



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 MEDIANTE
PARÁMETROS PSICOACÚSTICOS”**

Alumno: Alvaro Echarte Merino

Tutor: Ricardo San Martín Murugarren

Pamplona-Iruña, Marzo 2010

ÍNDICE

ÍNDICE

1. OBJETO DEL PFC.....	5
1.1. Descripción del proyecto.....	6
1.2. Estructura del proyecto.....	7
2. CALIDAD SONORA.....	8
2.1. Introducción.....	9
2.1.1. definición.....	9
2.1.2. Parametros de calidad Sonora	10
2.1.2.1.Loudness	10
2.1.2.2.Sharpness	17
2.1.2.3.Roughness y fluctuation strength	19
2.1.2.4.Psychoacoustic annoyance.....	22
2.2. Métodos de evaluación de un sonido.....	24
2.2.1. Método subjetivo.....	24
2.2.2. Método objetivo.....	25
2.3. Softwares de evaluación de la calidad acústica.....	26
2.3.1. Win-MLS	27
2.3.2. Códigos implementados en la universidad de Sanford	28
2.3.3. Psysound3	32
2.3.4. Códigos implementados en el laboratorio	28
2.3.5. PULSE.....	41
3. MÉTODO EXPERIMENTAL.....	42
3.1 Dispositivo experimental.....	43
3.1.1 Dispositivo experimental de la captación del sonido de los electrodomésticos.....	43
3.1.2 Dispositivo experimental de la obtención del sonido del secador....	46
3.1.3 Realización del tutorial de PULSE.....	47
3.2 Implementación del test psicoacústico.....	49

3.2.1	Sonidos del test.....	50
3.2.2	Diseño del test mediante matlab.....	55
3.2.3	Realización del test.....	57
4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	60
4.1.	Estudio de la calidad sonora de electrodomésticos.....	61
4.2.	Análisis de los resultados del test.....	63
4.2.1.	Análisis de datos objetivos.....	63
4.2.2.	Análisis de datos subjetivos.....	66
4.2.3.	Comparación de datos subjetivos con objetivos.....	67
4.3.	Análisis de la fiabilidad del test.....	72
4.3.1.	El test de Chi cuadrado.....	72
4.3.2.	Cálculo del número mínimo de sujetos que deben ser sometidos al test.....	74
4.4.	Conclusiones de los análisis.....	76
5.	CONCLUSIONES.....	77
6.	ANEXOS.....	80
6.1.	Anexo 1: Método de cálculo del nivel de sonoridad UNE 74-014-78.....	81
6.2.	Anexo 2: Códigos programados en el laboratorio.....	100
6.3.	Anexo 3: Gráficos de medias acumuladas del grado de molestia de cada sonido.....	105
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	111

1. OBJETO DEL PFC

1 OBJETO DEL PFC

Determinar la calidad sonora de un sonido 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.

1.1 Descripción del proyecto

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 sonora” 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 sonora y, por otro, evaluar su fiabilidad mediante comparación con programas comerciales de análisis y la realización de tests psicoacústicos.

1.2 Estructura del proyecto

- Estudio teórico de los fundamentos básicos de la calidad sonora
- Búsqueda de software adecuado para el estudio de la calidad sonora de un producto.
 - Win-MLS
 - Pysound 3
 - Códigos de la universidad de Sanford
 - Intento de creación de un software propio
 - Elección final: PULSE (B & K)
- Obtención de grabaciones monoaurales y binaurales
 - Elección del “Caso de estudio”.
 - Puesta en funcionamiento del equipo de medida.
 - Diseño de la configuración de medida.
- Implementación del test psicoacústico
 - Diseño del test mediante Matlab
 - Realización del test
- Análisis de los resultados obtenidos
- Conclusiones

2. CALIDAD SONORA

2 CALIDAD SONORA

2.1 Introducción

Durante el siglo pasado, los ingenieros han utilizado enfoques tanto teóricos como experimentales cada vez más sofisticados para reducir el ruido de maquinaria, vehículos, aeronaves... Sin embargo, a finales de los años 80 comenzaron a darse cuenta que resultaba insuficiente afrontar el problema de forma unidimensional, con el único objetivo de reducir el nivel de presión sonora del ruido producido por una fuente sonora determinada. Se empezó a prestar atención, además de al propio nivel del sonido generado, a su estructura temporal, su contenido frecuencial, y sobre todo, a cómo ese sonido era percibido por el ser humano. La hipótesis de que cuanto menor nivel menor molestia no siempre funciona. Es obvio que el sonido musical de un violín es preferido frente al sonido técnico de un taladro del mismo nivel sonoro. Sin embargo, ante el ruido generado por un producto industrial, la cuestión no es tan evidente. Los adjetivos utilizados para calificar un sonido –cálido, áspero, chirriante, dulce, duro, potente, suave... establecen un léxico demasiado subjetivo como para cuantificar una percepción. ¿Es más molesto un sonido “áspero” que otro “duro”? En ocasiones, no se trata de evitar la molestia o las malas sensaciones, sino de “retratar” las cualidades de un producto para que éste dé la impresión de robusto, sofisticado, poderoso, bien diseñado... Es lo que se ha convenido en llamar “Calidad Sonora” y ha demostrado ser una provechosa herramienta en la industria del automóvil. Sin embargo, en otros mercados también amplios y maduros, como el de los electrodomésticos, los test de calidad sonora no son tan habituales y el ruido-sonido es generalmente abordado como una entidad censurable que debe ser tratada a posteriori, una vez que el producto ha sido ya diseñado, mediante técnicas de control de ruido como amortiguamientos, cerramientos o aislantes.

Por lo tanto, el objetivo de los estudios de la calidad del sonido es el de cambiar la impresión de cliente hacia el producto de una manera favorable. Es obvio que los fabricantes invierten más dinero en lograr un buen funcionamiento del producto, pero se ha demostrado que un sonido agradable lo hace más competente dentro del mercado.

2.1.1 Definición

Para que un estudio sobre la calidad sonora de un producto tenga éxito es importante conocer cómo el ser humano responde a un determinado sonido. De la relación entre el fenómeno acústico y la percepción humana se encarga la psicoacústica.

2.1.2 Parámetros de calidad sonora

Con el objetivo de caracterizar la calidad sonora de un producto, se ha desarrollado en los últimos años un conjunto de indicadores o parámetros objetivos, algunos de ellos cuidadosamente definidos. Sin embargo, muy pocos han sido estandarizados y su utilidad suele depender de la naturaleza del producto que está siendo analizado. Es muy habitual que los fabricantes que realizan tests de calidad sonora desarrollen sus propios parámetros además de emplear otros más conocidos. Se describen a continuación los indicadores más frecuentes.

2.1.2.1 Loudness

El loudness o la sonoridad es una medida subjetiva de la intensidad con la que un sonido es percibido por el oído humano.

Esta métrica determina cómo es de fuerte un sonido en relación con otro, y se define según (Zwicker & Fastl 1990) 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, su unidad es el fonio.”. Es decir, un sonido que es tan fuerte como un tono de 1kHz con un nivel de presión sonora de 40 dB se dice que tienen un nivel de sonoridad de 40 fonios.

El fonio (o fon) está definido arbitrariamente como la sonoridad de un sonido senoidal de 1 kHz con un nivel de presión sonora de 0 dB_{SPL} . Así, 0 dB es igual a 0 fonios y 120 dB es igual a 120 fonios. Eso, siempre, para sonidos sinusoidales con frecuencias de 1 kHz.

La relación entre el nivel de presión sonora y el loudness para tonos puros se representa en las curvas isófonas.

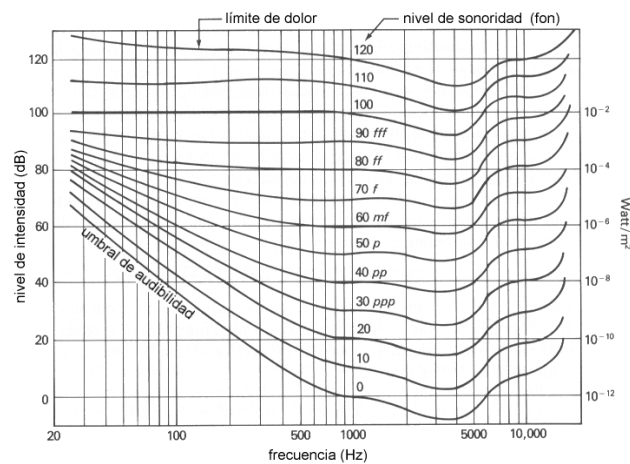


Figura 1: representación de las curvas isófonas.

Las curvas de igual sonoridad, establecidas por Munson y Fletcher en 1930, muestran la relación que debe existir entre las frecuencias e intensidades de dos sonidos senoidales para ser percibidos igual de fuertes, es decir, con la misma sonoridad.

La dependencia de la sonoridad con la frecuencia está dada principalmente por las características del oído. A medida que el nivel de intensidad aumenta las curvas se aplanan, es decir, dicha dependencia disminuye.

El fonio es una unidad que no sirve para comparar la sonoridad de dos sonidos diferentes, sino que hace referencia a la sonoridad de un determinado sonido. Esto se debe a que la escala de fonios está relacionada con una escala logarítmica. La unidad que compara la diferencia de volumen o sonoridad de dos sonidos se denomina sonio.

Nivel de sonoridad = Loudness level (fonios): nivel por comparación con un sonido de referencia (el de una onda sonora de 1 kHz).

Sonoridad = Loudness (sonios): es el valor numérico de la fuerza de un sonido que es proporcional a una magnitud subjetiva evaluada por oyentes normales. El sonio está definido como la sonoridad de un sonido senoidal de 1 kHz con un nivel de intensidad sonora de 40 dB.

$$N_t = 2^{\left(\frac{L_N - 40}{10}\right)} ; \text{ Donde } N_t \text{ se expresa en sonios } L_N \text{ en fonios} \quad [1]$$

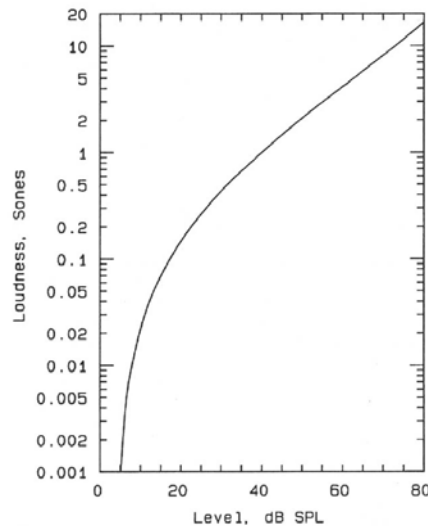


Figura 2: relación entre el nivel SPL y el loudness en sonios para un tono puro de 1KHz.

El loudness es el único parámetro estandarizado y su cálculo exacto se especifica en la norma ISO532/R (la UNE 74-014-78 corresponde totalmente con esta norma), pero, antes de analizarla con más detalle, es preciso recordar ciertos aspectos de la psicoacústica

En el cálculo del loudness tiene un importante papel el enmascaramiento frecuencial, que ocurre cuando un sonido impide la percepción de otro, es decir, lo enmascara:

Si excitamos nuestra membrana basilar con un tono puro, no sólo entran en movimiento las células filiales correspondientes a esa frecuencia, sino, también, aunque con menor intensidad, los nervios adyacentes que se corresponden con frecuencias mayores y menores. La amplitud de la excitación a lo largo de la membrana basilar cuando oímos un tono puro define lo que llamamos curvas de enmascaramiento para ese tono puro. El ancho de banda de esa curva se denomina banda crítica y es diferente para cada una de las frecuencias.

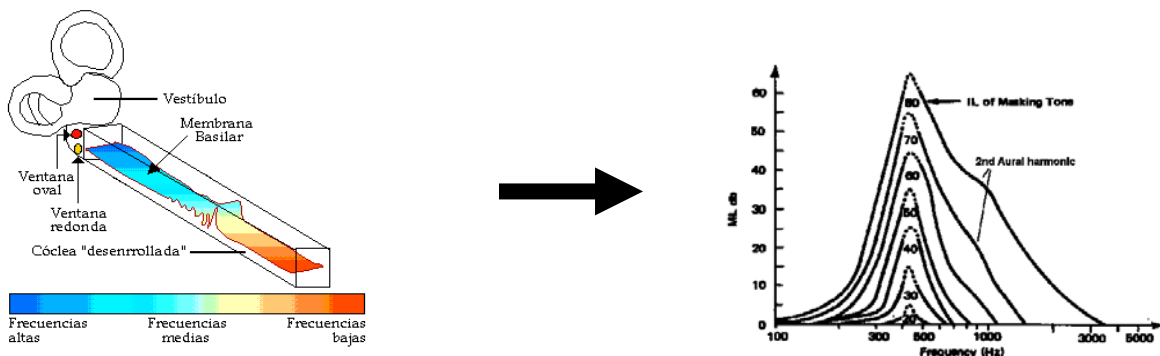


Figura 3: dibujo del oído interno (izquierda) y representación gráfica del ancho de banda de las bandas críticas (derecha).

Por lo tanto, todos los sonidos que únicamente exciten las frecuencias correspondientes a la banda crítica se verán camuflados por el tono enmascarante.

