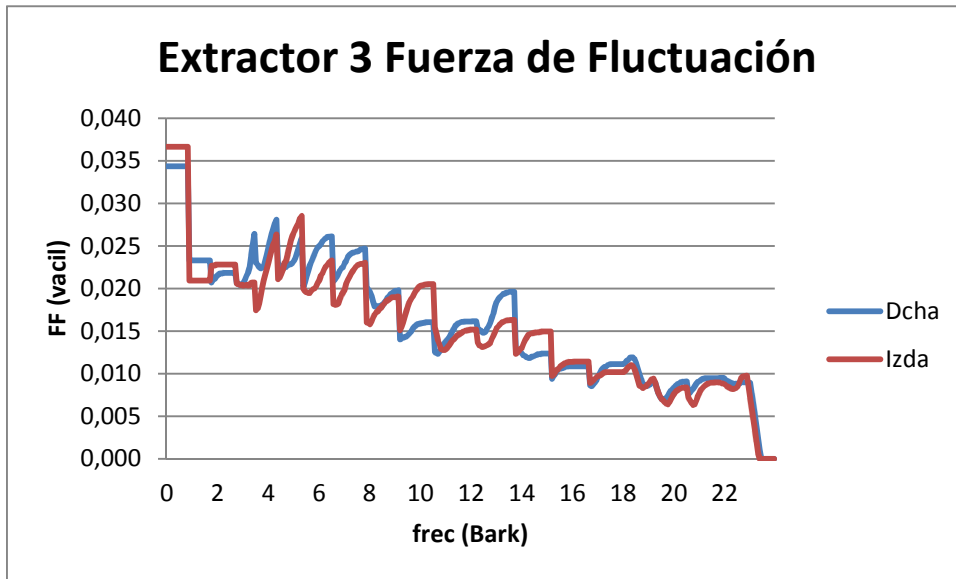


Fig.138. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.375 0.385 vacil

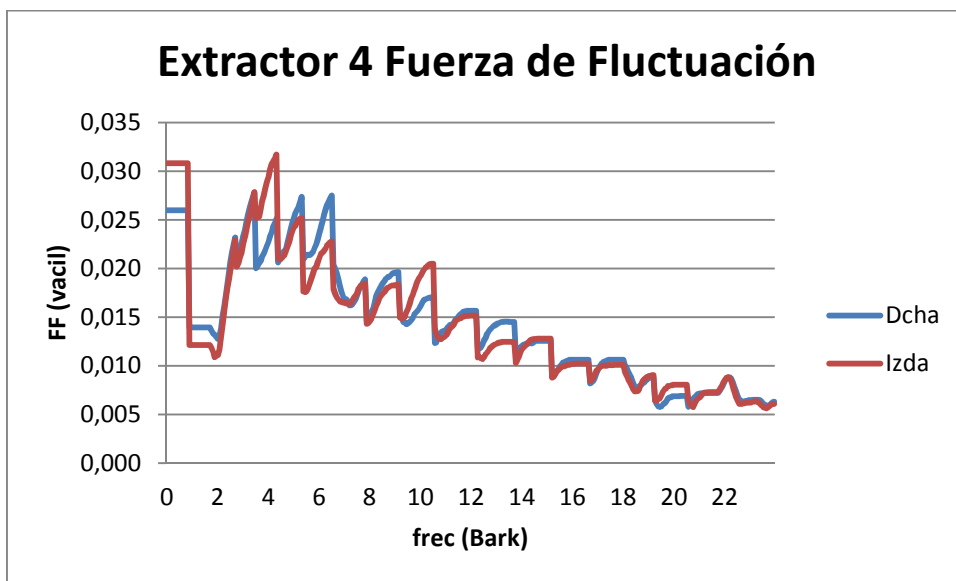


Fig.139. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.343 0.344 vacil

Lavadoras

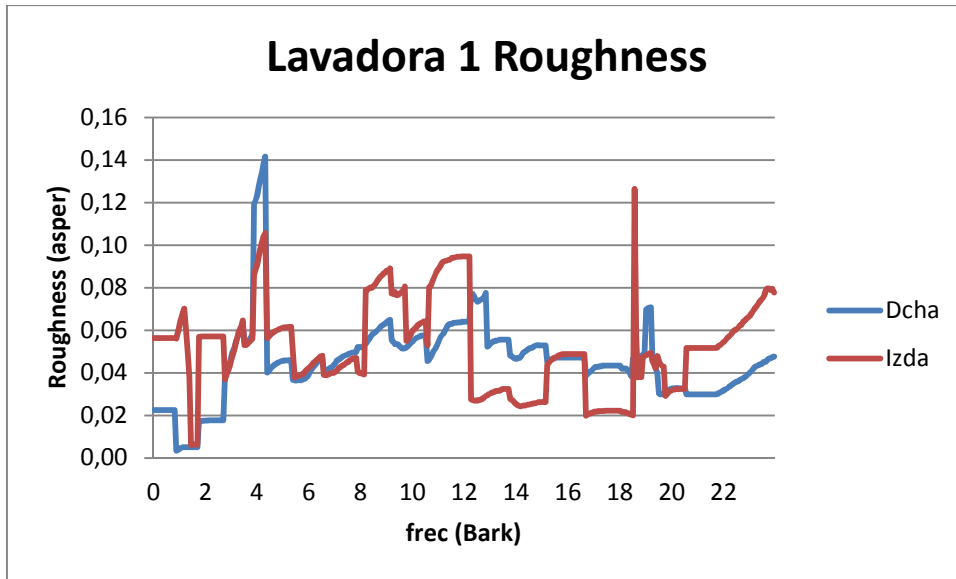


Fig.140. Espectro Roughness

Roughness: 1.24 1.09 asper

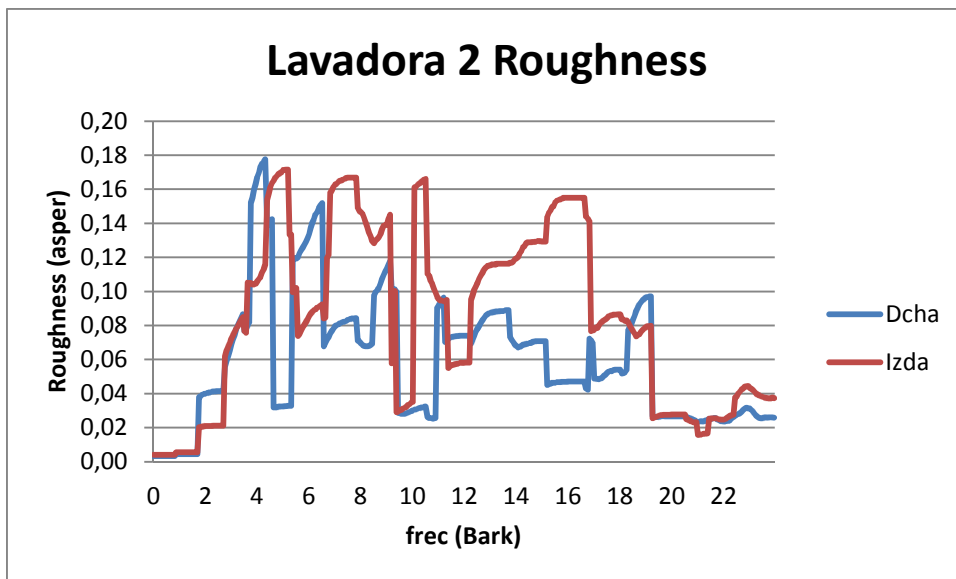


Fig.141. Espectro Roughness

Roughness: 2.01 1.43 asper

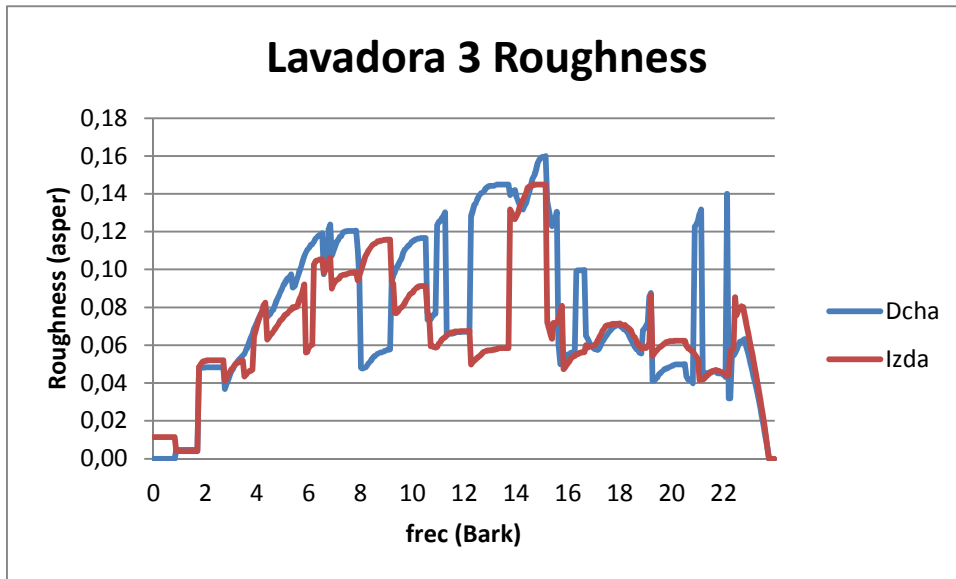


Fig.142. Espectro Roughness

Roughness: 1.61 1.83 asper

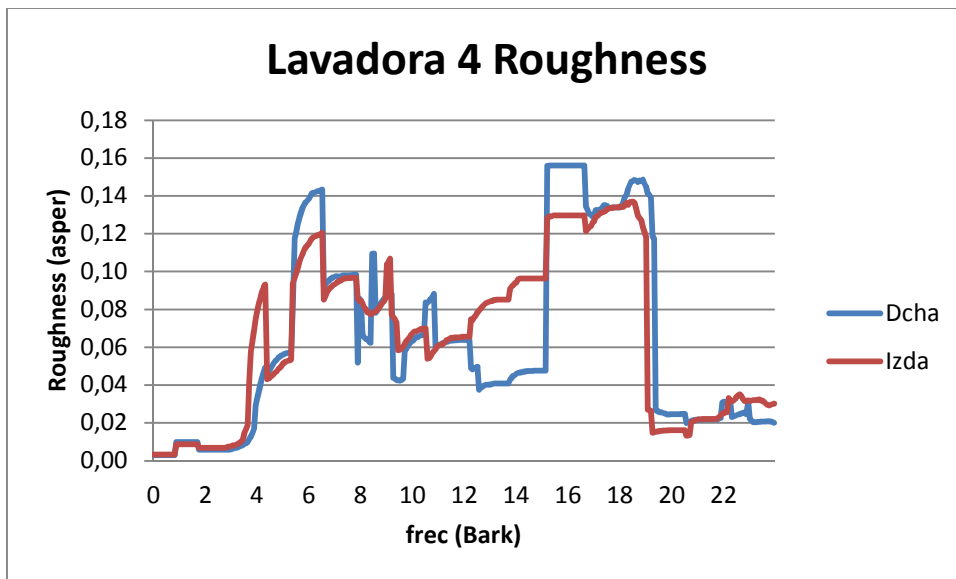


Fig.143. Espectro Roughness

Roughness: 1.58 1.52 asper

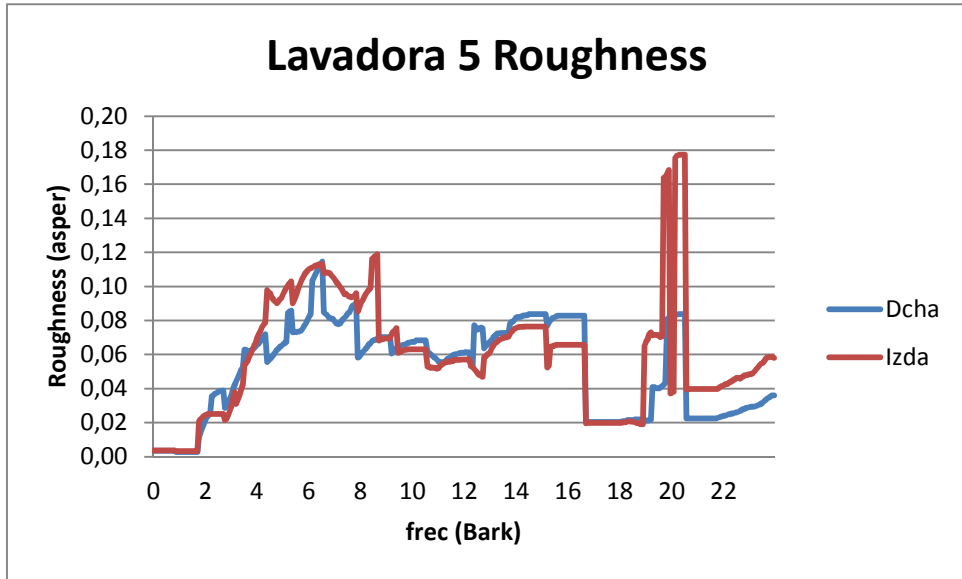


Fig.144. Espectro Roughness

Roughness: 1.44 1.26 asper

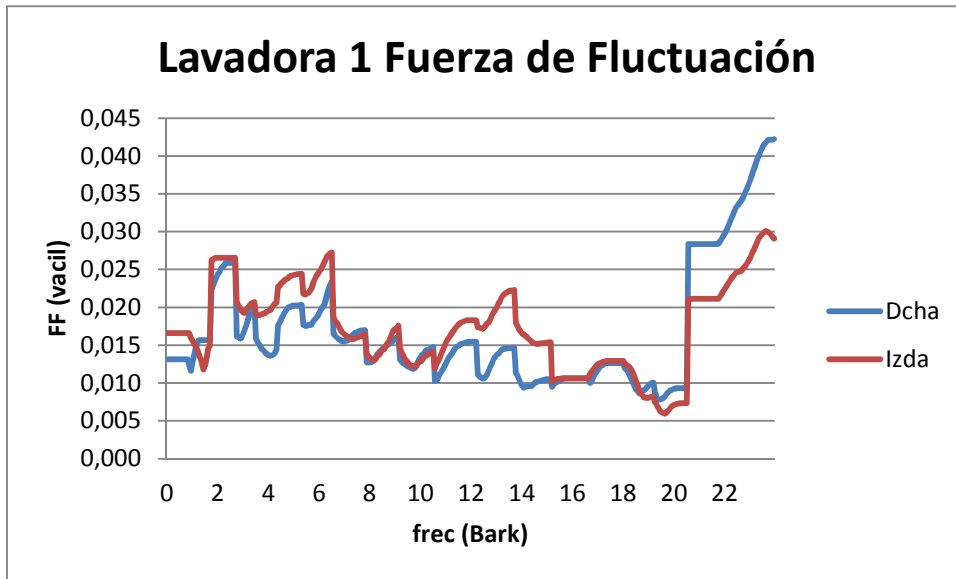


Fig.145. Espectro FF

Fluctuation Strength: 0.416 0.403 vacil

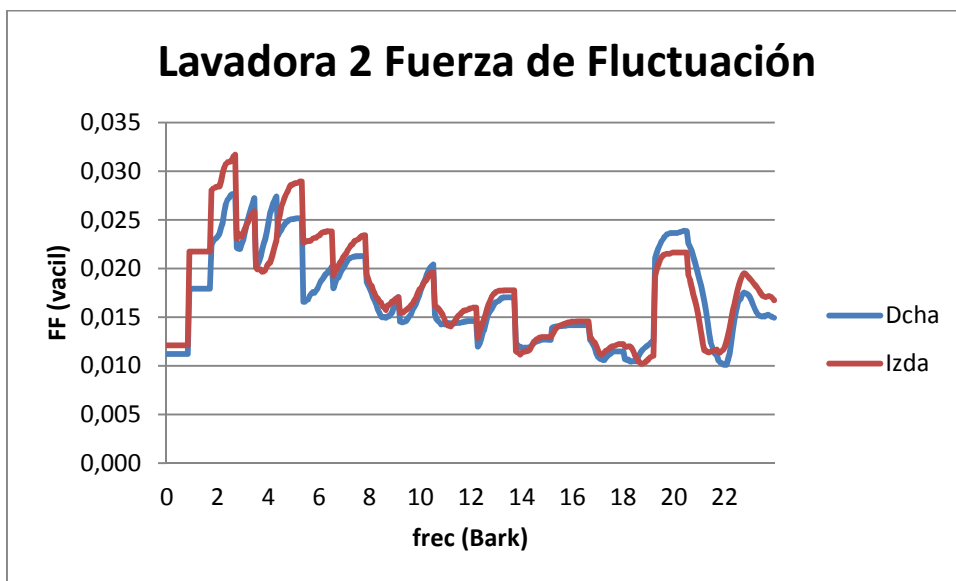


Fig.146. Espectro FF

Fluctuation Strength: 0.427 0.406 vacil

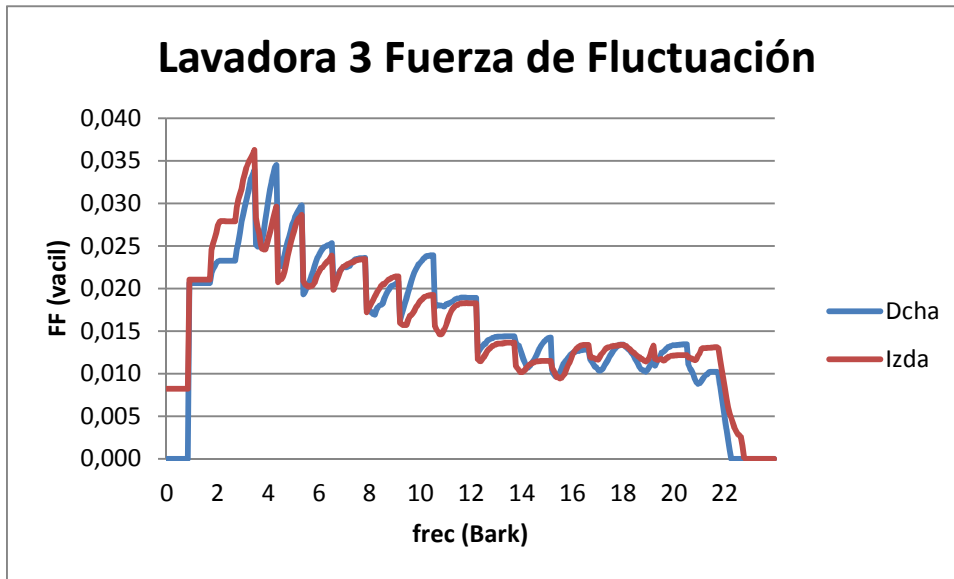


Fig.147. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.382 0.375 vacil

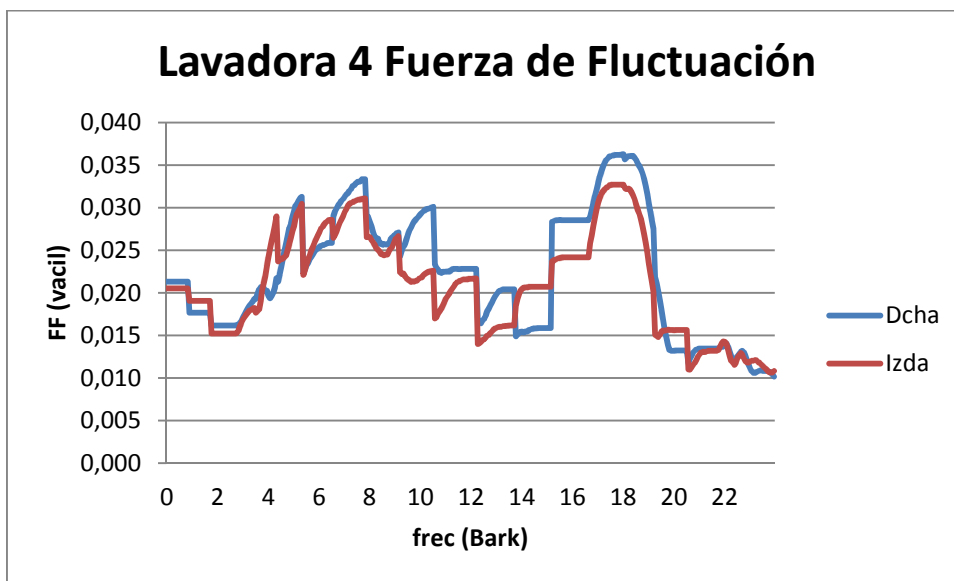


Fig.148. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.504 0.535 vacil

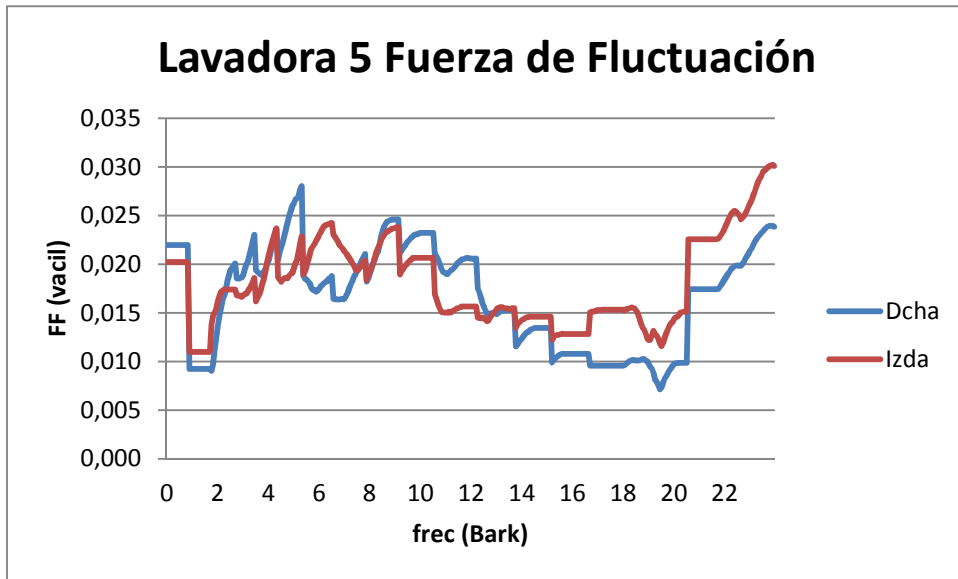


Fig.149. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.435 0.403 vacil

Microondas

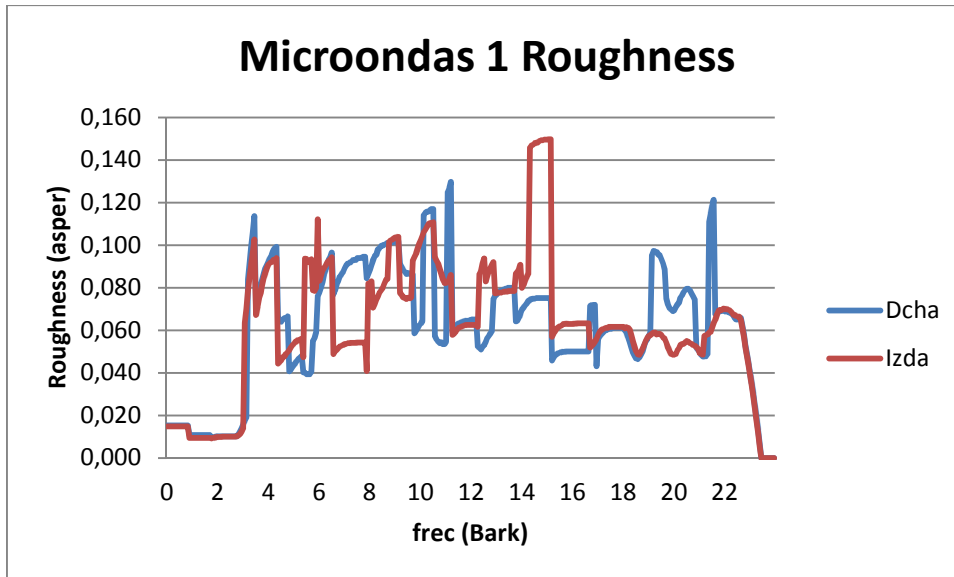


Fig.150. Espectro Roughness

Roughness: 1.5 1.48 asper

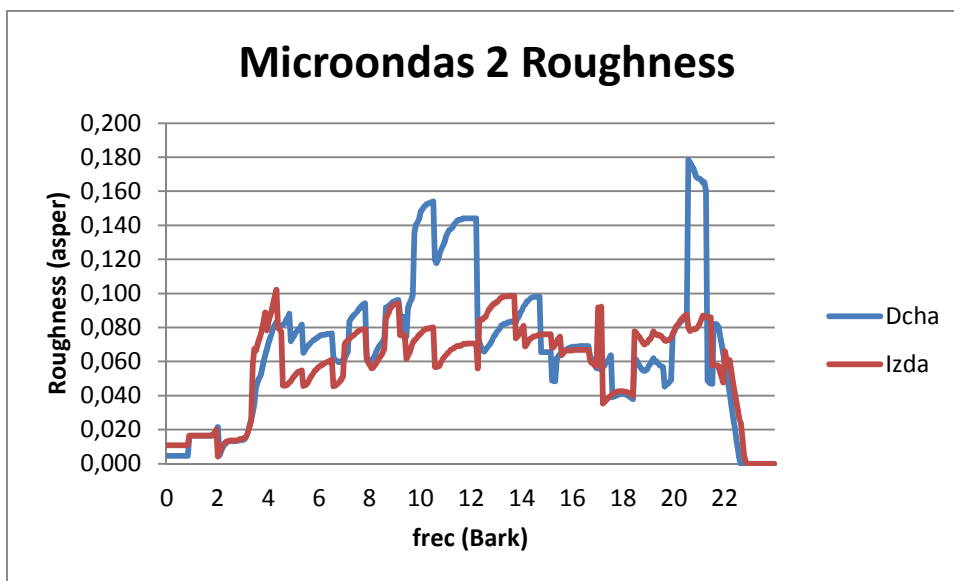


Fig.151. Espectro Roughness