Para representar la sonoridad respecto la frecuencia, existe la sonoridad específica o specific loudness que se simboliza mediante N' . El rango frecuencial, a diferencia de un espectro habitual, que puede dividirse en octavas o tercios de octava, se fracciona en las bandas críticas de las siguientes 24 frecuencias, cada una de estas bandas se denomina bark:

Tabla 1: anchos de banda de los 24 barks de todo el eje frecuencial

número	frecuencia central (Hz)	banda crítica (Hz)	frecuencia de corte inferior (Hz)	frecuencia de corte superior (Hz)
1	50	-	-	100
2	150	100	100	200
3	250	100	200	300
4	350	100	300	400
5	450	110	400	510
6	570	120	510	630
7	700	140	630	770
8	840	150	770	920
9	1000	160	920	1080
10	1170	190	1080	1270
11	1370	210	1270	1480
12	1600	240	1480	1720
13	1850	280	1720	2000
14	2150	320	2000	2320
15	2500	380	2320	2700
16	2900	450	2700	3150
17	3400	550	3150	3700
18	4000	700	3700	4400
19	4800	900	4400	5300
20	5800	1100	5300	6400
21	7000	1300	6400	7700
22	8500	1800	7700	9500
23	10500	2500	9500	12000
24	13500	3500	12000	15500

La figura 3 es el loudness específico de un tono puro de 1kHz a 94 dB. El bark con más sonoridad es el 8, correspondiente a la frecuencia de 1000Hz, y se aprecia como la caída del loudness hacia frecuencias mayores es progresiva, representa el rango de enmascaramiento que ejerce el tono puro a 94dB.

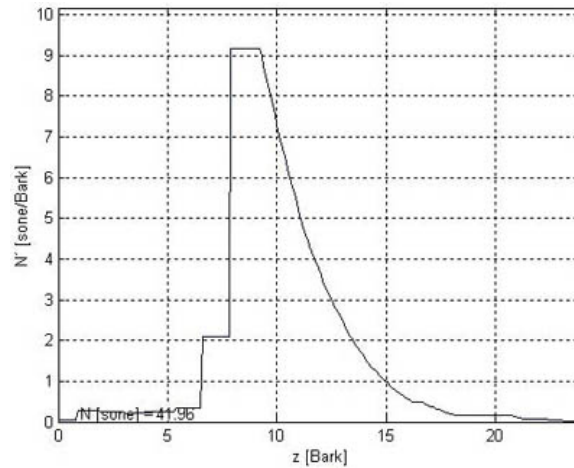


Figura 4: loudnes específico de un tono puro de 1kHz a 94 dB

- **ISO532/R**

La norma española completa que se corresponde totalmente con la ISO 532/R se encuentra en el anexo I.

Esta norma especifica dos métodos de cálculo para el loudness total. El primero (Método A), utiliza medidas físicas obtenidas mediante análisis en frecuencias en bandas de octava y el segundo (Método B), sin embargo, utiliza análisis en bandas de tercio de octava. Además de la diferencia en cuanto al ancho de banda, los dos métodos difieren en otros aspectos.

A continuación se resumirán los dos métodos para hacernos una idea de procesos que se deben seguir para el cálculo de la sonoridad:

1. Método A:

El Método A es un método simplificado destinado al cálculo de la sonoridad para sonidos en los que un análisis en bandas de octava sea apropiado.

El procedimiento se basa en transformar cada nivel de presión sonora calculado en cada una de las bandas de octava, en un índice de sonoridad que serán introducidos en una fórmula empírica para que nos devuelva la sonoridad total expresada en sonios. Este valor puede calcularse en sonios mediante la fórmula 2 por lo tanto, el método se basa en las tres relaciones siguientes:

- Una función que relaciona la sonoridad en sonios con el nivel de sonoridad en fonios (fórmula 1):
- Una familia empírica de curvas de igual sonoridad para bandas de ruido en campo acústico difuso.
- Una fórmula que relaciona la sonoridad total de un sonido con los índices de sonoridad de las bandas de frecuencia que lo componen.

$$N_t = N_m + F (\Sigma N - N_m)$$

[2]

Donde, N_m es el mayor índice de sonoridad y, ΣN , la suma de los índices de sonoridad de todas las bandas.

Para bandas de octava $F=0,3$.

2. Método B:

Este es un método destinado a sonidos de espectro complejo en los que un análisis en bandas de octava no es suficiente.

El procedimiento para el cálculo del nivel de sonoridad consta de tres pasos basados en un conjunto de gráficos (Anexo 1, Figuras 2 a 11)

Paso 1: elegir el gráfico adecuado teniendo en cuenta el campo sonoro en el que se ha evaluado el sonido y el gráfico debe incluir el valor más alto medido en bandas de tercio de octava.

Paso 2: unir todas las bandas de modo correcto siguiendo las instrucciones descritas en la página 7 de la norma (Paso 2).

En este paso es donde entra en juego el enmascaramiento. La unión de las bandas se realiza teniendo en cuenta este principio de la psicoacústica.

Paso 3: transformar el área delimitada en un rectángulo de la misma área con una base igual al ancho del gráfico. La altura del rectángulo proporcionará directamente el nivel de sonoridad.

A pesar de que anteriormente se ha hablado de la importancia de las bandas críticas, ya hemos visto que en la norma no se hace uso de ellas. En la página 6 de la ISO532/R advierte que para el cálculo de la sonoridad se han admitido ciertas hipótesis simplificadoras que facilitan en gran medida el procedimiento, una de esas hipótesis es la asimilación de bandas críticas a bandas de tercio de octava.

2.1.2.2 Sharpness

El sharpness o nitidez mide el contenido de alta frecuencia de un sonido.

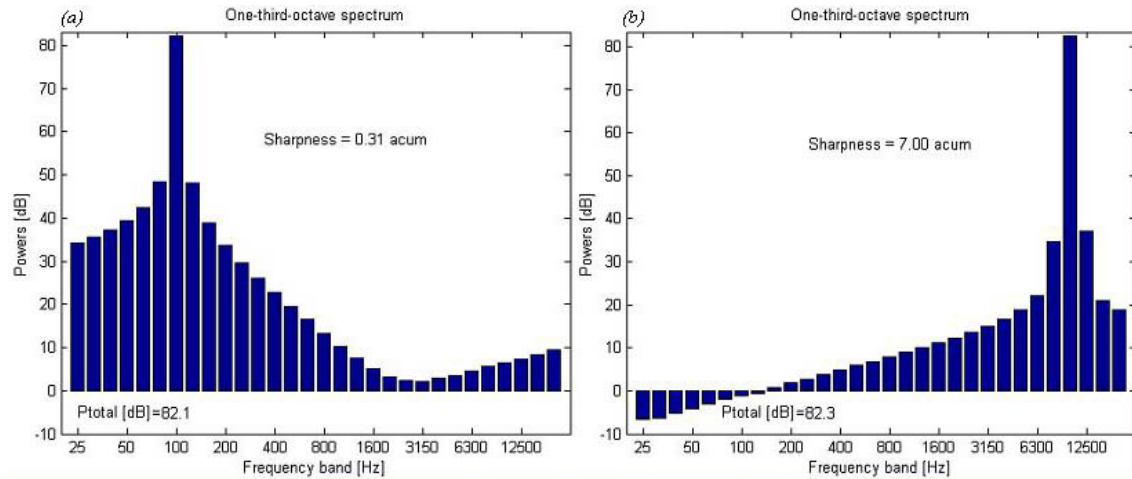


Figura 5: Espectro de frecuencias y los valores de nitidez de (a) un tono de 100 Hz y (b) un tono de 10 kHz.

El sharpness puede ser un parámetro útil para los sonidos de un producto en el que el contenido de alta frecuencia sea importante. Zwicker y Fastl define un sonido de sharpness 1 acum como "un ruido de banda estrecha, una banda crítica de ancho, a una frecuencia central de 1kHz con un nivel de 60dB".

Sin embargo, la nitidez es un indicador que aún no se ha normalizado. En consecuencia, existen varios métodos para el cálculo de esta métrica.

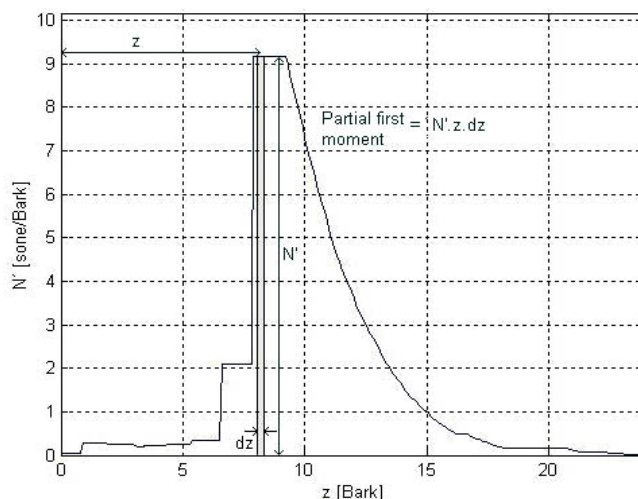


Figura 6. Primer momento parcial

Con el método de Zwicker y Fastl [1] el sharpness puede ser calculado como el primer momento ponderado de la intensidad específica (N'). El cálculo de un primer momento

parcial en z es $N' \cdot z \cdot dz$ (que se muestra en la figura 5). Este primer momento parcial se pondera por la función $g'(z)$ para obtener $N' \cdot g'(z) \cdot z \cdot dz$. La suma de estos momentos parciales ponderados es calculada. Este se divide por el volumen total (N):

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

y multiplicado por una constante de proporcionalidad ($c = 0,11$) para dar el siguiente valor para el sharpness (S):

$$S = c \cdot \frac{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' g'(z) \cdot z \cdot dz}{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' dz}$$

donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} z < 14, \rightarrow g'(z) = 1, \\ z \geq 14, \rightarrow g'(z) = 0.00012 \cdot z^4 - 0.0056 \cdot z^3 + 0.1 \cdot z^2 - 0.81 \cdot z + 3.51 \end{array} \right\}$$

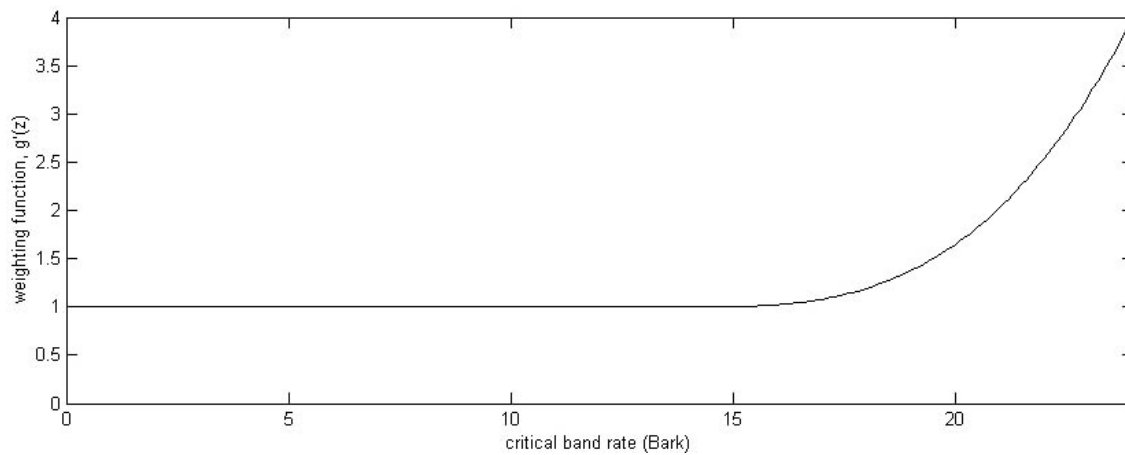


Figura 7. Ponderación, $g'(z)$, en función del tipo de banda crítica

2.1.2.3 Roughness y Fluctuation strength

Si aplicamos a una señal una modulación a baja frecuencia, como 1, 5, 10.....Hz, los cambios de intensidad en el sonido serán muy notorios y esto produce una sensación de fluctuación en el oyente. En cambio, si la frecuencia de modulación toma valores mayores, entre 20 y 500Hz más o menos, la sensación cambia y se aprecia una aspereza o rugosidad. Para cuantificar el grado de molestia que originan estos efectos existen dos parámetros; fluctuation strength o fuerza de fluctuación, para los sonidos modulados a bajas frecuencias y el roughness o la rugosidad, para los modulados a frecuencias más altas.

A continuación se explicarán con más detalle cada uno de ellos:

- Roughness

El roughness o la rugosidad es un parámetro que cuantifica el grado de molestia provocado a causa de modulaciones rápidas. Su unidad es el asper. Un asper se define como la rugosidad producida por un tono de 1000 Hz a 60dB, modulado a 70 Hz con un índice de modulación del 100%. El valor máximo de roughness para cualquier sonido se logra modulándolo a 70Hz.

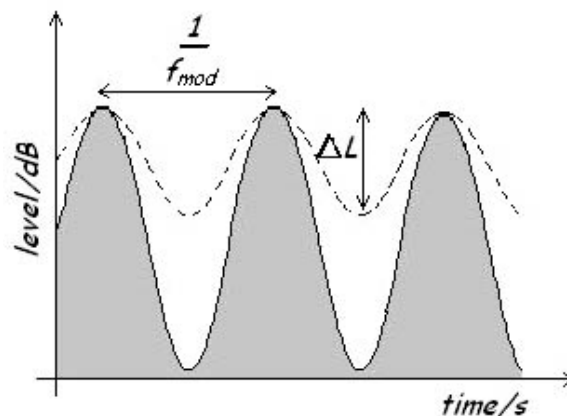


Figura 8: onda modulada representada respecto el tiempo

Donde f_{mod} es la frecuencia de modulación y ΔL es el índice de modulación percibido por el oyente, es decir, debido a la modulación existe una variación de nivel en el sonido, pero la variación de nivel percibida por el oído es menor que la variación real.

Este parámetro puede ser evaluado con la siguiente ecuación:

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

Para ver visualmente el valor numérico del grado de molestia, obtenido mediante la fórmula de Zwicker & Fastl, que produce la modulación se ha representado el roughness respecto el tiempo de un tono de 1 kHz modulado con un sweep que barre en 30 segundos todas las frecuencias desde 0 hasta 100 Hz.

Teniendo en cuenta la teoría, el valor máximo del roughness deberá darse cuando la señal esté modulada a 70Hz que corresponde al segundo 21.

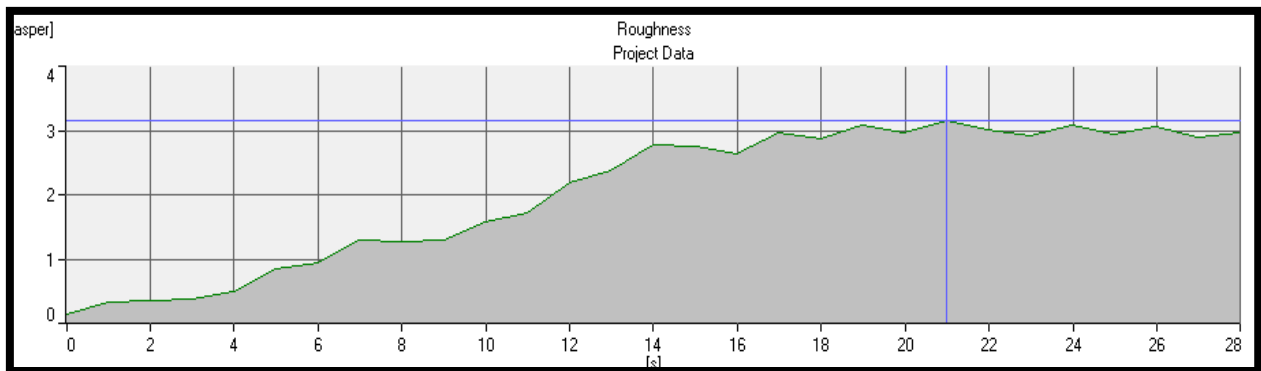


Figura 9: representación gráfica del roughness respecto el tiempo

Efectivamente, en la imagen se aprecia como en el segundo 21 toma el valor máximo y poco a poco comienza a descender, si la gráfica siguiera hasta que el sweep alcanzará los 500Hz se visualizaría que el roughness disminuye casi hasta 0.

- Fluctuation strength

Se denomina fluctuation strength, al parámetro que cuantifica la molestia producida por un sonido que fluctúa a causa de una modulación. Esta sensación persiste hasta una frecuencia de modulación de 20Hz, en este momento la sensación de aspereza o rugosidad se hace cargo. Hay una frontera difusa en el cambio de las dos sensaciones, es difícil de cuantificar con precisión una o la otra.

Su unidad de medida es el vacil que se define como la fuerza de fluctuación producida por un tono de 1000 Hz de 60dB, modulado a 4Hz con un índice de modulación del 100%. Su valor máximo se encuentra a una frecuencia de modulación de 4 Hz.

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

Donde f_{mod} es la frecuencia de modulación y ΔL es el índice de modulación percibido por el oyente.

2.1.2.4 Psychoacoustic annoyance (PA)

Los parámetros descritos hasta el momento devuelven valores que indican características de un sonido, pero, si nos dijese que el sonido del motor de un coche concreto tiene un loudness de 30 sonios, un sharpness de 3,13 acum, un roughness de 4,1 asper y una fuerza de fluctuación de 5,98 vacil, no podríamos hacernos una idea de su grado de molestia, a no ser, que estemos muy familiarizados con la calidad sonora.

A consecuencia de ello, Zwicker & Fastl, teniendo en cuenta las experiencias psicoacústicas, lograron una expresión que devuelve el grado de molestia de un sonido mediante una combinación de las cuatro métricas, a ese valor le denominan “Psychoacoustic annoyance”.

Comenzaron estudiando la relación de proporcionalidad, el aumento de cualquier parámetro supone el incremento del grado de molestia:

$$PA \sim N \left(1 + \sqrt{[g_1(S)]^2 + [g_2(F, R)]^2} \right) \quad [3]$$

Donde PA es el grado de molestia total; N, el loudness; S, el sharpness; F, la fuerza de fluctuación y R, el roughness.

La descripción cuantitativa final del “psychoacoustic annoyance”, basada en los resultados de experiencias psicoacústicas, corresponde a la expresión:

$$PA = N_5 \left(1 + \sqrt{w_S^2 + w_{FR}^2} \right) \quad [4]$$

donde;

- N_5 Es el percentil 5 de la sonoridad frente al tiempo.
- w_S Es la componente que contiene el valor de sharpness (S).

$$w_S = \left(\frac{S}{\text{acum}} - 1.75 \right) \cdot 0.25 \lg \left(\frac{N_5}{\text{sonie}} + 10 \right)$$

- w_{FR} Es la componente correspondiente a las modulaciones es decir fluctuation strength (F) y roughness (R).

$$w_{FR} = \frac{2.18}{(N_5/\text{sone})^{0.4}} \left(0.4 \cdot \frac{F}{\text{vacil}} + 0.6 \cdot \frac{R}{\text{asper}} \right)$$

En la figura 9 se representan los resultados de comparar el grado de molestia diferentes motores obtenido mediante un test subjetivo y calculándolo con la fórmula de Zwicker & Fastl:

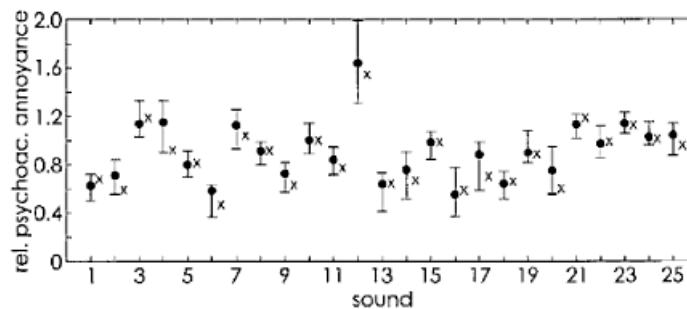


Figura 10: representación de los resultados de una prueba subjetiva sobre la calidad sonora del ruido de un motor

Los puntos negros corresponden a los valores indicados por los sujetos que realizaron las pruebas y las “x” a los valores objetivos obtenidos con la fórmula del PA.

Se aprecia que resultados son casi coincidentes para los 25 sonidos expuestos, lo cual verifica que con la fórmula 3 se obtendrían resultados fiables en un estudio de calidad sonora.

2.2 Métodos de evaluación de un sonido

Los parámetros descritos tienen como objetivo representar numéricamente características de los sonidos. Con estos valores, somos capaces de hacernos una idea de cual es la calidad sonora de un producto. Sin embargo, para que los resultados sean fiables, los métodos de evaluación deben cumplir ciertos aspectos técnicos que se describirán a continuación:

2.2.1 Método subjetivo

A la hora de realizar un método subjetivo para la evaluación de un sonido, es preciso tener en cuenta una serie de aspectos para que los resultados sean válidos.

En primer lugar, dependiendo de la complejidad de la prueba, debe elegirse el perfil de los oyentes que realizarán el test. Pueden ser oyentes expertos o inexpertos; los primeros son individuos entrenados y que entienden el objetivo de la prueba, por lo tanto, el grado de dificultad de los test es elevada. En cambio, un oyente inexperto es sometido a una prueba sencilla, ya que, sus conocimientos sobre el estudio en cuestión son nulos.

Es importante que todos los sujetos que realicen el test clasifiquen los sonidos haciendo uso de un mismo criterio, como podría ser un léxico creado específicamente para la prueba. Además, es aconsejable que el oyente evalúe los sonidos mediante comparaciones con sonidos de referencia.

Se aconseja realizar el test con auriculares para evitar ruidos de ambiente o sonidos del exterior. En su defecto, el lugar de escucha debe ser el adecuado, de tal manera, que su acústica no afecte al sonido que va a ser evaluado.

Los resultados que se obtengan del test coincidirán con la realidad si los sonidos que se expongan a los oyentes son reales, es decir, si los sonidos se han grabado adecuadamente. Se aconseja grabarlos con cabeza Dummy o pares estereofónicos. De lo contrario, la percepción de direccionalidad puede ser alterada y. Por supuesto, la posición del micrófono debe representar el lugar del oyente en un ambiente real.

Existen otros aspectos también a tener en cuenta:

- El test debe ser sencillo y fácil para el oyente.
- Las pistas deben tener fade in/out para evitar clicks molestos.
- El test no debe ser demasiado largo para evitar que resulte pesado (es aconsejable no superar los 20 minutos)

- Las muestras deben presentarse al azar para que los resultados reflejen datos estadísticos adecuados.

2.2.2 Método objetivo

En este caso, al igual que en el método subjetivo, las grabaciones deben realizarse con la cabeza Dummy y en un ambiente real.

Los resultados los devuelven softwares destinados a la evaluación de la calidad sonora. Hoy en día, el número de programas de este tipo es muy reducido. Los más populares son: “dBFA32” de 01dB, “PULSE analyzer” de B&K, and “Artemis and SQ labII” de HEAD acoustics.

2.3 Softwares de evaluación de la calidad sonora

Tras el estudio teórico de los parámetros, comenzamos la búsqueda de un software adecuado que realizara los cálculos pertinentes.

Las empresas que estudian la calidad sonora de sus productos son aún una inmensa minoría, por lo tanto, la demanda de softwares relacionados es muy reducida. En consecuencia, es difícil hallar programas fiables.

A continuación se presentarán cronológicamente todos los programas que han sido utilizados y las pruebas que se realizaron con cada uno.

2.3.1 Win-MLS

Comenzamos evaluando el “Win-MLS”, pero este software únicamente calcula el loudness específico de los sonidos, es decir, es capaz de devolver una gráfica de sonos por bark de la señal.

Ejemplo:

- Sonido evaluado: Ruido de Fondo del laboratorio de acústica.
- Espectro y sonoridad específica: Figura 10

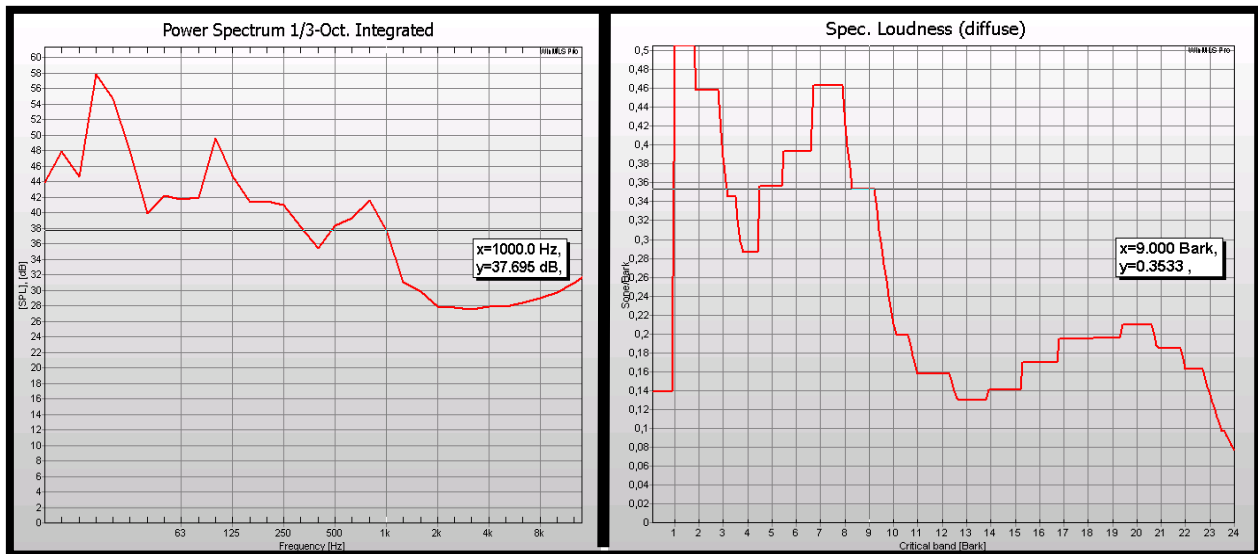


Figura 11: espectro y loudness específico del ruido de fondo del laboratorio de acústica obtenido mediante Win-MLS

Los datos que se obtienen no son suficientes para conocer la sonoridad total de la señal, por lo que el Win-MLS fue descartado como posible software para un estudio completo de la calidad acústica.

2.3.2 Códigos programados por la universidad de Salford

El departamento de investigación de la universidad de Salford ha publicado en su página web un artículo sobre la calidad sonora. En él se basa gran parte de la base teórica de este proyecto.

Además, facilitan una serie de algoritmos ejecutables en matlab que calculan el loudness total de un sonido según el método B especificado en la norma ISO532, el espectro en bandas de octava y el sharpness.

Los archivos introducidos deben ser .wav y mono, el programa es incapaz de analizar sonidos estereo.

Los archivos .wav deben estar en el directorio actual de MATLAB. El archivo.wav debe ser importado como una matriz. Para ello, antes de introducir la señal en cualquiera de las tres funciones debe ser leída por matlab mediante la función “wavread”.