Roughness: 1.38 1.62 asper

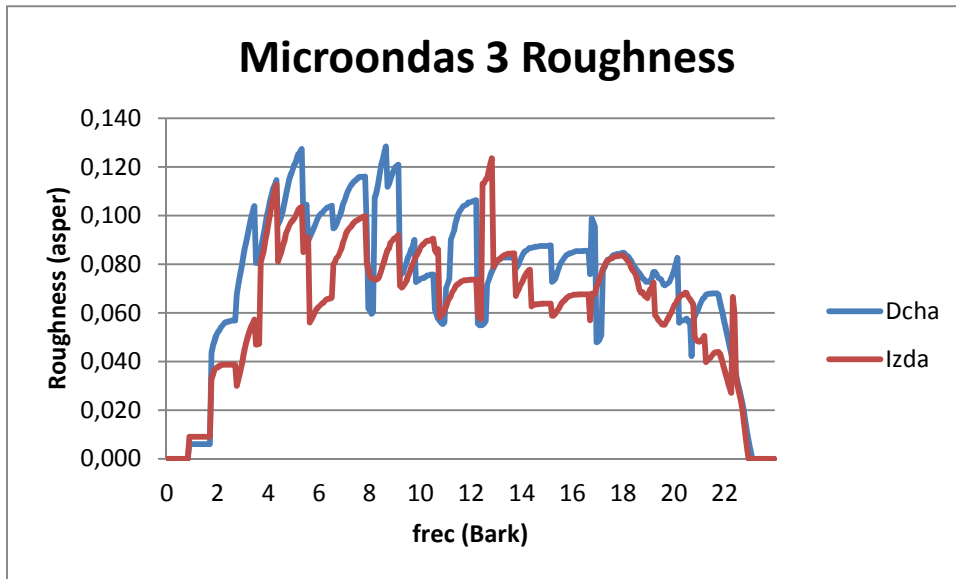


Fig.152. Espectro Roughness

Roughness: 1.49 1.75 asper

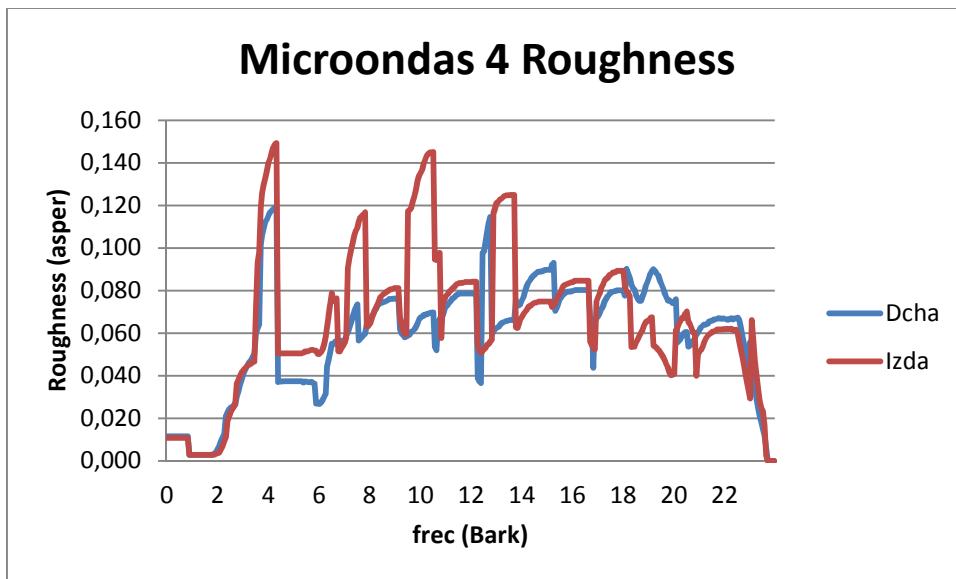


Fig.153. Espectro Roughness

Roughness: 1.58 1.43 asper

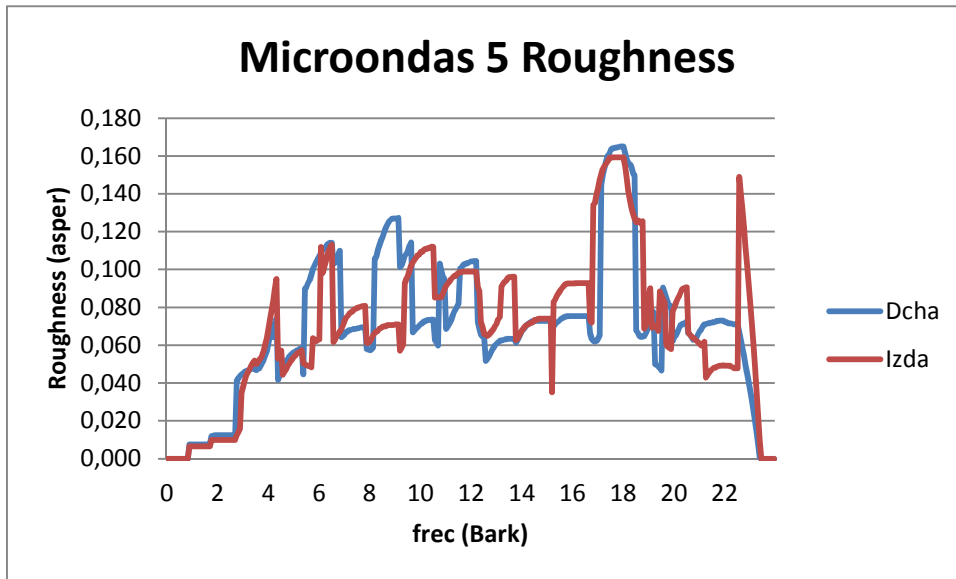


Fig.154. Espectro Roughness

Roughness: 1.7 1.65 asper

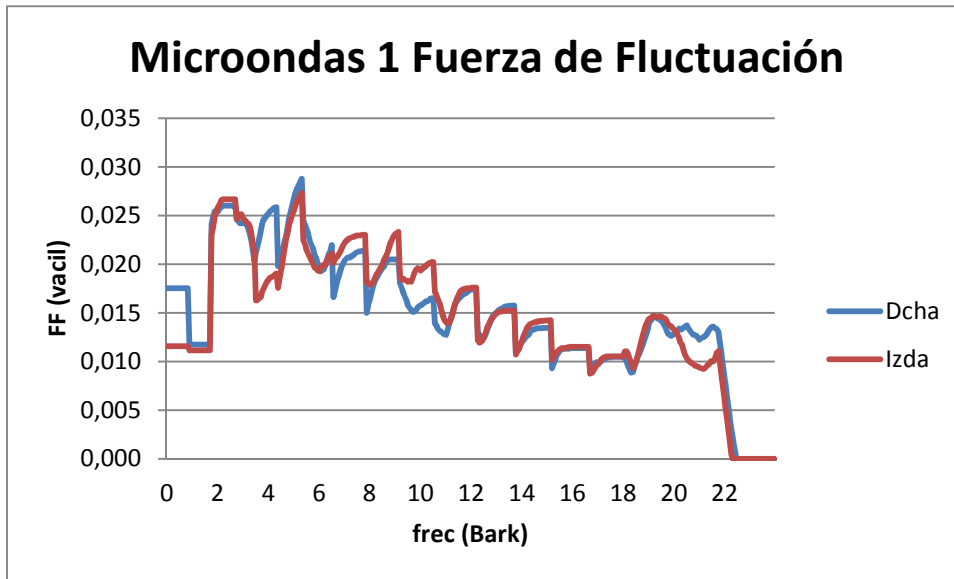


Fig.155. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.355 0.362 vacil

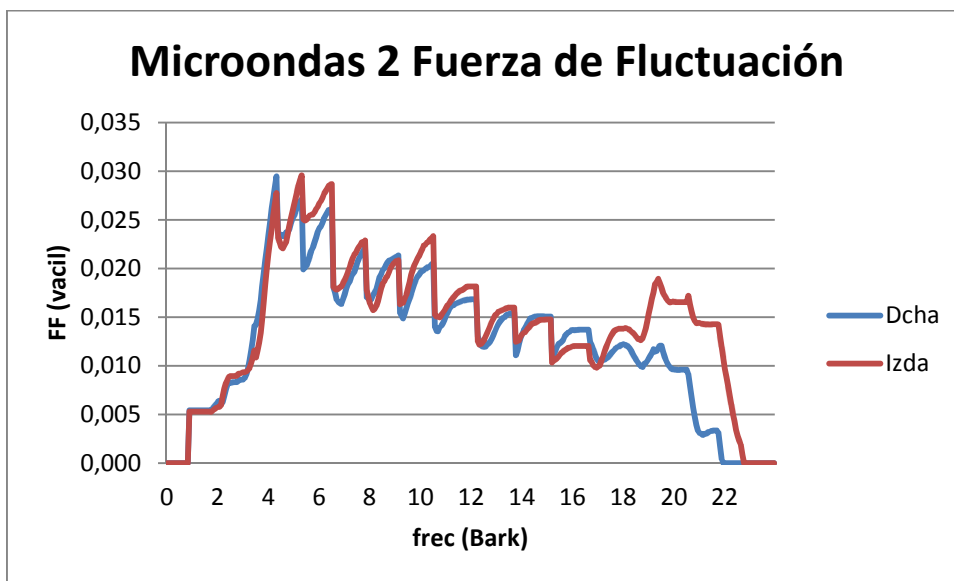


Fig.156. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.339 0.3 vacil

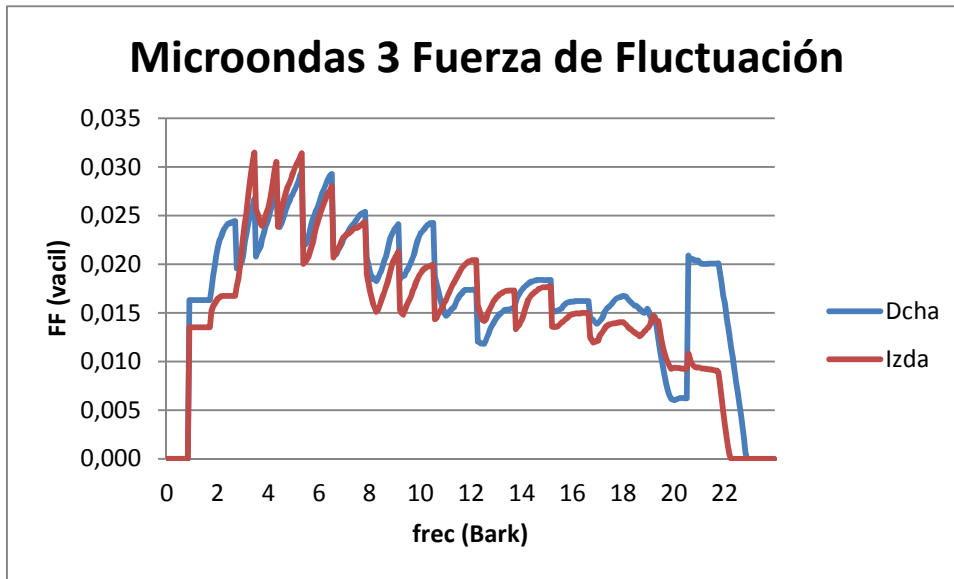


Fig.157. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.366 0.404 vacil

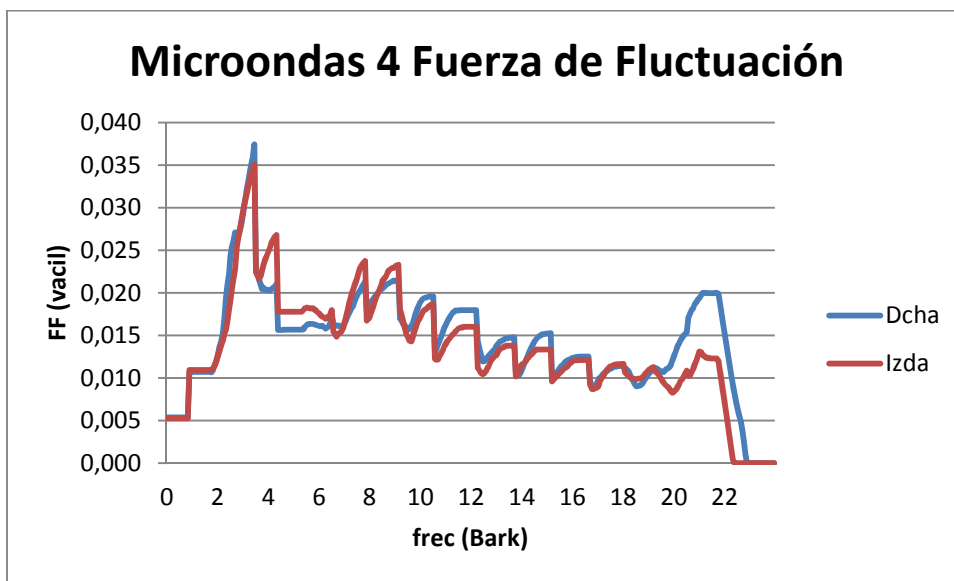