Loudness

```
function [N_entire,N_single] = loudness_1991(x, Pref, Fs, Mod);
```

Donde x, Pref, Fs, Mod son las variables de entrada. “x” será la señal a valorar, “Pref” la presión de referencia con la que hemos grabado la señal, “Fs” es la frecuencia de muestreo del sonido y la variable “Mod” tomará el valor 1 para sonidos en campo difuso y 0 para sonidos en campo libre.

Esta función nos devolverá por un lado “N_entire” que es el loudness total y por otro lado “N_single”, el loudness específico.

Para obtener datos fiables es precisa una correcta calibración, es decir, debemos introducir el Pref correcto. Para ello, hay que seguir los siguientes pasos:

1. Calcular el espectro con filtros de orden 4 y valor de Pref= 0.
2. El P resultante siempre será negativo, debe sumársele al Pref que se quiera introducir
3. Por último el loudness siempre debe calcularse con filtros de orden 8.

Ejemplo:

1. `>> [Ptotal] = filter_third_octaves_downsample(x, 0, 44100, 25, 12500, 4)`

Ptotal = -0,81

2. queremos que se evalúe un nivel de 94 dB, por lo tanto, Pref= 94+ 0,81

3. `>> LBtono = loudness_1991(x, 94.81, 44100, 1);`

(Recordar que el orden de los filtros en este caso es de 8)

Ejemplo práctico con un sonido ya calibrado:

- Sonido evaluado: sonido de un secador.

- Variables de entrada:

- `x= wavread "secador.wav"`
- Pref=94,81;
- Fs=44100Hz
- Mod=1;

- Espectro y loudness específico:

N_entire= 42,89 sone

N_single: Es la gráfica de la derecha de la figura 11

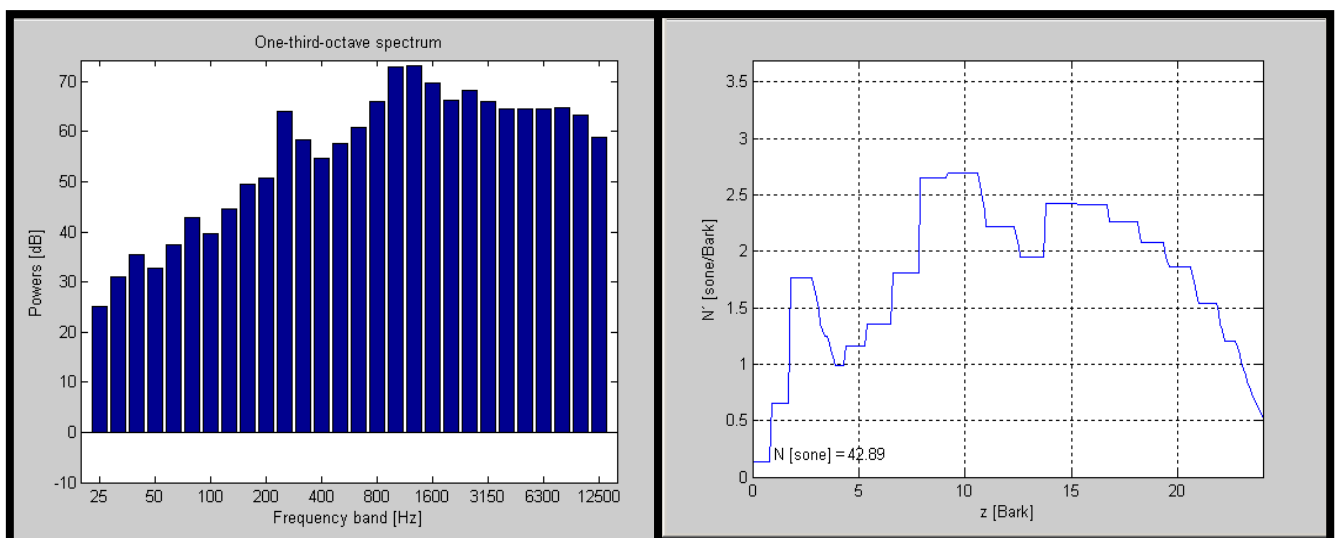


Figura 12: espectro y loudness específico de un secador obtenido mediante códigos programados por la universidad de Salford

Nitidez

```
function [sharp] = sharpness_Fast1(loudspec)
```

Para calcular la nitidez primero debemos ejecutar la función "sharpness_Fast1" donde el "loudspec" será el "N_single" calculado anteriormente mediante la función "loudness_1991"

Ejemplo:

- Sonido evaluado: ruido de fondo del laboratorio de acústica.
- Variables de entrada:
 - loudspec= N_single
- Valor de sharpness:
Sharp= 1.5088 acum

Espectro de tercios de octava

```
function [Ptotal, P] = filter_third_octaves_downsample(x,  
Pref, Fs, Fmin, Fmax, N)
```

Para el cálculo del espectro se requiere: x, la señal a analizar y su Fs, frecuencia de muestreo; Fmin Fmax son el mínimo y máximo de las bandas de tercio de octava (por lo general se trataría de 25 Hz y 12.5 kHz respectivamente), Pref., es un valor de referencia (explicado anteriormente), y N que es el orden del filtro (normalmente sería 8).

La función devuelve los valores Ptotal que es la presión sonora total del sonido, P, que es una matriz de valores de presión sonora para cada una de las bandas de tercio de octava.

Ejemplo práctico

- Sonido evaluado: ruido blanco a 94dB.
- Variables de entrada:
 - x= wavread "blanco.wav"
 - Pref= 104,65 ; el sonido fue grabado con un software calibrado a 94dB

- $F_s = 44100\text{Hz}$
- $F_{\min} = 25\text{ Hz}$
- $F_{\max} = 12500\text{ Hz}$
- $N = 8$
- Espectro:
 $P_{\text{total}} = 93.87\text{dB}$
P: figura 12

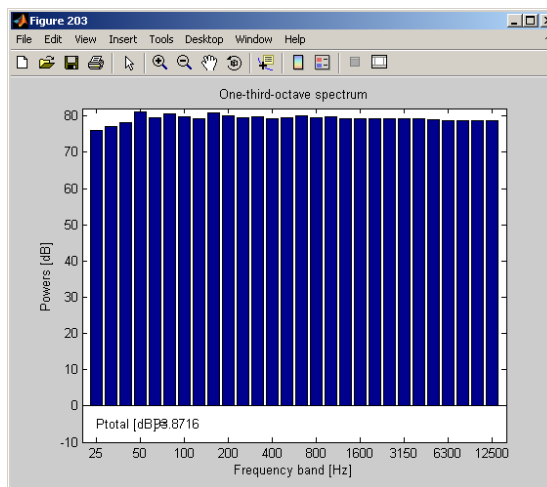


Figura 13: espectro del blanco obtenido mediante códigos programados por la universidad de Salford

2.3.3 Psysound 3

PsySound3 es una plataforma fácil de usar que hace un análisis preciso de mediciones acústicas normalizadas, así como las implementaciones de los parámetros psicoacústicos y musicales (como el loudness, el sharpness, el roughness, el tono, ritmo y ejecuta IACC).

El programa está escrito utilizando el lenguaje de Matlab y se controla mediante una interfaz gráfica de usuario.

Señales de entrada:

Es preferible el formato de archivo .wav a 44,1 kHz de frecuencia de muestreo. Sin embargo, PsySound3 acepta muchos formatos de archivo (que son convertidos a wav por el programa antes de su análisis).

Calibración.

Antes de analizar cualquier sonido debe ser calibrado para que el programa calcule los valores sobre una referencia correcta.

Para ello, en psysound3 hay que seguir los siguientes pasos:

1) En primer lugar ejecutamos en matlab la siguiente orden:

```
>> psysound3
```

Acto seguido se abrirá el interfaz del psysound3:

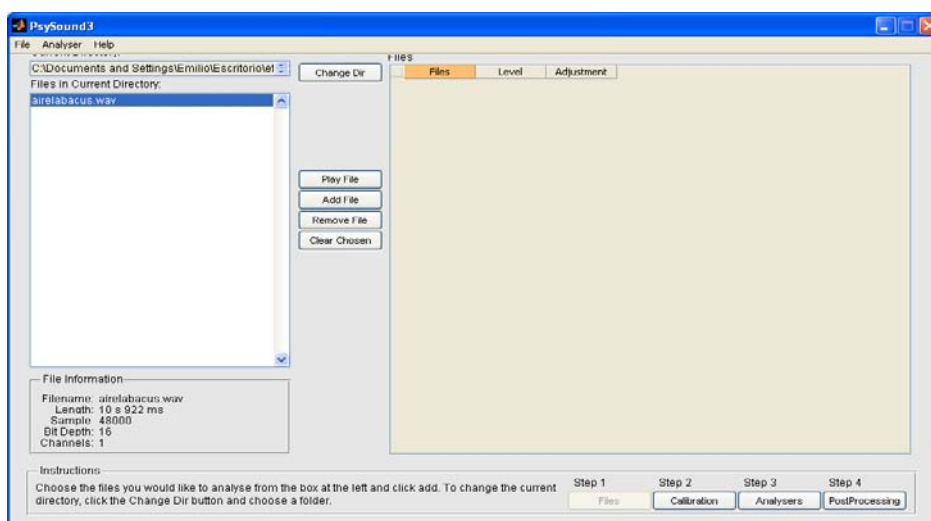


Figura 14: pantalla principal de psysound 3

- 2) Con el interfaz presente, debemos pinchar en el botón “change dir” y seleccionar la carpeta en la que se encuentra la señal que queremos analizar, al contenido de dicha carpeta se podrá acceder desde el mismo psysound3.

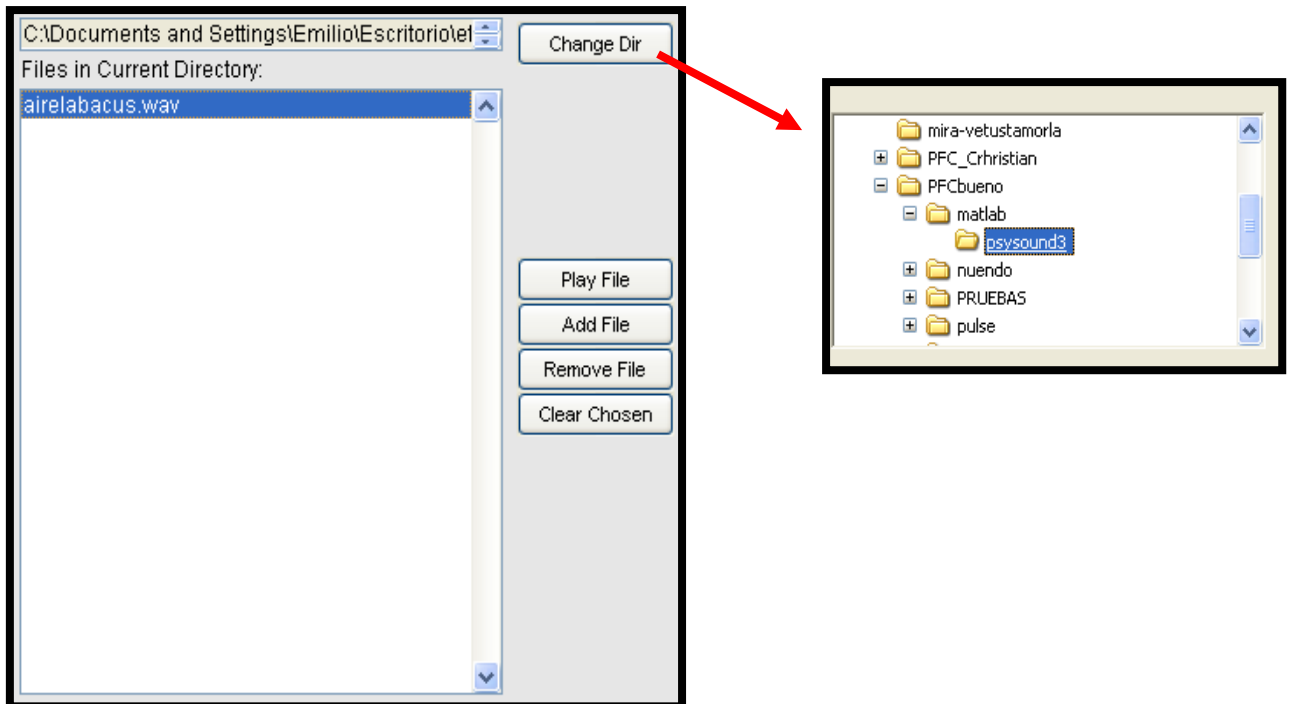


Figura 15: directorio de psysound 3

- 3) Seleccionamos una de las señales, pulsamos “Add file” para trabajar con ella y accedemos a la ventana de calibración.