Fig.158. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.324 0.346 vacil

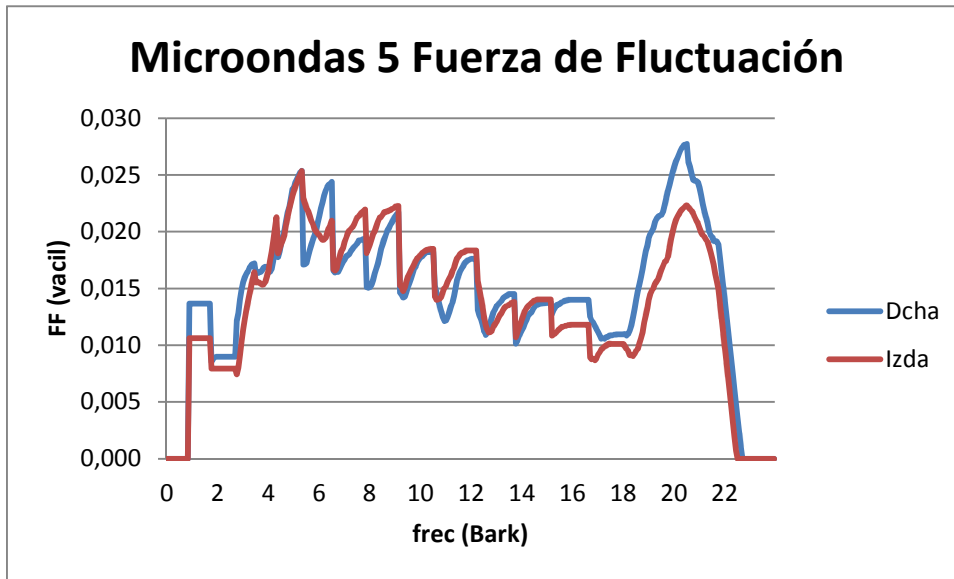


Fig.159. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.329 0.351 vacil

Aspiradoras

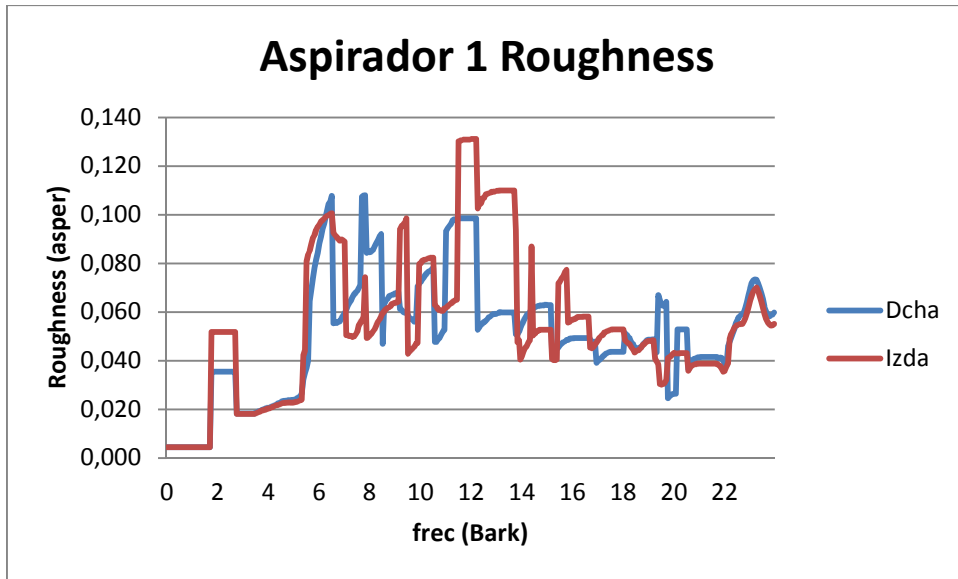


Fig.160. Espectro Roughness

Roughness: 1.31 1.22 asper

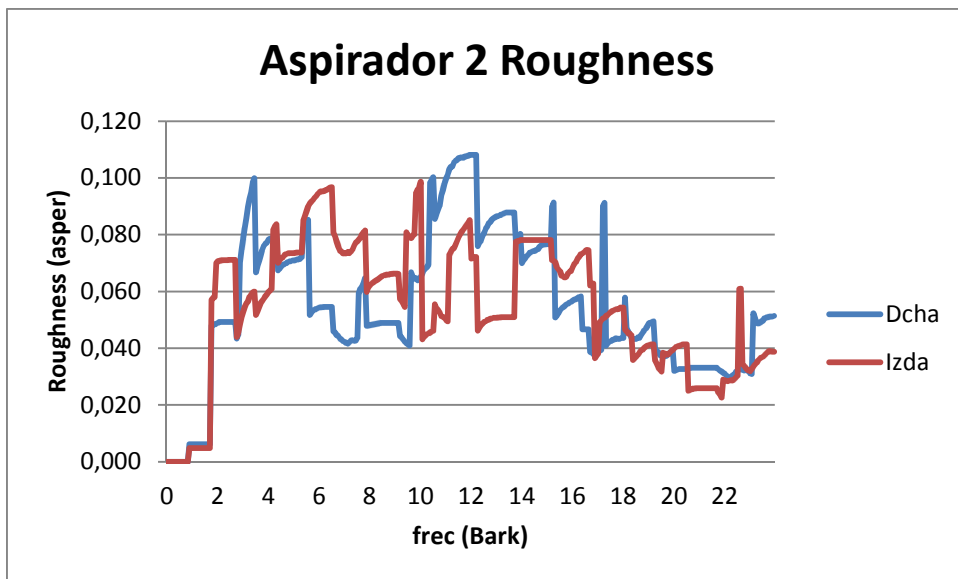


Fig.161. Espectro Roughness

Roughness: 1.31 1.32 asper

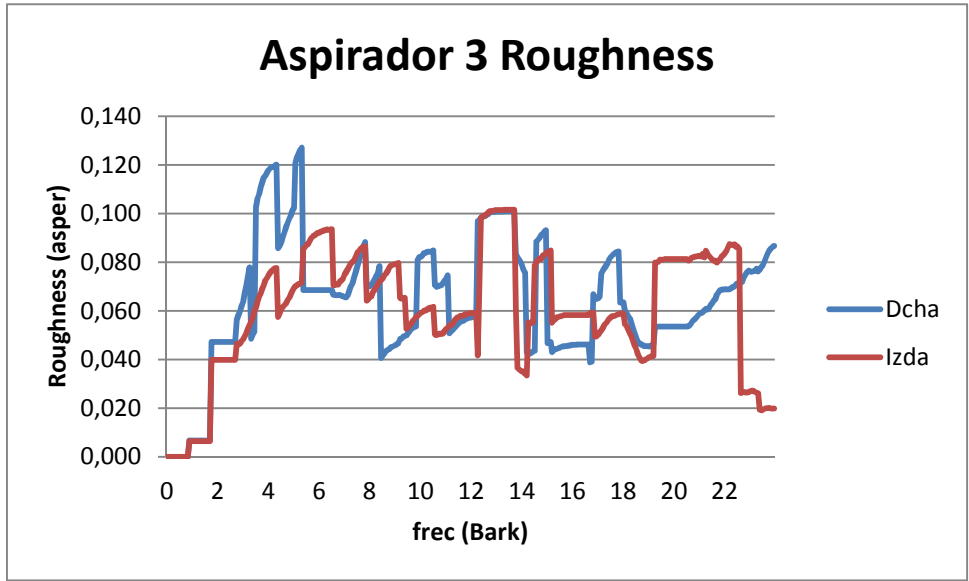


Fig.162. Espectro Roughness

Roughness: 1.46 1.53 asper

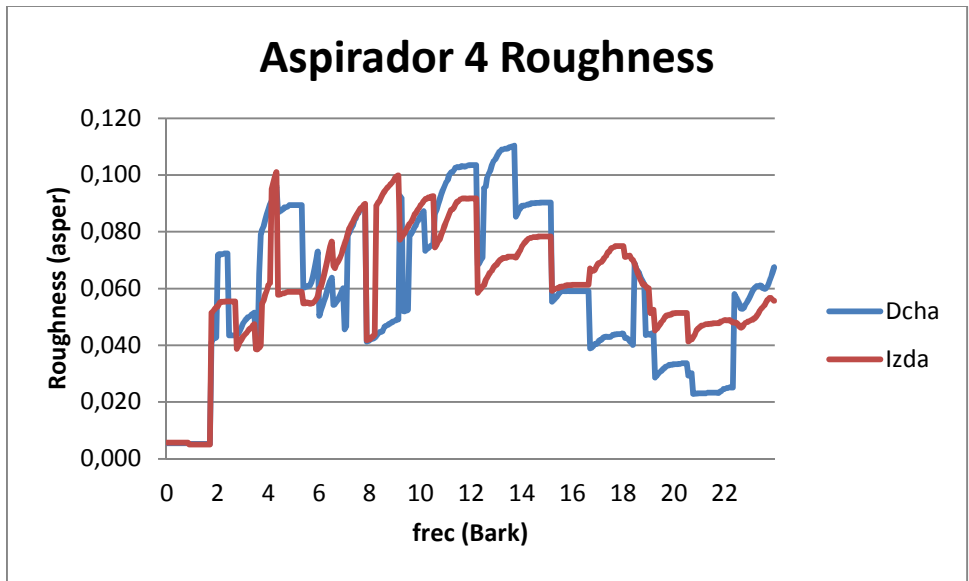


Fig.163. Espectro Roughness

Roughness: 1.47 1.42 asper

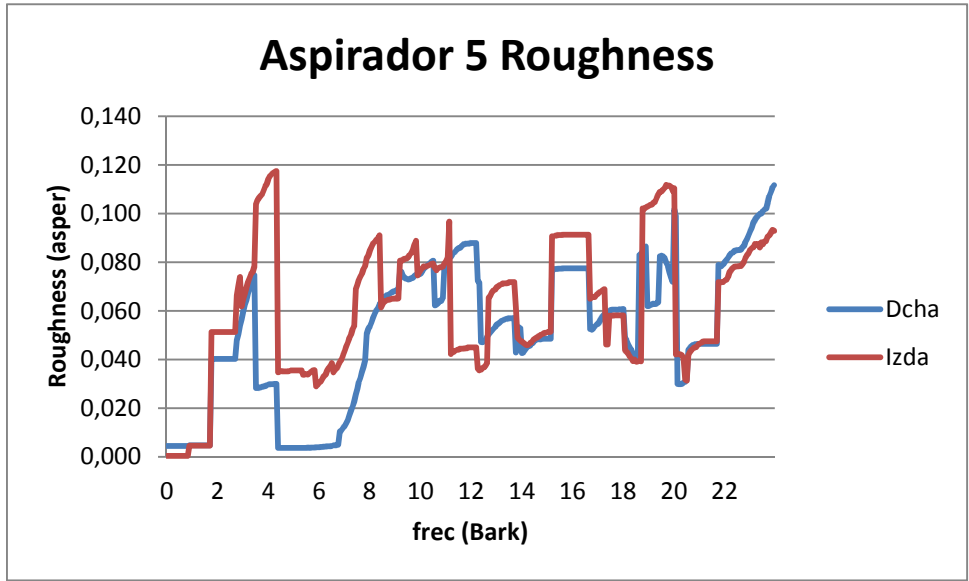


Fig.164. Espectro Roughness

Roughness: 1.47 1.24 asper

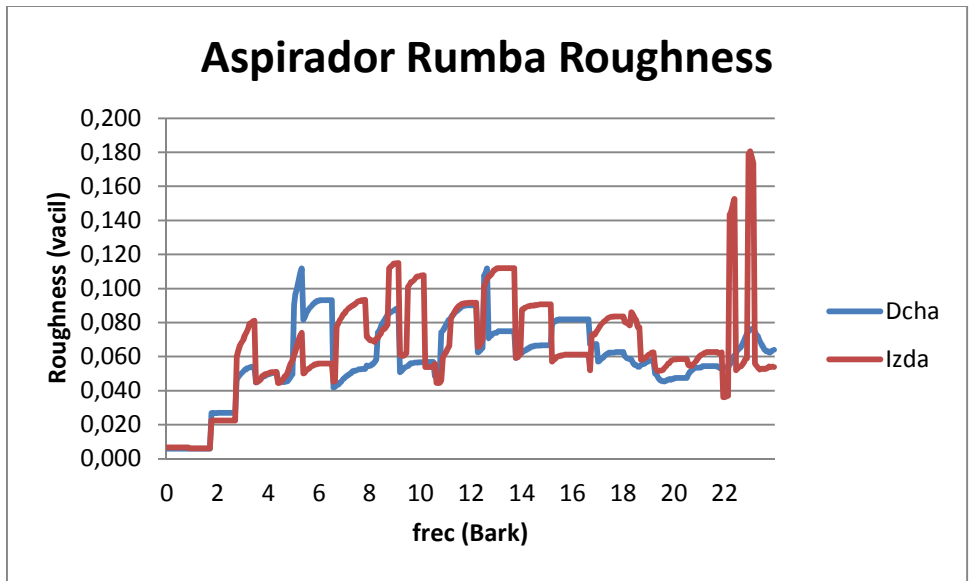


Fig.165.

Roughness: 1.6 1.42 asper

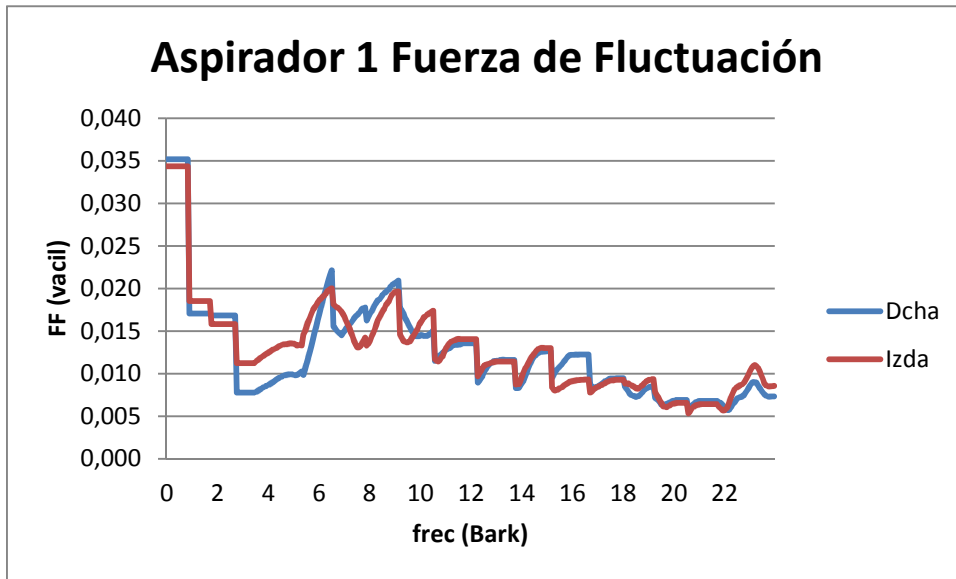


Fig.166. Espectro FF

Fluctuation Strength: 0.306 0.299 vacil

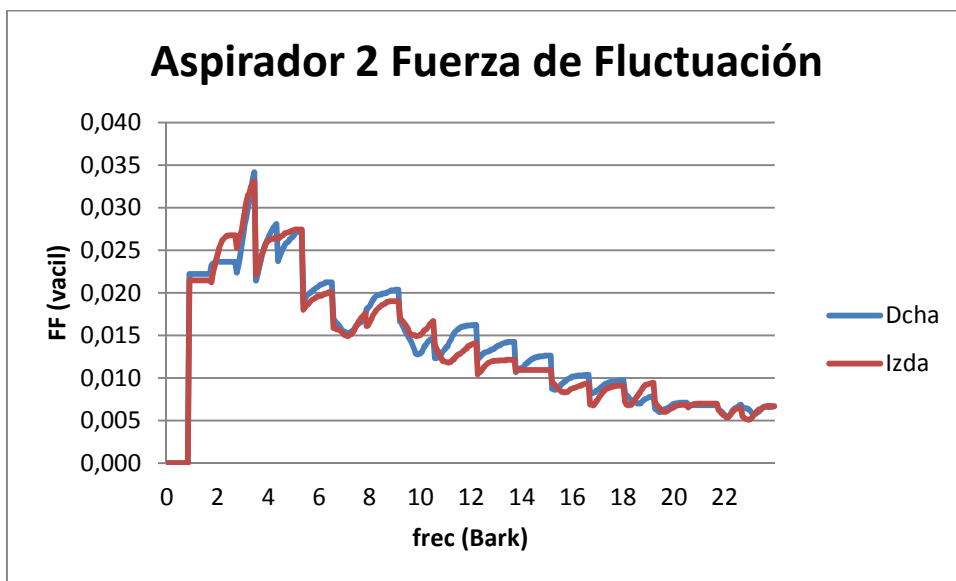


Fig.167. Espectro FF

Fluctuation Strength: 0.324 0.333 vacil

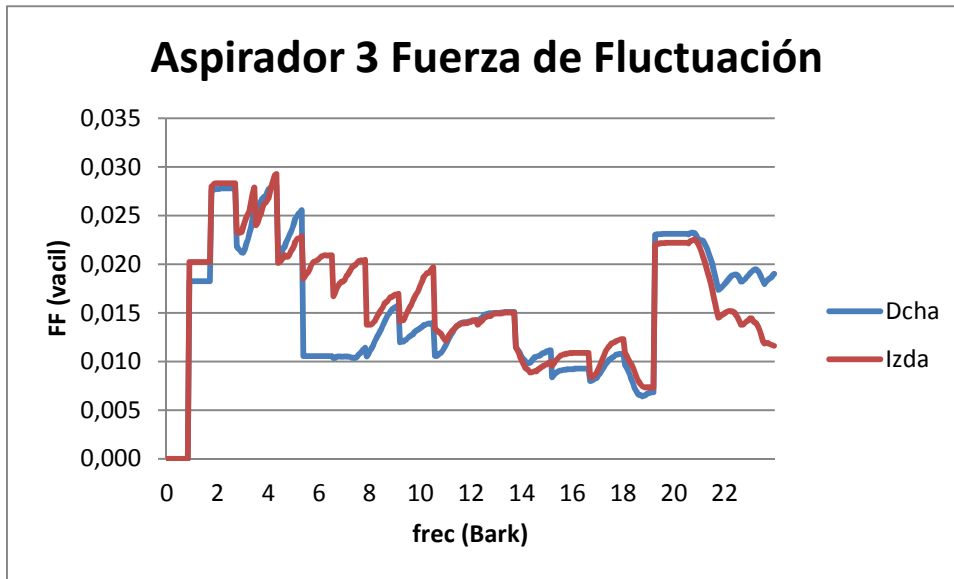


Fig.168. Espectro FF

Fluctuation Strength: 0.385 0.362 vacil

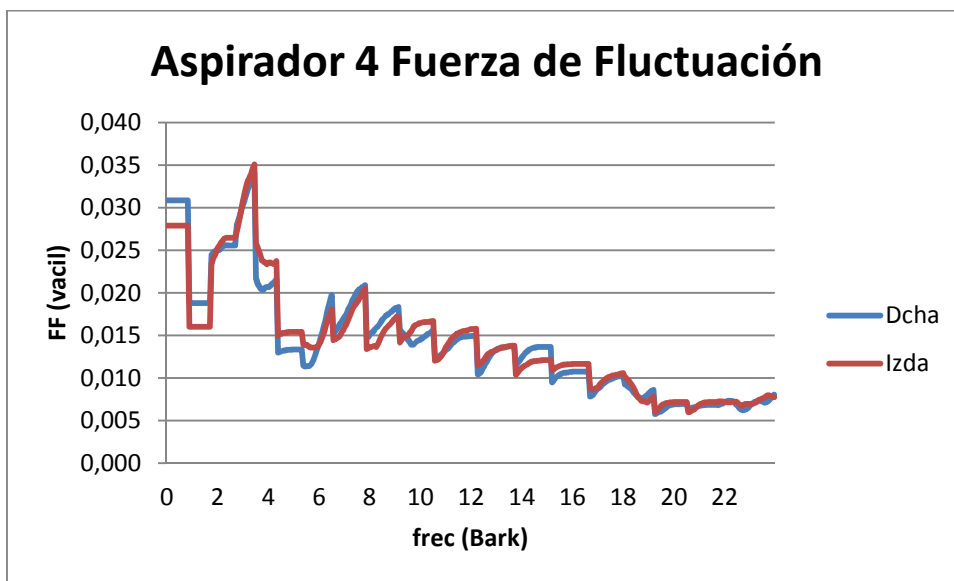


Fig.169. Espectro FF

Fluctuation Strength: 0.34 0.339 vacil

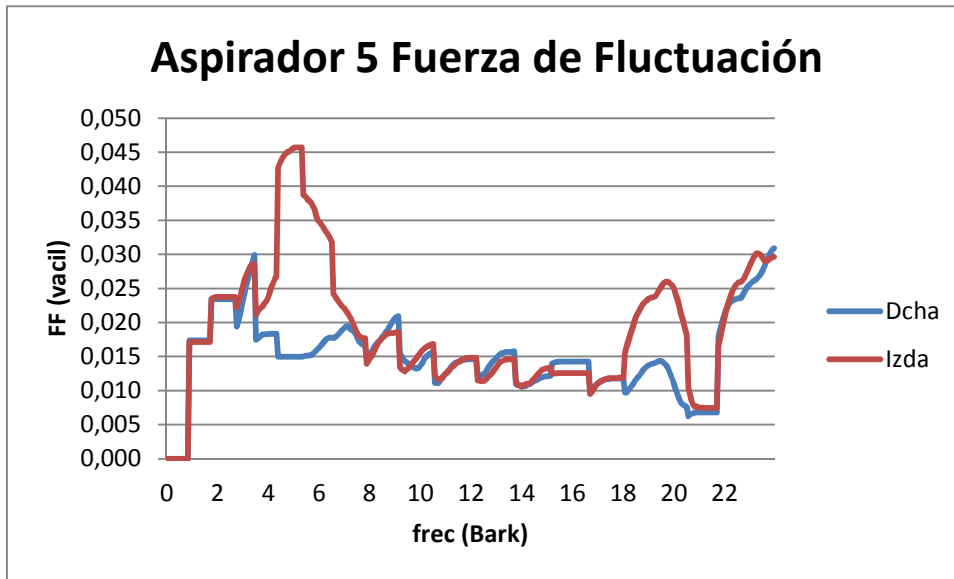


Fig.170. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.455 0.366 vacil

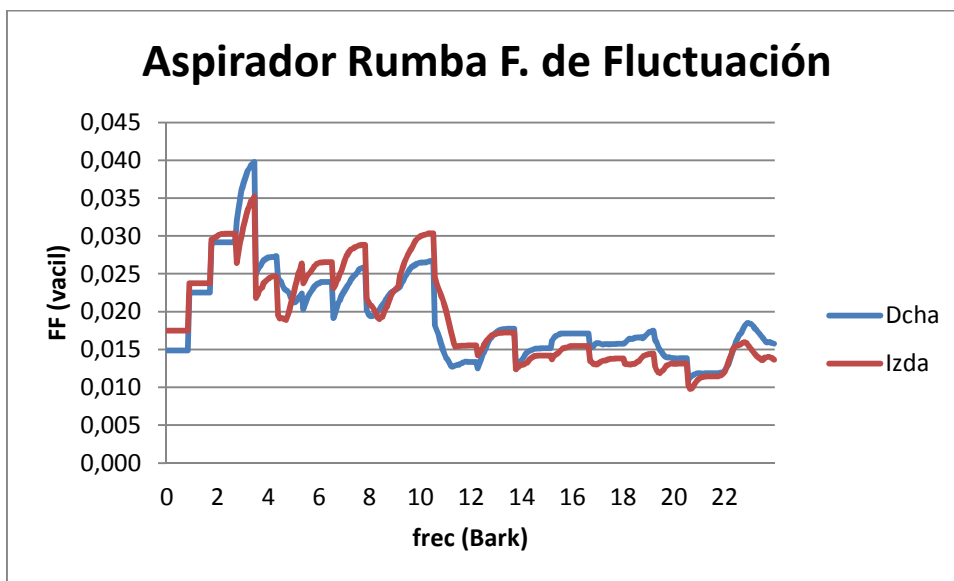


Fig.171. Espectro FF

Fluctuation
Strength: 0.459 0.461 vacil

Anexo II – Espectros de las señales predefinidas para analizar parámetros de PULSE