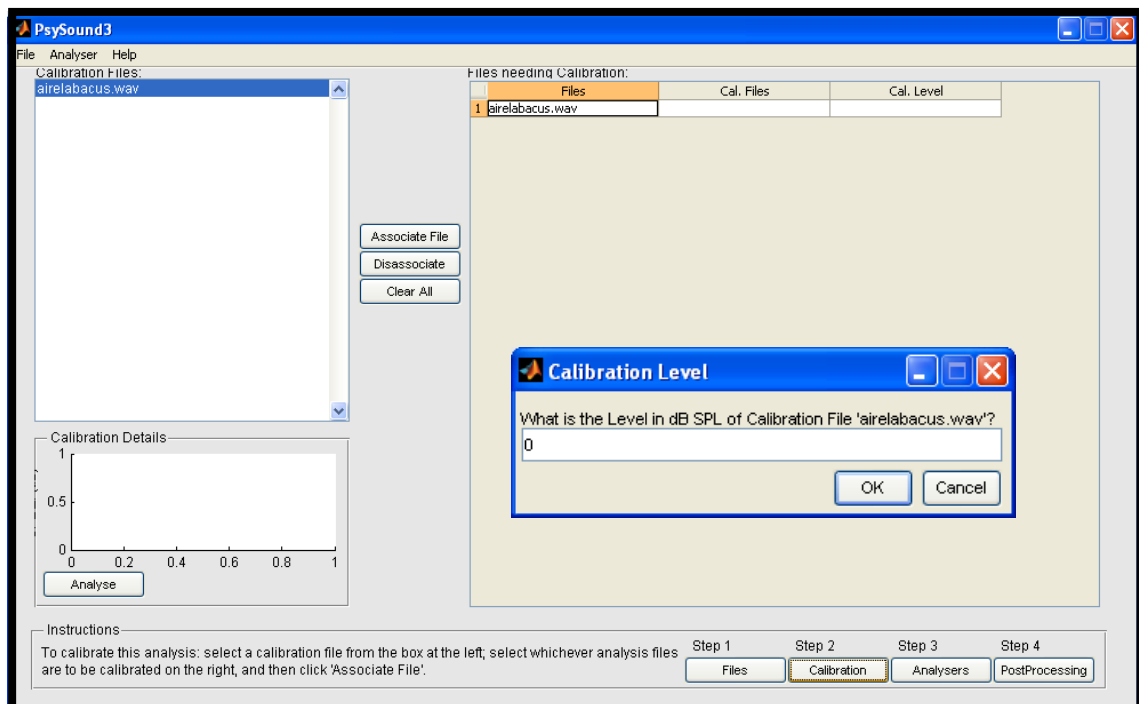


Figura 16: pantalla de calibración de psysound 3

Asociamos la señal seleccionada con ella misma y con un nivel de calibración de 0.

- 4) Una vez en la ventana de análisis, hacemos uso del primer modulo que el ppsound3 nos ofrece (más adelante se explican todos los utilizados en el proyecto), el “FFT spectrum”.

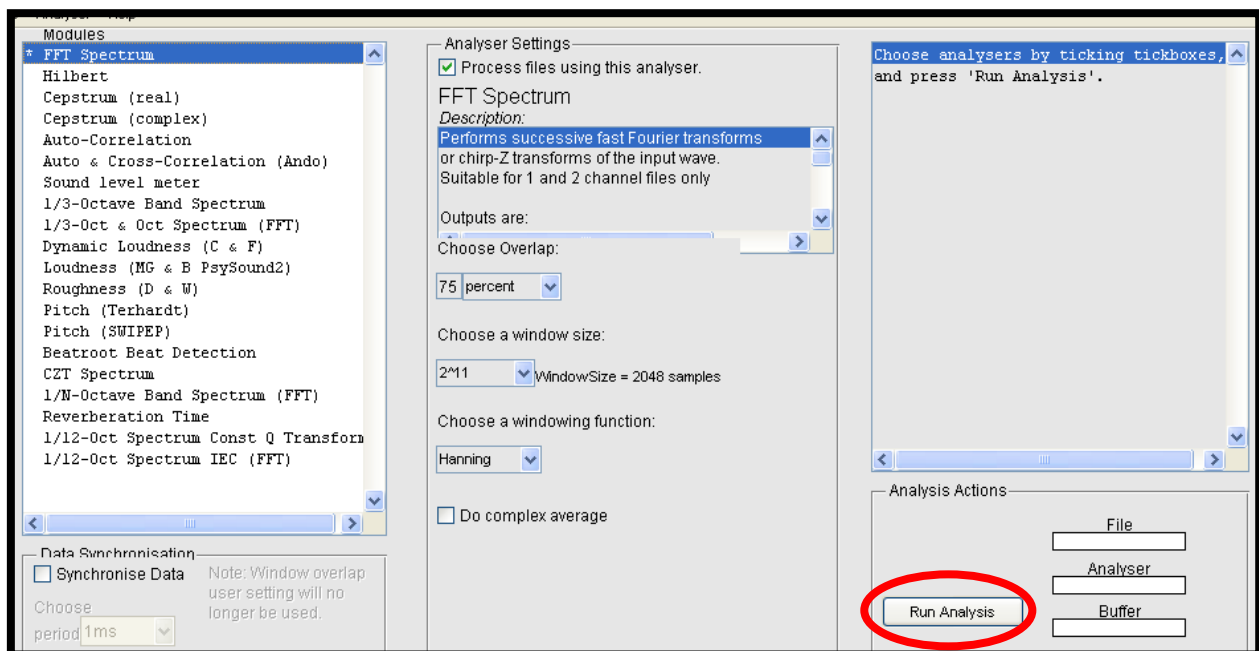


Figura 17: ventana de análisis de ppsound 3

- 5) Para ver los resultados, accedemos a la última ventana, “PostProcesing” .

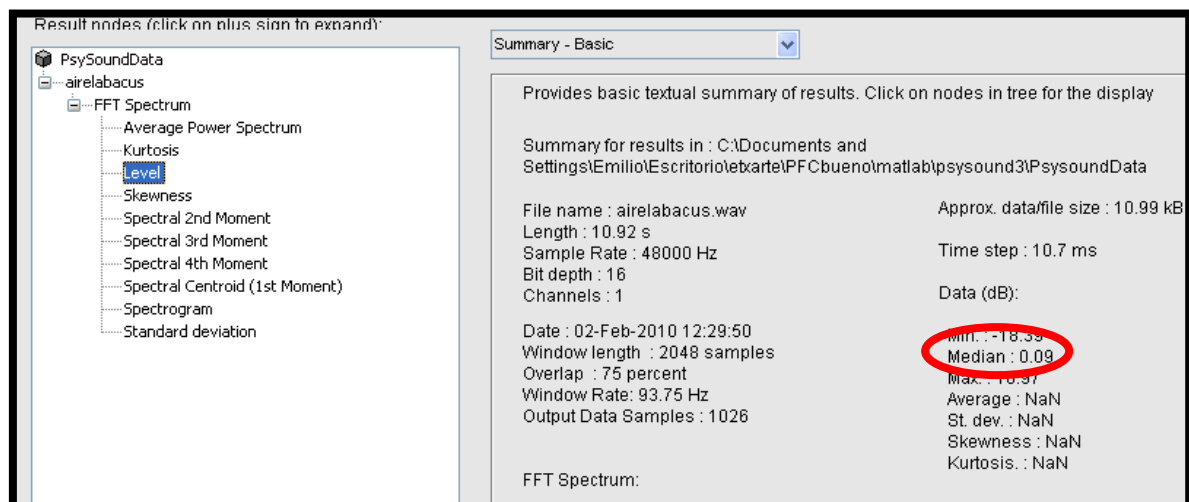


Figura 18: ventana de resultados de ppsound 3

En la opción “Level” del módulo seleccionado el valor señalado por un círculo rojo corresponde a la presión media, calculada por el psysound3, para una señal calibrada a 0dB, por lo tanto, debemos restar este valor a la presión a la que queremos analizar nuestro sonido.

Es decir, si nuestra señal debe ser de 60 dB, el nivel de calibración será 59,91dB.

Ejemplo:

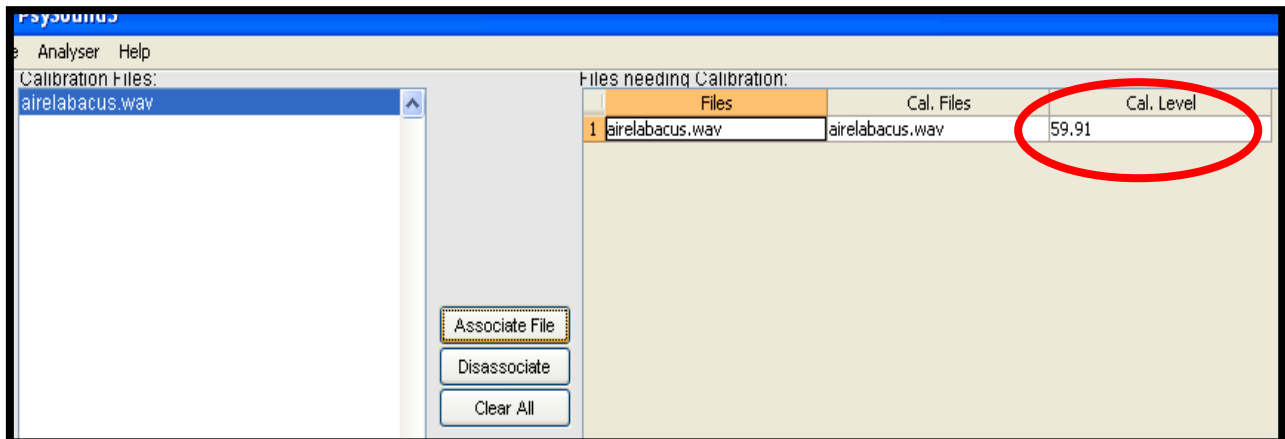


Figura 19: pantalla de calibración de psysound 3

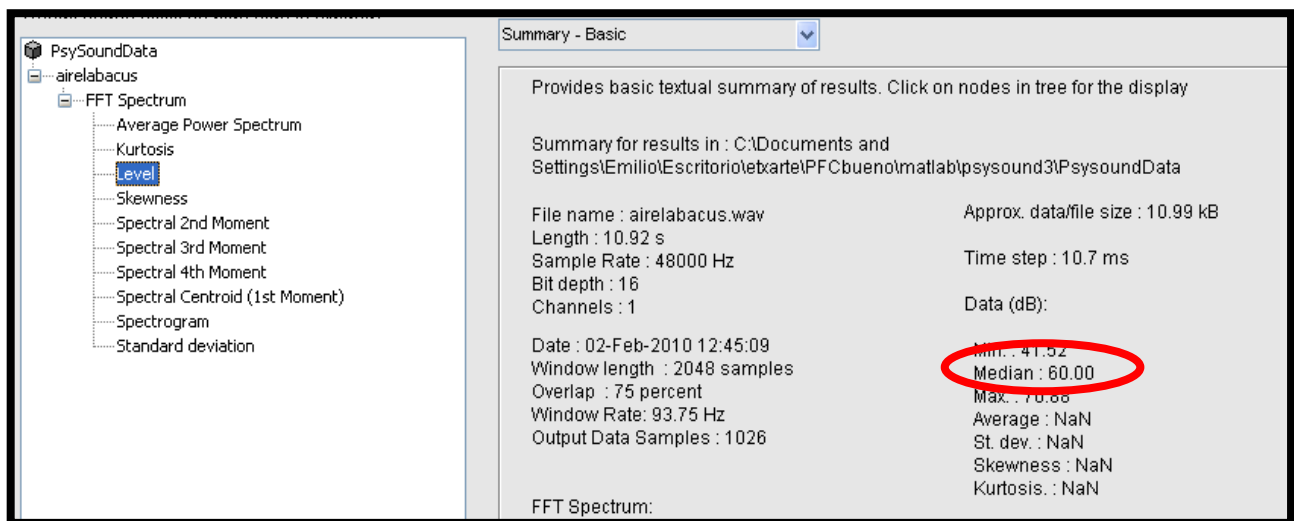


Figura 20: ventana de resultados de psysound 3

Cuando el nivel de la señal dentro del programa es el deseado, es cuando podemos comenzar a analizarla.

Análisis de señales conocidas

Cuando tuvimos claro el funcionamiento del `psysound3`, quisimos verificar antes de comenzar a analizar señales, que los cálculos que realizaba eran correctos. Para ello, estudiamos sonidos de calibración para cada uno de los parámetros que nos interesaba calcular, es decir:

- 1) Para el loudness:

Tono de 1 kHz de 40 dB = 1 sonio.

- 2) Para el sharpness:

Ruido de banda estrecha de 60 dB en la banda crítica centrada en 1 kHz = 1 acum

- 3) Para el fluctuation Strength:

Tono de 1 kHz de 60 dB 100% modulado en amplitud a la frecuencia de modulación de 4 hHz = 1 vacil.

- 4) Para el roughness:

Tono de 1 kHz de 60 dB 100% modulado en amplitud a la frecuencia de modulación de 70 Hz = 1 asper.

- Resultados y análisis de los mismos.

Tabla 2: datos obtenidos mediante el `psysound3`

<i>Parámetro</i>	<i>Señal</i>	<i>Valor real</i>	<i>Valor calculado por psysound3</i>
Loudness	Tono de 1 kHz de 40 dB	1	0.99 sonios
Sharpness	Ruido de banda estrecha de 60 dB en la banda crítica centrada en 1 kHz	1	1.14 acums

Roughness

**Tono de 1 kHz de 60 dB 100% 1
modulado en amplitud a la
frecuencia de modulación de 70 Hz**

0.95 aspers

En primer lugar, comentar que el psysound3 no es capaz de calcular la fuerza de fluctuación, por ello, sus valores no están en la tabla de resultados.

Se observa que los resultados no coinciden totalmente con los resultados teóricos. A pesar de ello, realizamos una comparación con los valores obtenidos mediante los códigos de matlab (por supuesto con las mismas señales y correctamente calibradas) y se demostró que el psysound3 es más preciso.