Señales con frecuencia de modulación de 1 Hz

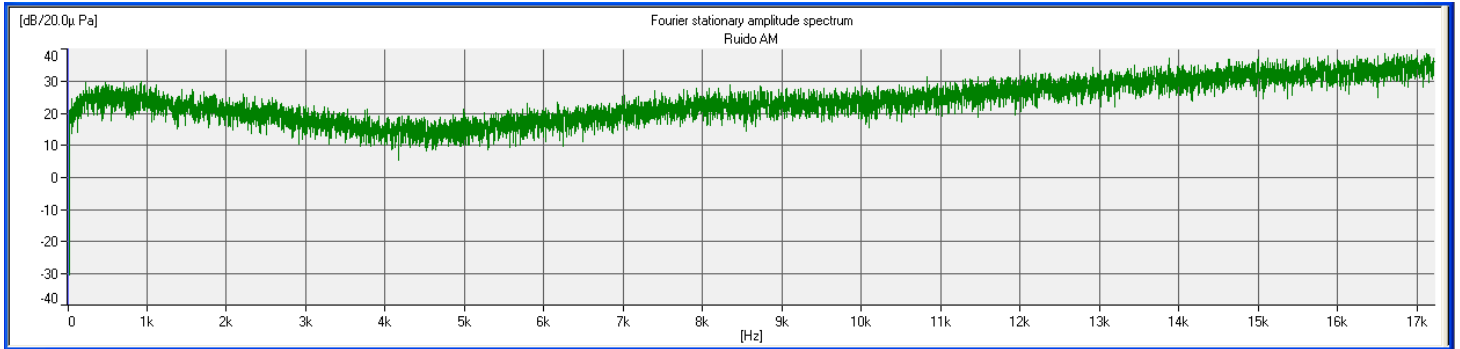


Fig.172. Ruido modulado AM

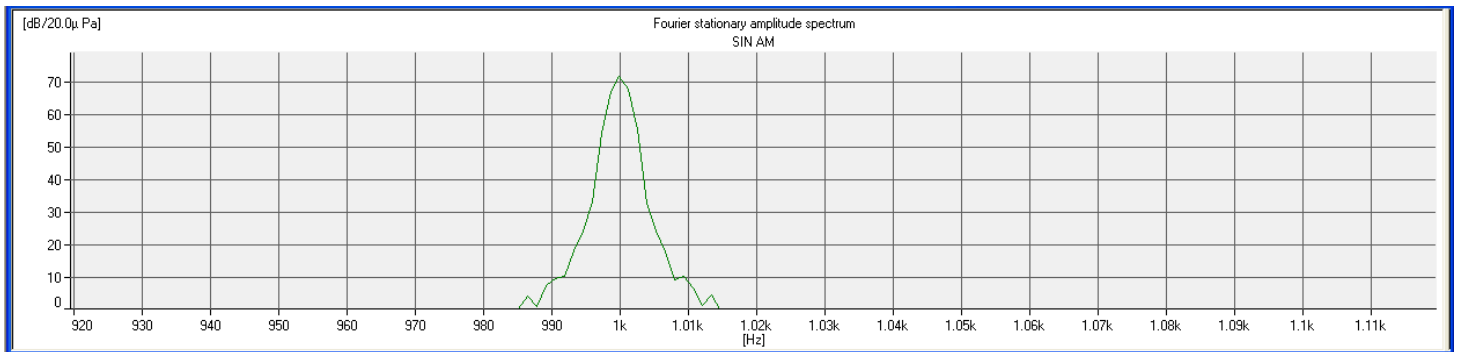


Fig.173. Sin modulado AM

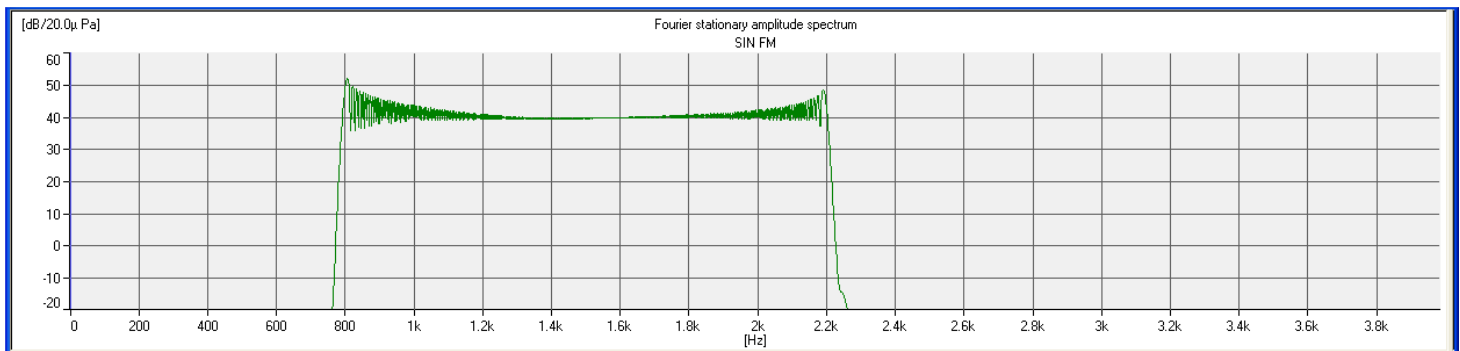


Fig.174. Sin modulado FM

Señales con frecuencia de modulación de 4 Hz

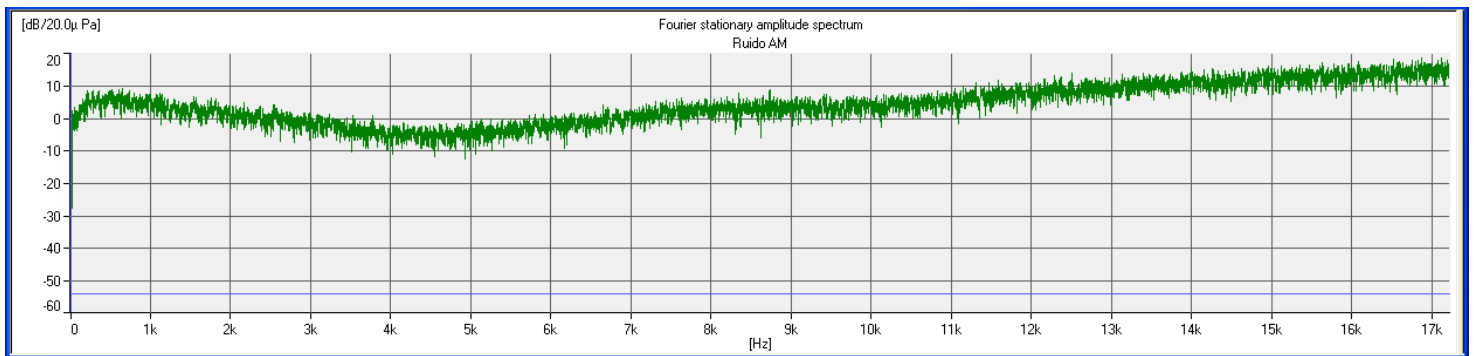


Fig.175. Ruido modulado AM

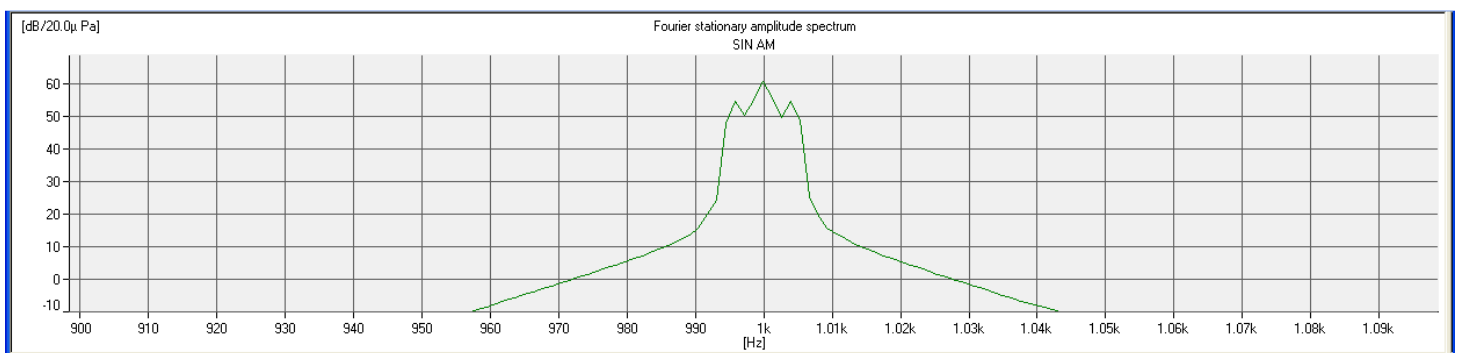


Fig.176. Sin modulado AM

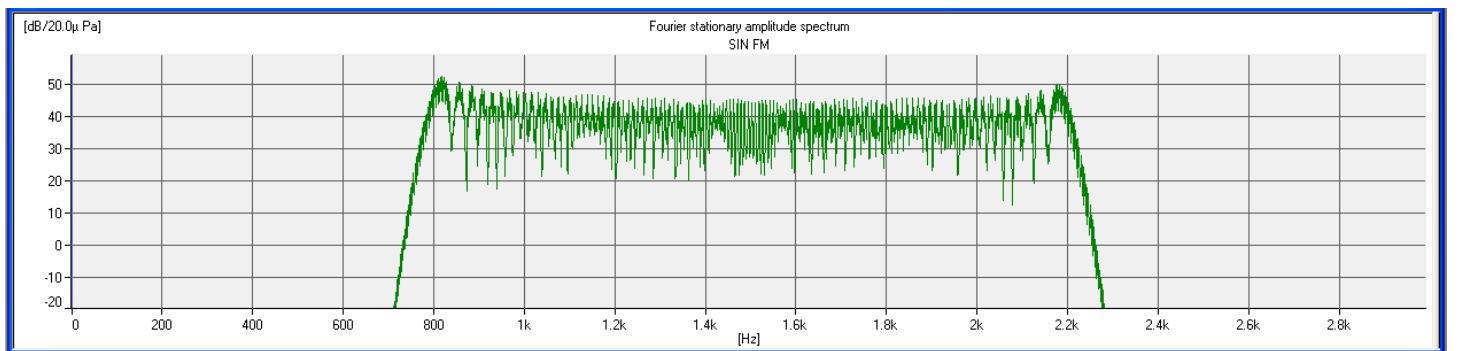


Fig.177. Sin modulado FM

Señales con frecuencia de modulación de 16 Hz

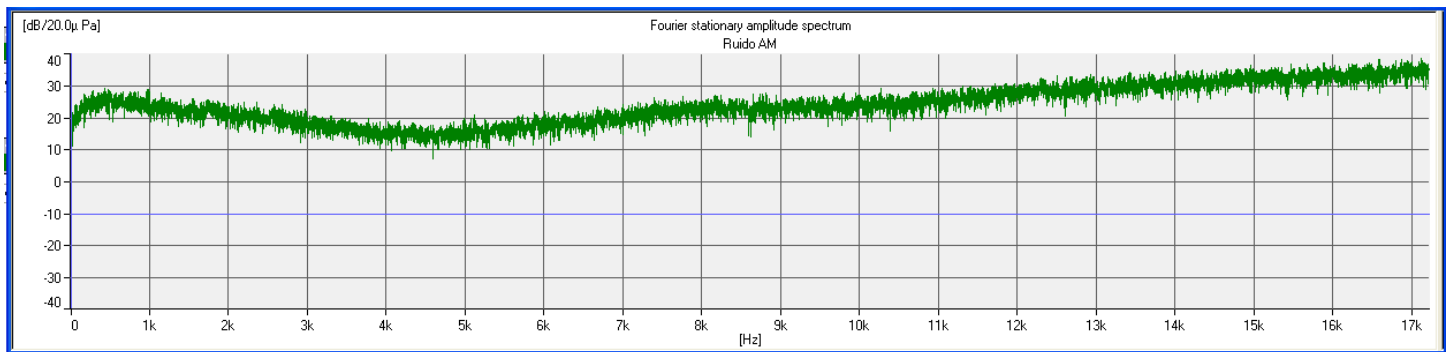


Fig.178. Ruido modulado AM

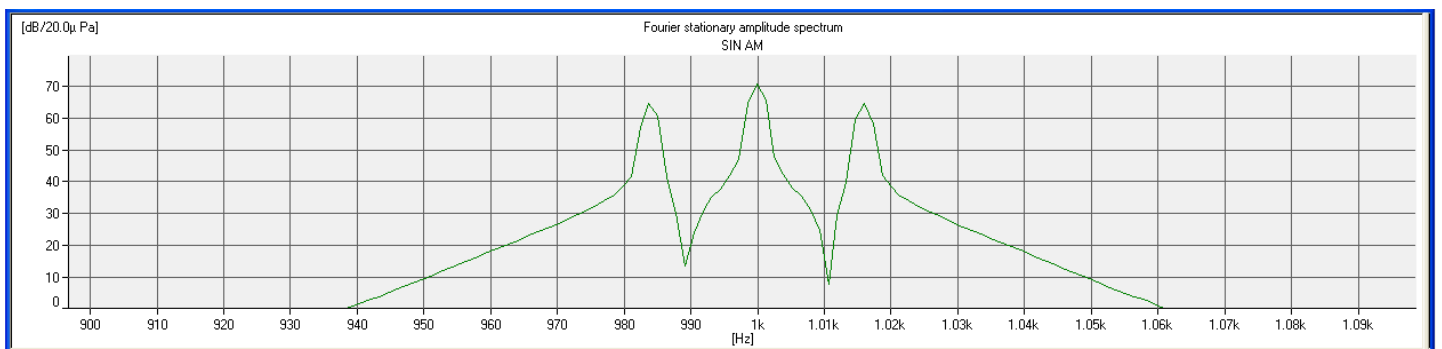


Fig.179. Sin modulado AM

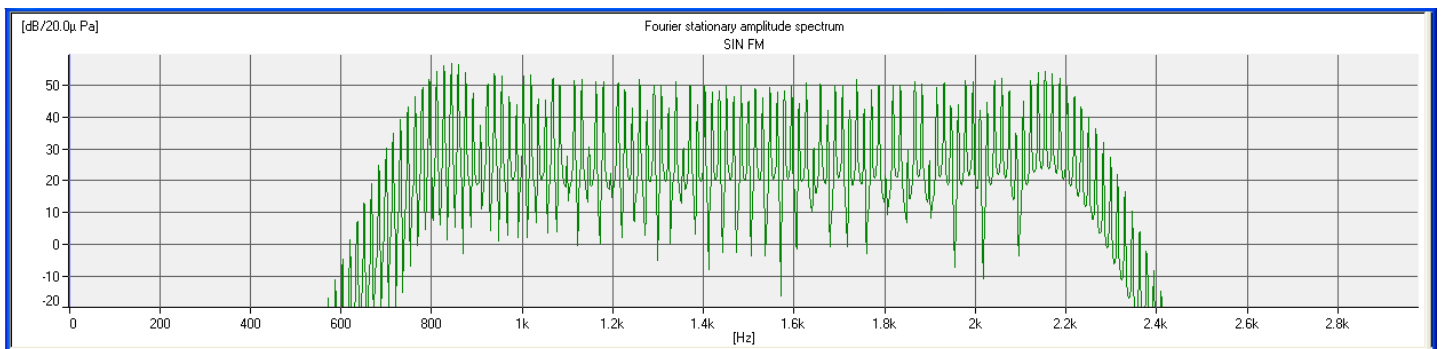


Fig.180. Sin modulado FM

Señales con frecuencia de modulación de 20 Hz

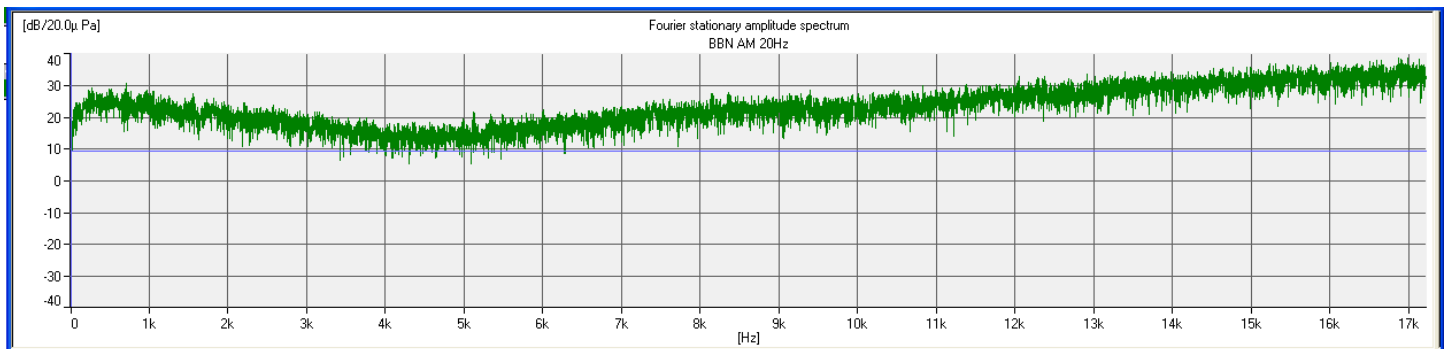


Fig.181. Ruido modulado AM

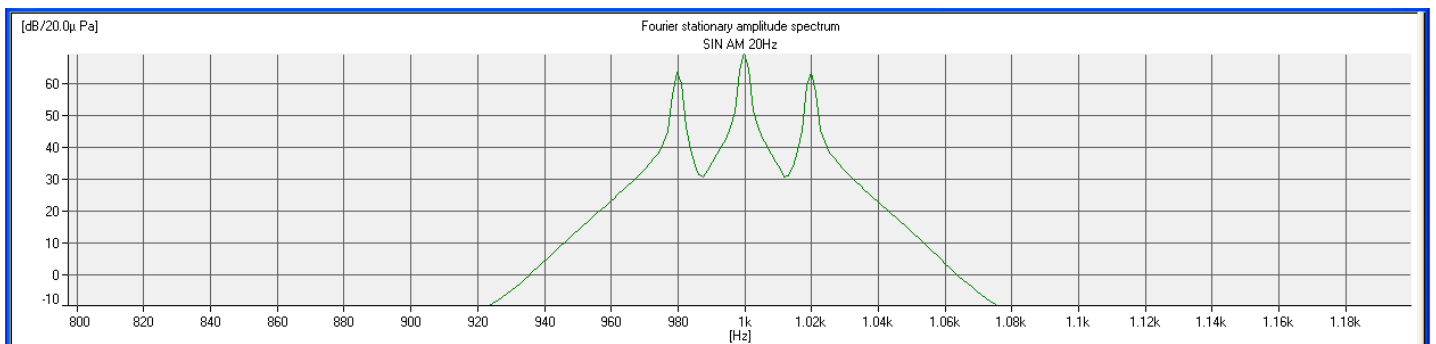


Fig.182. Sin modulado AM

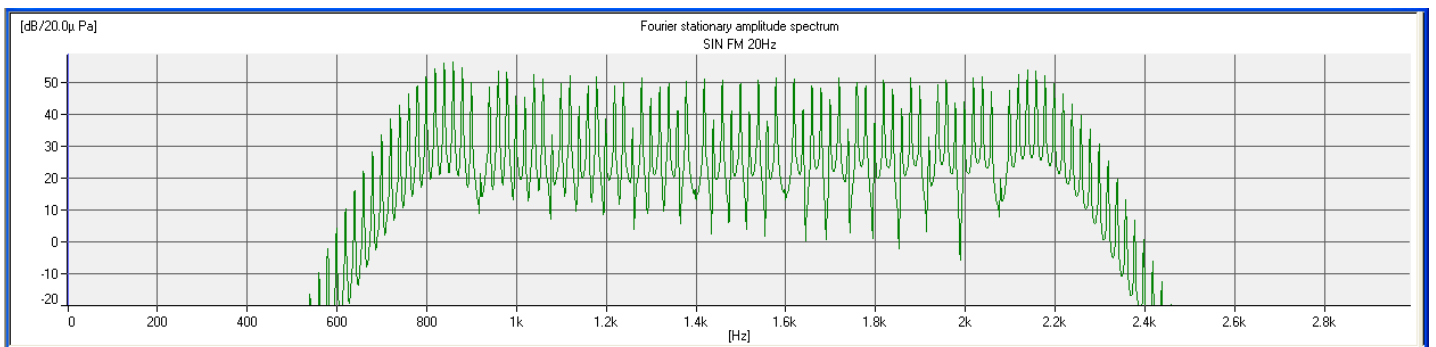


Fig.183. Sin modulado FM

Señales con frecuencia de modulación de 70 Hz

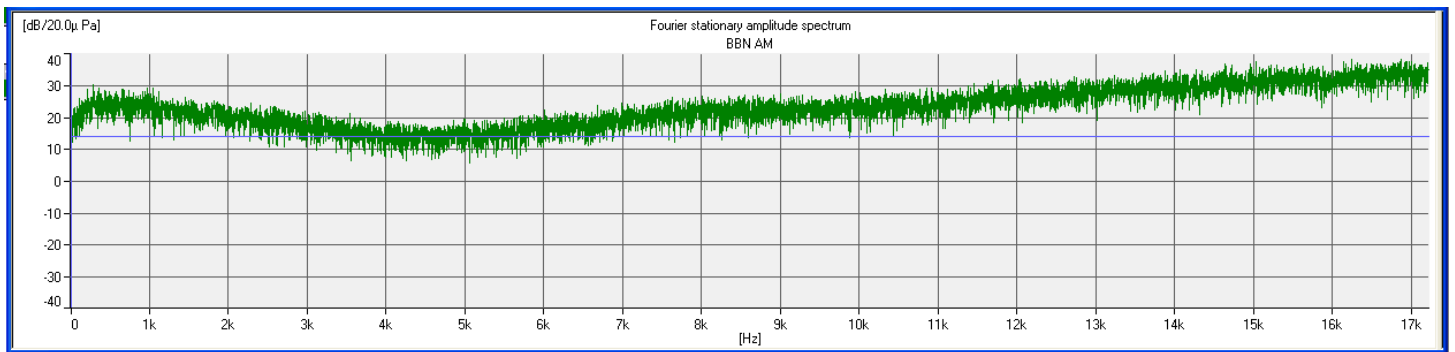


Fig.184. Ruido modulado AM

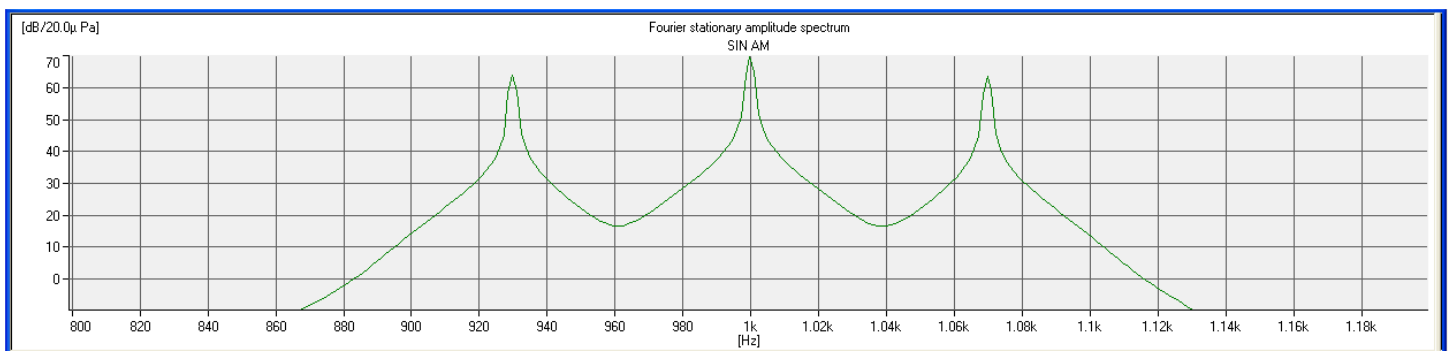


Fig.185. Sin modulado AM

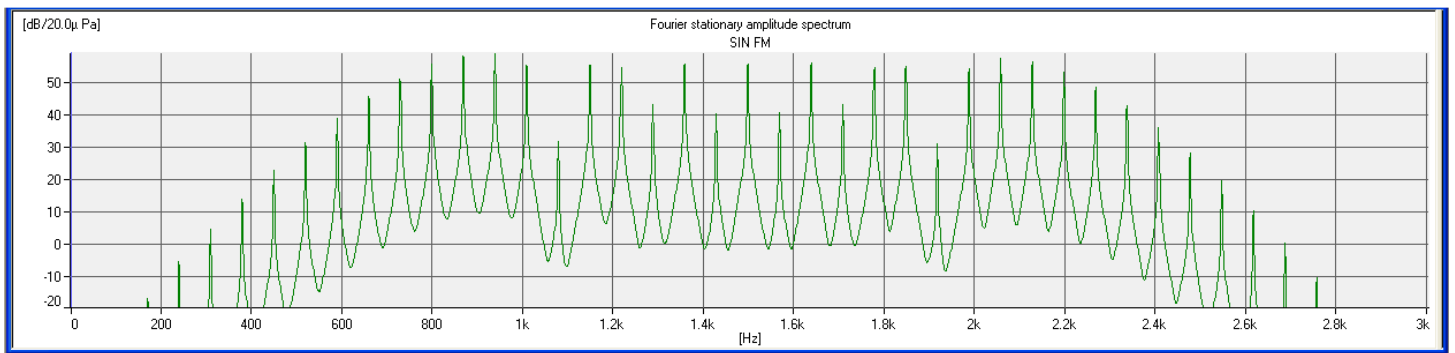


Fig.186. Sin modulado FM

Señales con frecuencia de modulación de 200 Hz

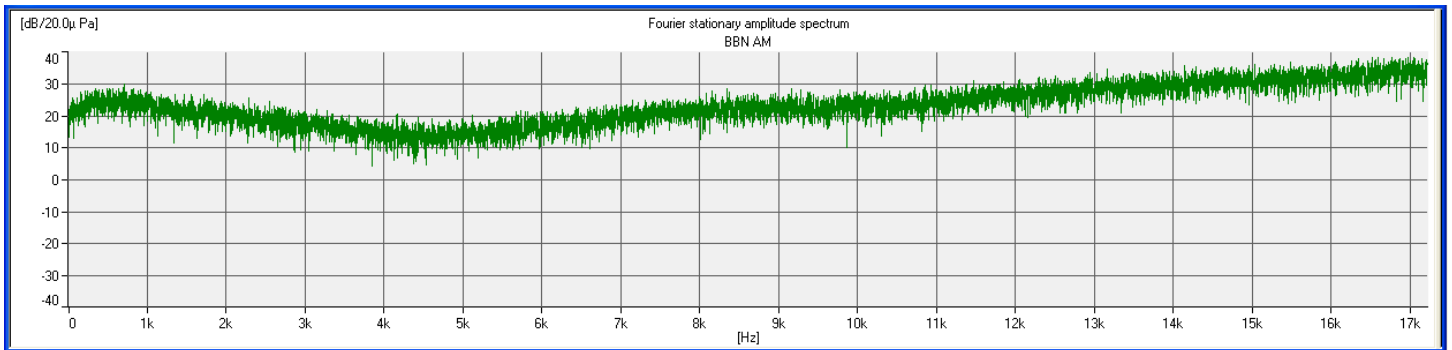


Fig.187. Ruido modulado AM

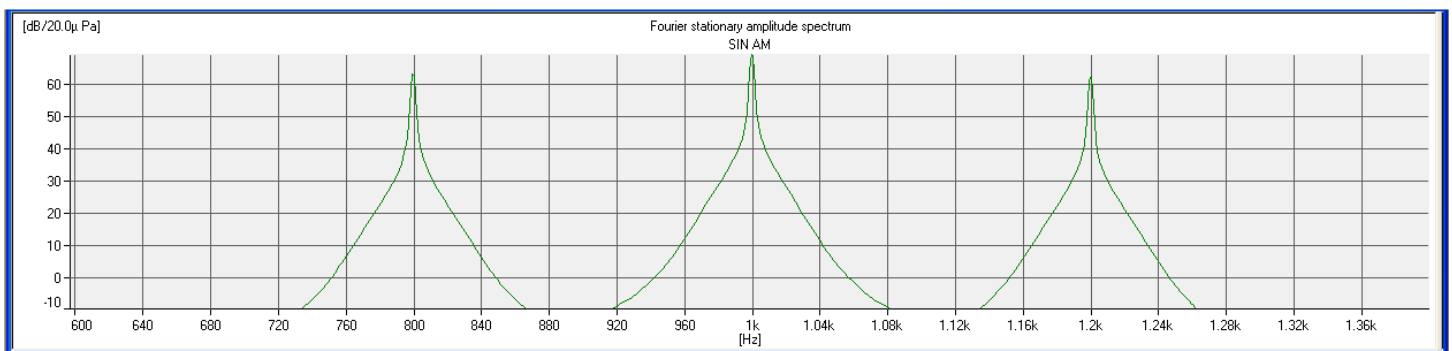


Fig.188. Sin modulado AM

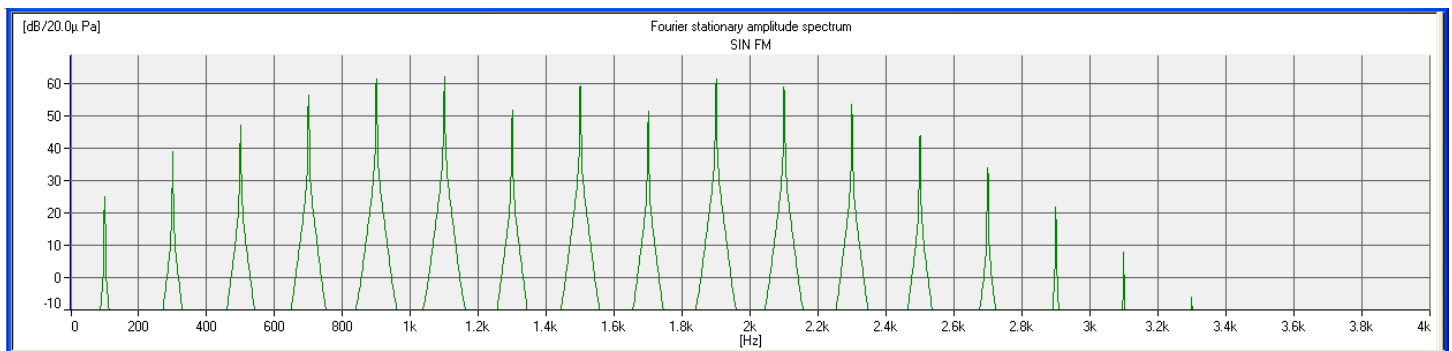


Fig.189. Sin modulado FM

Anexo III –señales analizar parámetros de PULSE

Test subjetivo de molestia de ruido de electrodomésticos

1- **Molestia de volumen:** Evalúa del 1 (poco molesto) al 9 (muy molesto) los siguientes sonidos de electrodomésticos: (marca con X la evaluación).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Secador 1									
Secador 2									
Secador 3									
Secador 4									
Secador 5									

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Extractor 1									
Extractor 2									
Extractor 3									
Extractor 4									

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Microondas 1									
Microondas 2									
Microondas 3									
Microondas 4									
Microondas 5									

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lavadora 1									
Lavadora 2									
Lavadora 3									
Lavadora 4									
Lavadora 5									

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aspirador 1									
Aspirador 2									
Aspirador 3									
Aspirador 4									
Aspirador 5									
Aspirador 6									

2- **Molestia de Agudos:** Evalúa del 1 (pocos agudos) al 5 (muchos agudos) los siguientes sonidos de electrodomésticos: (marca con X la evaluación).

3- **Presencia de variaciones en el sonido:** Evalúa del 1 (poca variación) al 5 (mucha variación) los siguientes sonidos de electrodomésticos: (marca con X la evaluación).

	Riqueza Agudos					Variaciones				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Secador 1										
Secador 2										
Secador 3										
Secador 4										
Secador 5										

	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Extractor 1										
Extractor 2										
Extractor 3										
Extractor 4										

	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Microondas 1										
Microondas 2										
Microondas 3										
Microondas 4										
Microondas 5										

	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Lavadora 1										
Lavadora 2										
Lavadora 3										
Lavadora 4										
Lavadora 5										

	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Aspirador 1										
Aspirador 2										
Aspirador 3										
Aspirador 4										
Aspirador 5										
Aspirador 6										

11.-Anexo 4 Tablas de los tests subjetivos

Tests de molestia

			Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test
	Molestia		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Media	Desviación																									
Sec 1	4,6	0,9	3	5	6	4	5	5	6	4	5	4	4	4	6	5	4	6	3	4	4	5	4	6	5	5	6
Sec 2	4,9	0,9	6	6	5	6	4	5	3	6	6	3	5	5	5	5	5	6	4	4	5	6	5	5	4	5	5
Sec 3	6,3	1,0	5	7	7	6	7	7	4	6	8	5	6	7	6	7	7	7	6	5	6	7	7	8	6	6	7
Sec 4	8,1	0,9	8	9	9	7	8	9	6	8	9	7	8	9	8	9	9	8	7	8	8	8	9	9	8	7	9
Sec 5	5,7	1,1	6	8	6	4	4	5	7	6	7	5	5	6	5	7	5	6	5	6	5	6	7	7	6	4	6
Ext 1	4,1	1,1	6	4	5	2	4	4	5	4	2	3	5	6	4	3	4	5	4	4	5	5	6	5	3	4	4
Ext 2	3,6	1,5	7	2	4	2	3	3	7	3	2	3	3	4	4	4	5	4	3	5	6	3	7	4	2	3	4
Ext 3	1,9	0,9	3	1	3	1	1	2	3	2	1	2	2	3	3	2	3	3	2	2	4	2	3	1	1	2	1
Ext 4	3,3	1,3	8	3	4	3	2	3	4	4	2	2	4	4	4	3	5	4	3	4	5	3	3	3	3	3	2
Mic 1	2,1	0,9	5	2	2	1	3	2	3	2	1	2	3	2	2	3	2	4	1	2	2	1	3	2	2	2	2
Mic 2	1,4	0,7	4	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1
Mic 3	1,0	0,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mic 4	1,8	1,1	6	3	2	2	2	2	1	3	1	2	3	1	2	1	1	2	1	2	1	1	3	2	1	3	2
Mic 5	2,2	0,8	5	3	2	2	2	2	2	3	1	2	3	2	3	3	2	3	2	2	2	1	2	2	3	3	2
Lav 1	5,7	0,9	7	7	5	7	5	6	6	6	6	5	5	4	5	6	7	6	7	6	5	5	6	6	5	7	4
Lav 2	5,7	0,9	8	7	5	5	6	5	5	6	6	7	5	6	6	5	6	7	6	5	6	5	6	7	5	6	4
Lav 3	1,2	0,5	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1
Lav 4	5,7	1,6	8	8	3	4	4	3	5	5	7	5	8	6	8	7	7	5	6	7	8	6	5	6	5	7	5
Lav 5	6,7	1,2	9	9	5	6	7	6	7	7	8	6	8	6	7	7	8	6	6	8	9	6	5	6	6	7	6
Asp 1	6,4	0,9	7	8	6	7	7	6	6	7	8	6	6	7	6	7	7	6	6	5	7	5	7	5	6	6	8
Asp 2	7,6	1,0	9	9	7	9	9	8	8	8	9	7	6	8	6	8	9	7	8	7	8	6	8	6	7	7	8
Asp 3	8,8	0,4	9	9	8	9	9	8	9	9	9	9	9	9	8	9	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Asp 4	8,8	0,4	9	9	9	8	9	8	9	9	9	9	9	9	8	9	8	9	9	9	9	9	9	8	9	9	9
Asp 5	5,9	1,1	7	7	6	5	6	5	4	6	7	6	6	7	4	8	5	6	6	6	7	6	8	4	7	6	6
Asp 6	2,8	1,0	2	5	3	2	3	2	3	3	1	2	3	4	2	5	2	3	4	3	3	3	4	2	4	3	3

Tests de molestia/presencia de agudos

			Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test
	Agudos		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
	Media	Desviación																											
Sec 1	3,6	0,7	3	3	5	3	4	3	4	4	4	3	3	4	3	4	5	4	3	4	5	3	3	4	3	4	3		
Sec 2	4,9	0,3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5		
Sec 3	3,5	0,5	3	4	4	4	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	4	4	3		
Sec 4	3,4	0,7	4	2	4	3	4	3	2	4	3	3	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4		
Sec 5	3,2	0,6	4	3	4	3	3	2	3	4	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4	3	2	3	3	4	3	3		
Ext 1	2,2	0,5	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2		
Ext 2	1,5	0,6	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	3	2	1	2	1	1		
Ext 3	1,6	0,7	1	3	2	1	2	1	2	2	3	2	1	2	2	3	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1		
Ext 4	1,8	0,8	3	1	3	1	2	2	3	1	1	2	2	3	2	1	2	3	2	2	2	1	1	2	3	1	2		
Mic 1	1,1	0,4	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1		