Tabla 3: comparación de datos obtenidos con Psysound3 y mediante los códigos implementados en la universidad de Salford

	<i>Loudness</i> (sone)	<i>Sharpness</i> (acum)
Valor real	1	1
Valor del psysoun3	0.99	1.14
Valor de matlab	0.93	1.2

Hasta el momento el psysound3 era la herramienta más potente y más completa que habíamos probado, pero, por el hecho no calcular la fuerza de fluctuación y el tiempo de cálculo que requería, seguimos buscando un software más completo.

2.3.3 Códigos implementados en el laboratorio

Habiendo probado los softwares citados y habiendo entendido los fundamentos de las métricas, se intentó programarlas con el objetivo de entenderlas más a fondo.

A causa del grado de dificultad de cálculo del roughness y fluctuation strength no se lograron resultados válidos, por lo tanto desistimos y nos centramos en los códigos del loudness y sharpness:

- Loudness

El cálculo de la sonoridad se ha implementado teniendo en cuenta el método A descrito en la ISO 532 – 1975.

En primer lugar, debe calcularse el espectro del sonido a analizar en bandas de octava. Para ello, se ha implementado una función llamada “octavas” a la cual el programa principal llama.

A cada una de esas bandas debe asignársele un valor, un índice de sonoridad, teniendo en cuenta las tablas de la página 18 del anexo 1.

Por último, para lograr el valor final del loudness se introducen los valores en la fórmula 2.

Ejemplo:

Como ejemplo calcularemos el loudness del sonido de un secador mediante el código facilitado por la universidad de Salford y el implementado por nosotros. Se debe tener en cuenta que vamos a comparar un mismo parámetro calculado mediante dos métodos diferentes.

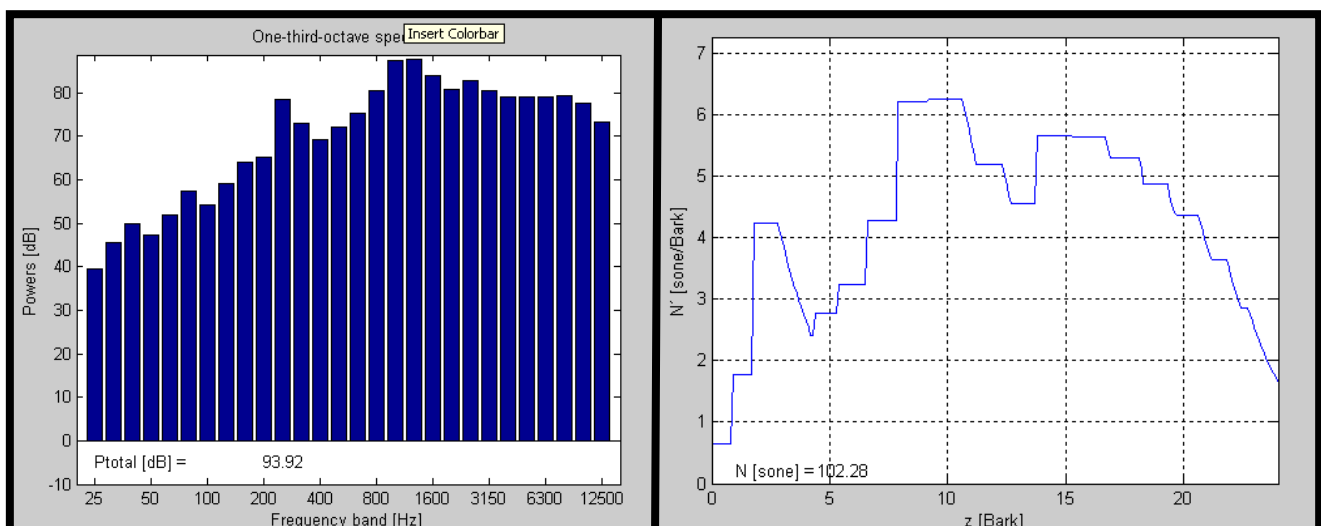


Figura 21: Espectro en tercios de octava

Specific loudness

El programa de la universidad de Salford devuelve, además del valor numérico de la sonoridad, el espectro en bandas de tercio de octava y el specific loudness (Figura 13).

Nivel de presión sonora total: 93,92dB

Sonoridad total: 102,28 sonios

Si evaluamos el mismo sonido con el código programado en el laboratorio los resultados son los siguientes:

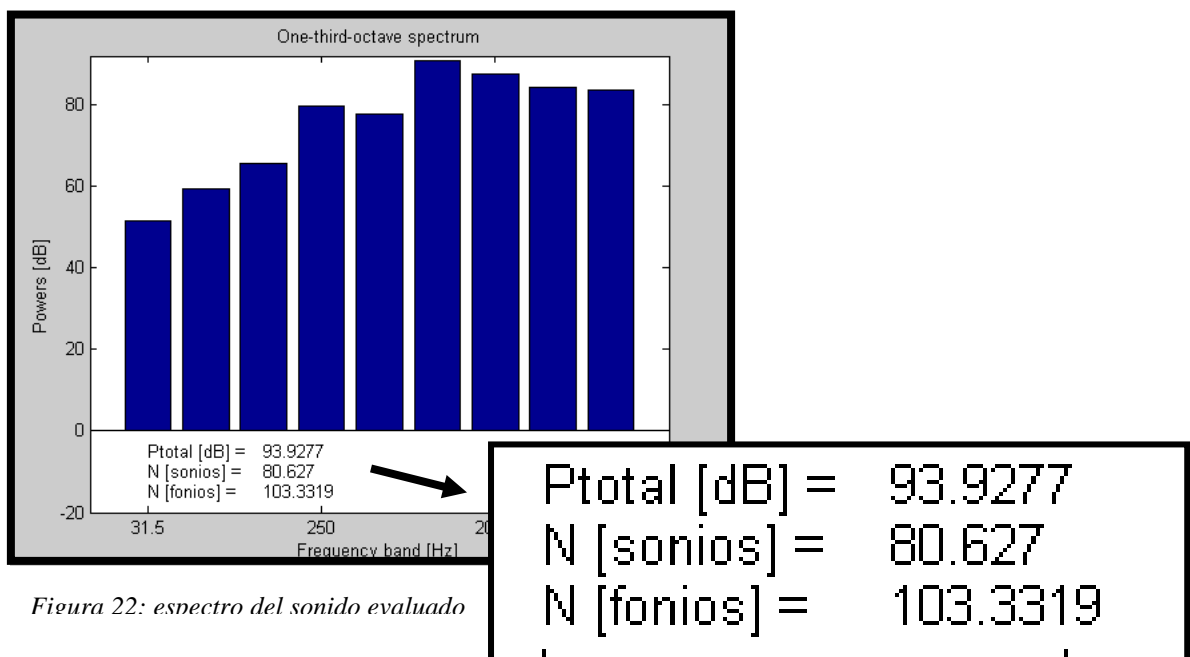


Figura 22: espectro del sonido evaluado

En este caso, el espectro es en bandas de octava, a pesar de ello, se aprecia que la similitud en los dos espectros y el nivel de presión total es el mismo.

En cuanto al valor numérico de la sonoridad en sonios los datos no coinciden. El programa de la universidad de Sanford devuelve una sonoridad de 102.28 sonios y nuestro código 80.62 sonios.

Con esto, y tras verificar que el método A programado en el laboratorio es correcto, concluimos que para el estudio de la sonoridad de cualquier sonido es imprescindible el uso de un solo método en todo el proceso para que los valores sean coherentes y válidos.

- Sharpness

El sharpness se ha programado siguiendo el método de Zwicker & Fastl y el método de Bruel.

En este caso la programación es mucho más sencilla que en el caso anterior y los resultados coinciden con los valores obtenidos con los códigos de la universidad de Sanford:

Calcularemos el sharpness del sonido del secador anterior, para ello:

Universidad de Sanford:

En la función debemos introducir la sonoridad específica que nos ha devuelto el programa anterior, el del loudness, ejecutamos:

```
>> [sharp] = sharpness_Fastl(N_single)
```

```
sharp =
```

```
1.9662
```

Códigos del laboratorio:

```
>> [S_fastl, S_bruel]= sharpness(N_single)
```

```
S_fastl =
```

```
1.9662
```

```
S_bruel =
```

```
2.0991
```

NOTA 2: Los códigos implementados en matlab, se presentan en el anexo 2

2.3.5 PULSE

El último y definitivo programa que se ha utilizado ha sido PULSE, un software de Bruel & Kjaer con una aplicación destinada a la calidad sonora.

PULSE ha sido totalmente necesario para la realización de este proyecto, ya que, es el único software evaluado que es capaz de calcular todos los parámetros descritos anteriormente, además devuelve sus valores representados en gráficos tanto respecto el tiempo como de la frecuencia (o barks) lo cual ha facilitado en gran medida la comprensión de dichas métricas.

El uso que se le ha dado ha sido muy específico, nos hemos centrado en aprender y aprovechar sus aplicaciones destinadas a la calidad sonora, pero el software consta de múltiples plataformas especializadas en otros ámbitos de la acústica.

Para hacernos una idea de las capacidades de este programa se ha hecho un tutorial audiovisual (CD1). En él, se explican las herramientas básicas de PULSE para comenzar a trabajar con él en el estudio de calidad sonora.

El tutorial consta de cuatro partes:

1. *Introducción:* es una breve explicación del contenido del tutorial citando sus apartados para que el usuario se sitúe.
2. *Conexión del módulo:* para el uso de PULSE es imprescindible saber utilizar su hardware y, por supuesto, saber como comunicarlo con el programa. En este apartado se explica cómo debe de realizarse la conexión del módulo 3560C de Bruel & Kjaer con el ordenador.
3. *Lab shop:* aprenderemos a capturar y a exportar las señales utilizando Labshop, la plataforma principal de PULSE
4. *Sound Quality:* se explican las herramientas básicas del cálculo de los parámetros de la calidad sonora y cómo realizar ediciones para modificar las características de los sonidos.

3. MÉTODO EXPERIMENTAL

3. MÉTODO EXPERIMENTAL

3.1 Dispositivo experimental

En este apartado citaremos y describiremos todo el material utilizado para la realización del proyecto.

Comenzaremos con los dispositivos usados para la captación de los sonidos de los electrodomésticos y continuaremos con el dispositivo experimental de la grabación del sonido del secador para la implementación del test psicoacústico.

3.1.1 Dispositivo experimental de la captación del sonido de los electrodomésticos

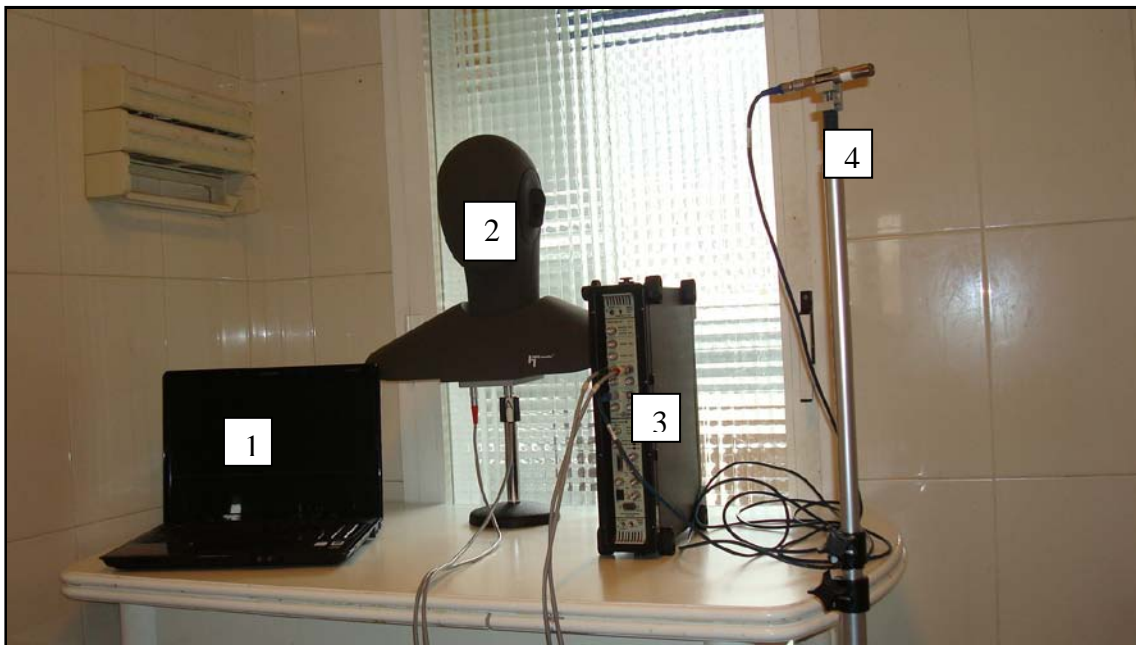


Figura 23: Dispositivo experimental utilizado para grabar los electrodomésticos

1. Ordenador “Compac Presario V6500”

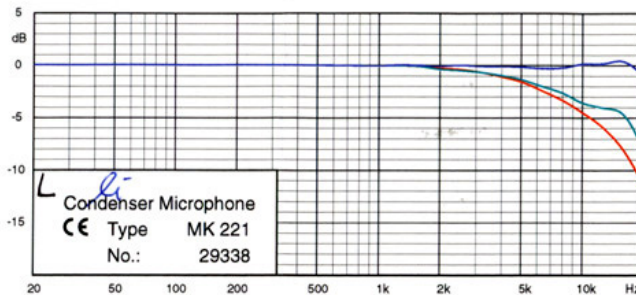
Características

- Sistema operativo: Windows vista
- Modelo: Presario V6500 Notebook PC
- Tipo de procesador: Intel(R) core(TM)2 Duo CPU T5250 @ 1.50GHz
- Memoria RAM: 2 GB

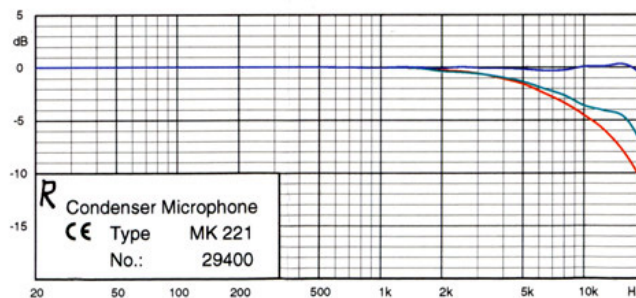
- Memoria ROM: 95 GB
- Tipo de sistema: sistema operativo de 32 bits

2. Cabeza binaural “head acoustica”:

Cabeza binaural HEAD Acoustics, Modelo HSU III, con un micrófono de condensador polarizado a 200 V en cada oído con sensibilidades alrededor de 53 mV/Pa



Calibration Chart
 Sensitivity S_v : -25.5 dB re 1V/Pa
 equivalent to : 52.8 mV/Pa
 Cartridge Capacitance : 16.5 pF
 Calibration Conditions
 Polarization Voltage : 200 V
 Ambient Static Pressure : 94.9 kPa
 Ambient Temperature : 23 °C
 Relative Humidity : 50 %
 Legend:
 - Blue: Zero Degree Incidence
 - Green: Random Incidence
 - Red: Actuator Pressure Response
 Date : 09.09.2003 Signature : *[Signature]*
MICROTECH GEFELL GMBH



Calibration Chart
 Sensitivity S_v : -25.5 dB re 1V/Pa
 equivalent to : 53.0 mV/Pa
 Cartridge Capacitance : 16.5 pF
 Calibration Conditions
 Polarization Voltage : 200 V
 Ambient Static Pressure : 94.9 kPa
 Ambient Temperature : 23 °C
 Relative Humidity : 50 %
 Legend:
 - Blue: Zero Degree Incidence
 - Green: Random Incidence
 - Red: Actuator Pressure Response
 Date : 09.09.2003 Signature : *[Signature]*
MICROTECH GEFELL GMBH

Figura 24: Respuesta en frecuencia de los dos micrófonos de condensador colocados en cada uno de los oídos de la cabeza binaural

3. Interfaz del software PULSE; módulo 3560C.

Características

- Unidad de adquisición de datos portátil, de 17 canales de entrada.
- Funciona con pilas o una fuente de alimentación del tipo 2827.
- Está protegido por una carcasa robusta para un uso diario e industrial.
- Se comunica con el PC mediante un cable LAN cruzado.
- Los ventiladores de refrigeración se puede desactivar para un funcionamiento silencioso



4. Microfono G.R.A.S.

Características

- Tipo: 40 AC
- N° de serie: 6563
- Sensibilidad: 13.76 mV/Pa
- Voltaje de polarización: 200V
- Direccionalidad: omnidireccional
- Respuesta en frecuencia:

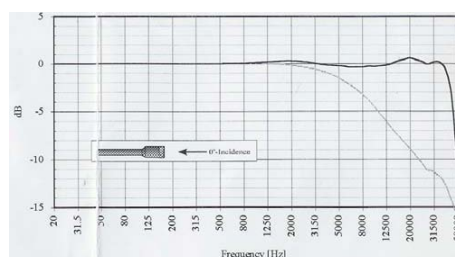


Figura 25: Gráfica de respuesta frecuencial de micrófono G.R.A.S.

5. Softwares

- PULSE Lab shop
- PULSE Sound Quality

3.1.2 Dispositivo experimental de la obtención del sonido del secador

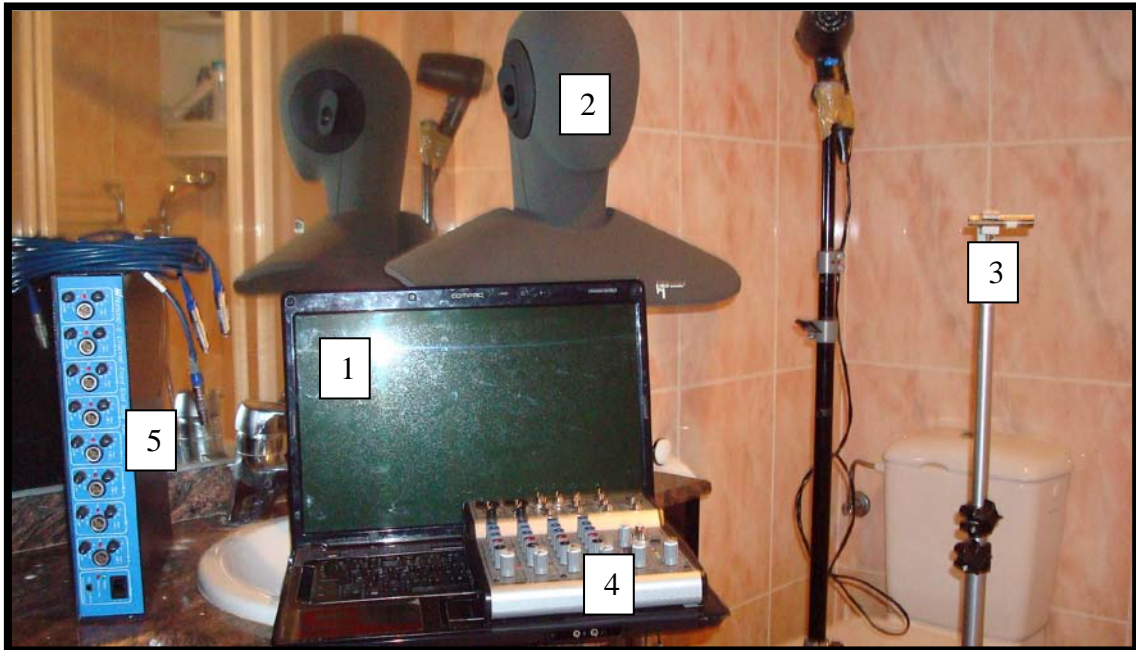


Figura 26: Dispositivo experimental utilizado para grabar el secador.

1. Ordenador "TOSHIBA Satellite"
2. Tarjeta de sonido

VXpocket v2 conectada al portátil mediante Bus Type II PC card. La tarjeta tiene dos entradas analógicas mono balanceadas con convertidores de 24 bits y frecuencia de muestreo de hasta 48 kHz, lo que nos permite obtener una respuesta en frecuencias plana de 20 Hz - 20 KHz.

3. Cabeza binaural "head acoustics":
4. Microfono G.R.A.S.
5. Fuente de alimentation Norsonic 335



6. Mesa de mezclas “berhinger eurorack UB802”

Características

- 2 entradas de micrófono con alimentación phantom 48V
- 2 entradas estereo de linea
- 1 auxiliar.
- Picómetro de LED para el master.
- EQ de 3 bandas en cada canal
- Dimensiones: 47 x 189 x 220
- Peso: 1.05kg



7. softwares

- Nuendo 2

2.3.3 Realización del tutorial de PULSE

Para realizar el tutorial se ha hecho uso del programa “Camtasia Studio 6”, es un programa que permite grabar la pantalla del ordenador en vídeo, es decir, captura todo lo que va ocurriendo por la pantalla y lo guarda en un archivo en formato de vídeo. Además, proporciona todas las herramientas de edición y producción del vídeo.

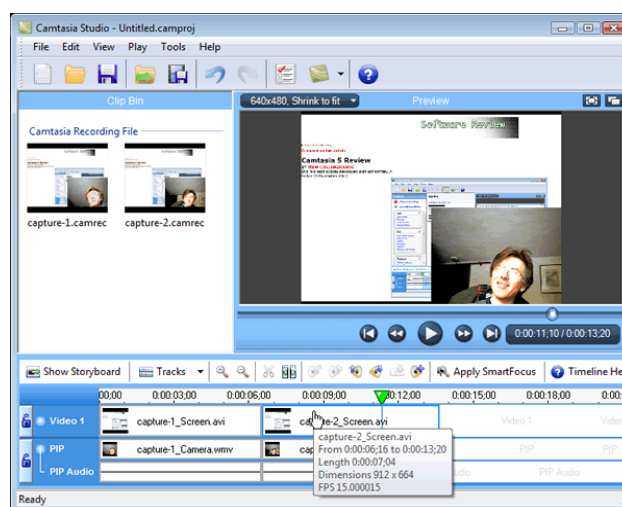


Figura 27: pantalla principal del Camtasia Studio

Para la captura de la voz se han utilizado los siguientes dispositivos:

- 2 Ordenador “Compac Presario V6500 ”
- 3 Tarjeta de sonido “M-audio Fast Track USB”
- 4 Micrófono “Behringer XM 2000S”

Características

- Tipo: micrófono dinámico. Cardioide.
- Impedancia: 250 Ohms.
- Sensibilidad: -74 dB
- Respuesta en frecuencia: 40Hz – 16kHz
- Peso: 120g
- Conector: XLR



3.2 Implementación del test psicoacústico

Tras estudiar teóricamente las bases de la calidad sonora, decidimos realizar un test psicoacústico para reforzar el proyecto con datos subjetivos.

El test realizado tiene como objetivo verificar que la fórmula de Zwicker & Fastl, Psychoacoustics annoyance (PA), que calcula numéricamente el grado de molestia de un sonido, se corresponde a la realidad.

Para ello, el test constará de 4 pruebas, en cada una de ellas, se le presentarán al sujeto 4 sonidos, los cuales tendrá que ordenarlos según su grado de molestia.

En las tres primeras pruebas, serán ruidos rosa editados; en la primera, con valores de sharpness diferentes; en la segunda variará el valor de roughness y en la tercera tendrán diferentes fuerzas de fluctuación. De esta manera, lo que se intenta es que el sujeto, sin saberlo, cuantifique la influencia de cada parámetro en el grado de molestia total.

En la última prueba, en cambio, los sonidos corresponderán a los de un secador de pelo, en este caso variarán todos los parámetros teniendo en cuenta únicamente el PA final.

Con todo esto, se compararán los datos obtenidos con valores objetivos calculados con la fórmula Zwicker & Fastl.

3.2.1 Sonidos del test

Los sonidos que se evalúan deben cumplir una serie de características para que lo sujetos se encuentren cómodos a la hora de realizar el test.

En primer lugar, todas las pistas han sido editadas introduciéndoles un fade in y un fade out a cada una, con esto se evitan ruidos incómodos al comienzo y final de la reproducción de cada sonido.

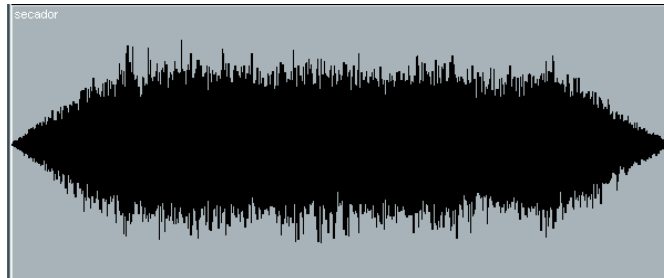


Figura 28: forma de onda de uno de los sonidos del test

Hemos comentado anteriormente que únicamente la cuarta prueba contiene señales grabadas. La grabación, en un principio, se realizó con una cabeza Dummy. Ésta se situó de tal manera que representara el lugar del oyente en un ambiente real, concretamente en un baño.

Se experimentó con diferentes configuraciones para lograr captar un sonido real.



Figura 29: diferentes posiciones de grabación del secador

Finalmente se optó por colocar el secador tras la cabeza Dummy, elevada a 1,5m del suelo y de cara al espejo. De esta manera, se consiguió captar la misma intensidad por los dos micrófonos.



Figura 30: posición definitiva de grabación del secador

Esta configuración fue elegida con el objetivo de crear un ambiente que influyera en la sensación de los sujetos cuando escucharan los sonidos, pero, al modificar los parámetros de la señal mediante modulaciones y diferentes filtros, se perdía totalmente la naturalidad. Además, ciertas modificaciones, como las modulaciones, no podían ser aplicadas a toda la señal estero, si no a cada canal por separado, ya que, el software utilizado no daba esa opción.

Con esto y, teniendo en cuenta que el objetivo del test era el de estudiar la influencia de los distintos parámetros en el grado de molestia de diferentes sonidos, finalmente, se convirtió la señal en monoaural. A pesar de perder la localización de la fuente sonora a la hora de escucharlo, la señal permitía modificaciones útiles para la realización del test.

Las ediciones realizadas mediante la aplicación SOUND QUALITY de PULSE y matlab a cada una de la pistas son las siguientes.

Prueba 1:

Sonido 1: corresponde a un ruido rosa sin modificar.

Sonido 2: es un ruido rosa con un filtro paso altos o rechazo bajos a partir de los 130Hz

Sonido 3: es un ruido rosa con un filtrado que atenúa las altas frecuencias a partir de los 7000Hz.

Sonido 4: es ruido rosa con filtro que atenúa todas las frecuencias menores de 10000Hz.

Prueba 2:

Sonido 1: ruido blanco modulado a 10Hz y un índice de modulación de 50%.

Sonido 2: ruido blanco modulado a 4Hz y un índice de modulación de 100%.

Sonido 3: ruido blanco modulado a 10Hz y un índice de modulación de 100%.