Mic 2	1,1	0,4	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1		
Mic 3	1,7	0,7	2	3	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	3	1	2	2	1	2	2	3	1	2	3	1	1		
Mic 4	2,5	0,7	3	4	1	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3	3	1	3		
Mic 5	1,8	0,7	3	3	1	2	1	2	1	3	2	2	2	1	2	2	2	3	2	2	2	3	1	2	1	1	2		
Lav 1	3,5	0,6	4	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	5	4	3	4	3	3	3	2	4	4		
Lav 2	4,2	0,6	4	5	3	4	4	4	5	5	4	5	4	4	4	5	5	4	3	4	4	4	4	5	4	5	4		
Lav 3	1,9	0,6	3	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	2	1	2	3	2	2	2	2	3	2		
Lav 4	3,9	0,7	5	3	4	4	4	5	3	4	3	4	5	3	4	4	5	4	4	5	5	4	3	3	4	4	4		
Lav 5	4,1	0,5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4	3	4	4	4	5	3	4	5	4	4	4		
Asp 1	3,0	0,5	3	3	2	3	3	3	4	2	3	3	3	3	4	3	3	3	2	3	4	3	3	3	3	3	3		
Asp 2	4,8	0,4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5		
Asp 3	4,8	0,4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5		
Asp 4	3,4	0,7	4	3	5	2	4	4	3	3	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	2	3	3	4	3	4		
Asp 5	3,7	0,6	3	4	4	4	4	4	4	4	5	4	3	4	4	4	4	3	3	2	4	3	4	4	4	4	3		
Asp 6	2,3	0,6	2	4	3	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	

Tests de molestia/presencia de modulaciones

			Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test	Test
	Modulaciones		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	Media	Desviación																										
Sec 1	1,39	0,5	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	
Sec 2	1,21	0,5	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	
Sec 3	1,42	0,7	2	3	1	1	1	1	1	2	2	1	1	3	2	1	1	1	3	1	1	2	2	2	1	2	1	
Sec 4	1,68	0,8	2	4	2	2	1	2	2	3	1	1	1	2	2	1	1	2	2	3	3	1	2	2	1	1	2	
Sec 5	2,29	1,2	3	5	2	2	2	2	3	3	3	1	2	4	2	1	1	4	2	3	4	4	4	2	1	3	1	
Ext 1	1,43	0,5	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	
Ext 2	1,64	1,1	3	4	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	4	3	2	3	1	1	1	2	4	2	2	1	1	
Ext 3	1,42	0,7	2	3	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	3	2	1	1	1	2	2	1	3	1	1	1	1	
Ext 4	1,43	1,0	1	5	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	4	1	2	1	2	3	2	1	2	1	1	2	1	
Mic 1	1,15	0,4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
Mic 2	1,12	0,4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
Mic 3	1,42	0,6	2	3	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	
Mic 4	1,60	0,9	2	4	1	1	2	1	2	3	1	1	3	1	2	2	3	2	1	1	2	3	3	1	1	1	1	
Mic 5	1,44	0,7	3	3	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	
Lav 1	4,57	0,5	4	4	5	5	4	4	4	5	5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	4	5	
Lav 2	4,87	0,3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	
Lav 3	2,56	0,9	3	4	1	1	3	2	4	2	3	2	2	3	3	4	3	3	4	2	2	3	3	4	3	2	2	
Lav 4	4,35	0,6	5	3	4	4	4	5	4	5	4	4	4	5	5	5	4	5	5	3	5	5	4	5	5	4	4	
Lav 5	3,72	0,5	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	5	3	3	4	
Asp 1	1,85	0,8	1	3	2	2	2	1	3	2	3	1	2	1	3	2	2	3	3	3	1	1	1	2	3	3	1	
Asp 2	1,35	0,7	1	3	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	3	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	3	1	
Asp 3	1,23	0,6	1	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	
Asp 4	1,46	0,6	1	3	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	
Asp 5	1,40	0,8	1	4	1	1	2	1	2	1	1	1	2	3	1	1	1	1	3	1	1	2	2	1	1	2	2	
Asp 6	2,11	0,8	1	4	3	3	2	3	2	1	2	3	3	3	2	1	2	3	1	3	2	2	1	3	3	2	2	