Sonido 4: ruido blanco modulado a 20Hz y un índice de modulación de 100%.

Prueba 3:

Sonido 1: ruido blanco modulado a 20Hz y un índice de modulación de 100%.

Sonido 2: ruido blanco modulado a 70Hz y un índice de modulación de 100%.

Sonido 3: ruido blanco modulado a 200Hz y un índice de modulación de 100%.

Sonido 4: ruido blanco modulado a 500Hz y un índice de modulación de 75%.

Prueba 4:

Sonido 1: sonido original del secador de pelo.

Sonido 2: secador de pelo con un filtro paso alto.

Sonido 3: secador de pelo modulado a 70Hz con un índice de modulación de 75% y atenuando las frecuencias altas.

Sonido 4: secador de pelo modulado a 300Hz con un índice de modulación de 75% y atenuando las frecuencias altas.

Los sonidos pueden escucharse en el CD anexo a este PFC.

Tras las ediciones los valores de calidad sonora de cada uno de los sonidos los siguientes:

1. Prueba 1:

	<i>Sonido11</i>	<i>Sonido12</i>	<i>Sonido13</i>	<i>Sonido14</i>
Loudness	24.6	23.1	24.3	24.5
Sharpness	3.17	3.5	1.82	4.9
Fluctuation stre	1.54	1.47	1.6	1.52
Roughness	2.69	2.72	2.78	2.84
PA	77.9	77.7	68.9	106.4

2. Prueba 2:

	<i>Sonido 21</i>	<i>Sonido 22</i>	<i>Sonido 23</i>	<i>Sonido 24</i>
Loudness	43.5	44.2	44.2	41.6
Sharpness	2.89	2.97	2.96	2.96
Fluctuation strength	2.95	5.29	5.16	4.94
Roughness	3.12	3.44	4.01	5.59
PA	124.4	181.3	174.2	176.8

3. Prueba 3:

	<i>Sonido 31</i>	<i>Sonido 32</i>	<i>Sonido 33</i>	<i>Sonido 34</i>
Loudness	38.5	36.5	37.1	40.3
Sharpness	3.11	3.04	2.96	3.13
Fluctuation strength	1.57	1.77	4.49	1.57
Roughness	3.13	4.69	5.59	2.77
PA	121	133.8	172.5	121.3

2. Prueba 4:

	<i>Sonido 41</i>	<i>Sonido 42</i>	<i>Sonido 43</i>	<i>Sonido 44</i>
Loudness	32.6	32.6	33.5	33.8
Sharpness	2.15	2.15	1.43	2.14
Fluctuation strength	1.53	1.53	1.75	1.67
Roughness	2.67	2.67	4.27	2.95
PA	85.1	85.1	109.9	92.6

3.2.2 Diseño del test mediante matlab

Para realizar el test, hemos utilizado el software matemático MATLAB versión R2007b ya que utiliza un lenguaje de alto nivel y un entorno interactivo que permite realizar tareas de cálculo complejas de forma rápida. Dentro de sus aplicaciones, hemos usado GUIDE que es un entorno de programación visual que permite realizar interfaces gráficas (GUI-s) y ejecutar programas de simulación de forma simple.

Permite crear interfaces de usuario de manera ágil y sencilla. También permite realizar conjuntos de pantallas, con botones, menús, ventanas, etc., generando dos archivos con el mismo nombre para cada pantalla creada: un archivo con extensión *.m* y un archivo con extensión *.fig*.

Estos archivos contienen toda la información básica de la interfaz, el archivo *.fig* contiene las características visuales de los elementos de cada pantalla y el archivo *.m* contiene la parte estructural de la misma, es decir, las funciones que ejecutan cada uno de los elementos que la conforman.

Es a partir de esa función principal para cada pantalla, que se hace un llamado a otras funciones o subrutinas encargadas de realizar cálculos, operaciones o construir gráficos.

Las interfaces creadas para la realización del test constan de funciones muy básicas para lograr un manejo que no resulte complejo al usuario. Todas ellas carecerán de colores u objetos vistosos con el objetivo de no distraer al sujeto y lograr que se centre totalmente en el audio.

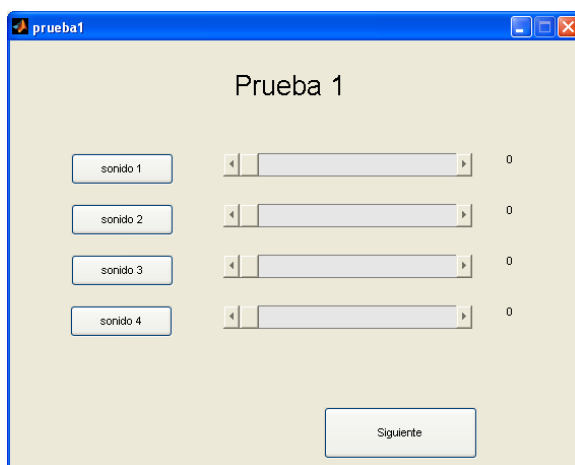


Figura 31: Durante la prueba el sujeto se encontrará con interfaces similares al de la figura... Escuchará los sonidos pulsando en los botones situados en la parte izquierda y los valorará pinchando y arrastrando los sliders.

Gracias al GUIDE de matlab la programación es muy sencilla. Los botones correspondientes a la reproducción de las señales están programados para que lean archivos .wav ubicados en el directorio correspondiente y a continuación los reproduzcan.

Ejemplo:

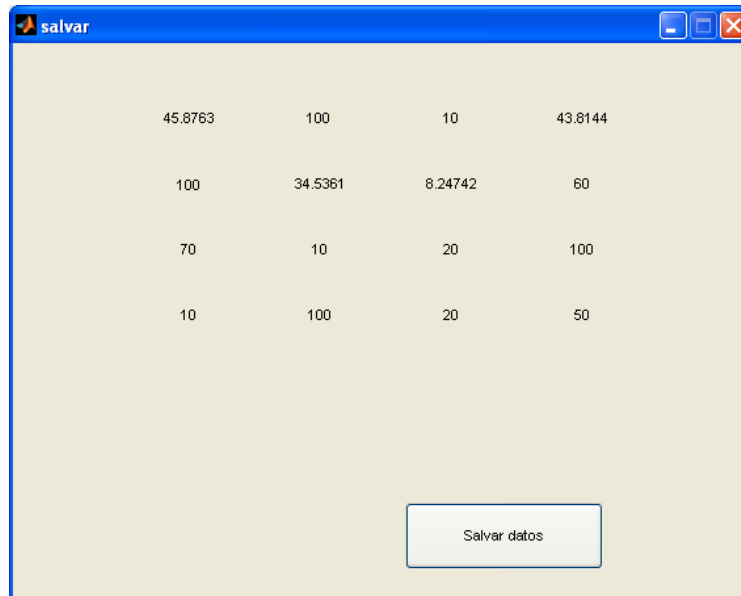
```
function sonido1_Callback(hObject, eventdata, handles)
sonido1=wavread('sonido44.wav');
sound(sonido1,44100);
```

Para valorar lo escuchado, se debe pinchar y arrastrar el slider. Esta programado para que exporte sus datos al cuadro de texto situado a su lado para el individuo pueda visualizar numéricamente su valoración.

Ejemplo:

```
function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.slider1=get(hObject,'Value');           %Carga      en
handles.slider1
%el valor delSlider
handles.slider1=100.*handles.slider1;
set(handles.text1,'String',handles.slider1);    %Escribe  el
valor de
%Slider en statictext
```

Todos los datos se exportan a una interfaz a la que el usuario no puede acceder. En ella se muestran las valoraciones de la última prueba realizada.



45.8763	100	10	43.8144
100	34.5361	8.24742	60
70	10	20	100
10	100	20	50

Salvar datos

Si todo es correcto, pulsando el botón “salvar datos”, se crea un archivo .xls que contiene todos los datos y será exportado a Excel para más tarde ser analizado.

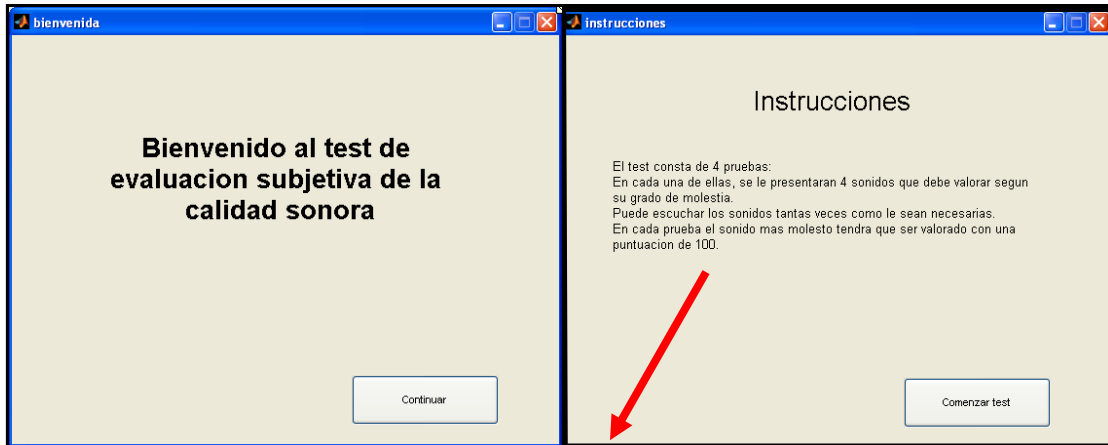
3.2.3 Realización del test

El test se ha realizado a 21 personas todos de 20 a 50 años de edad, por lo tanto, se les presupone una buena capacidad auditiva. Los sujetos no han sido instruidos sobre el test con anterioridad.

Las pruebas no se han realizado en un lugar concreto, ya que, ello suponía el desplazamiento de todos los usuarios hasta el laboratorio. Sin embargo, sí que se ha tenido muy en cuenta las condiciones de las salas, sobre todo, en que hubiera un reducido ruido de ambiente.

A continuación, se presentarán las diferentes interfaces del test para hacernos una idea del proceso de su realización.

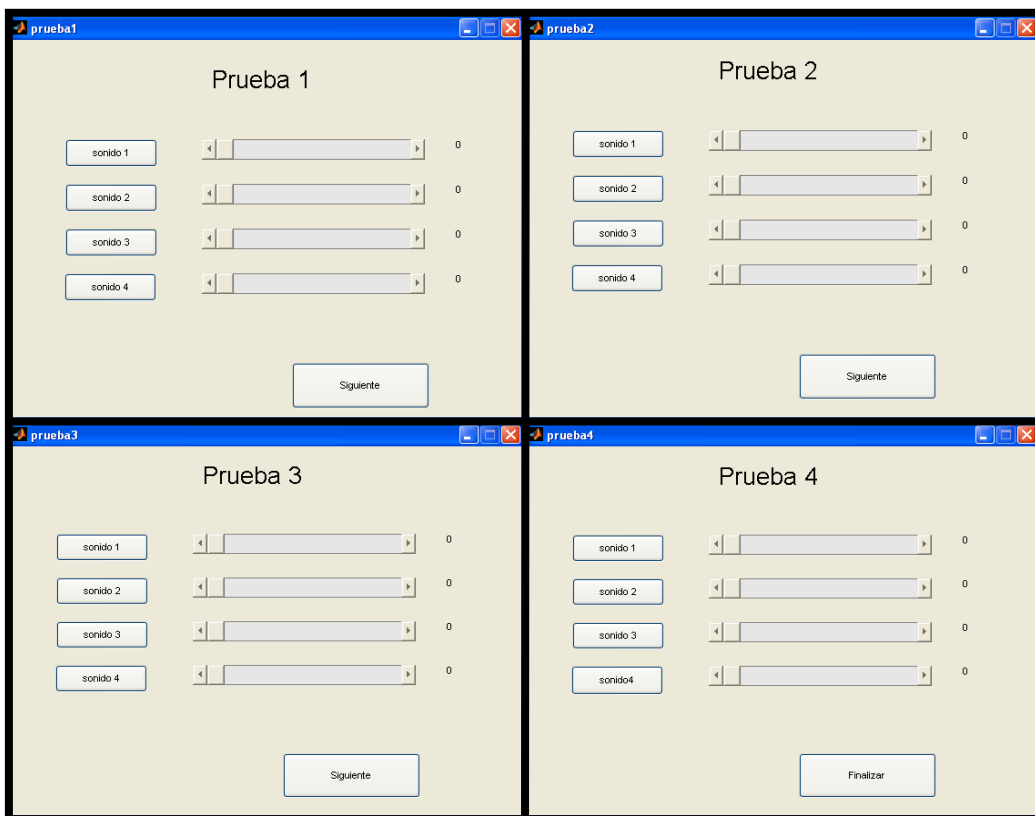
4. En las dos primeras se da la bienvenida al individuo y se le instruye para que realice la prueba adecuadamente.



El test consta de 4 pruebas:
 En cada una de ellas, se le presentaran 4 sonidos que debe valorar segun su grado de molestia.
 Puede escuchar los sonidos tantas veces como le sean necesarias.
 En cada prueba el sonido mas molesto tendra que ser valorado con una puntuacion de 100.

Con esto, el individuo esta preparado para ser evaluado, debe pinchar en el botón “comenzar test “.

2. Las siguientes cuatro diapositivas corresponden a las cuatro pruebas existentes e el test y anteriormente explicadas con detenimiento.



El sujeto escucha los sonidos pulsando los botones “sonido1”, “sonido2”, “sonido3” y “sonido4”.

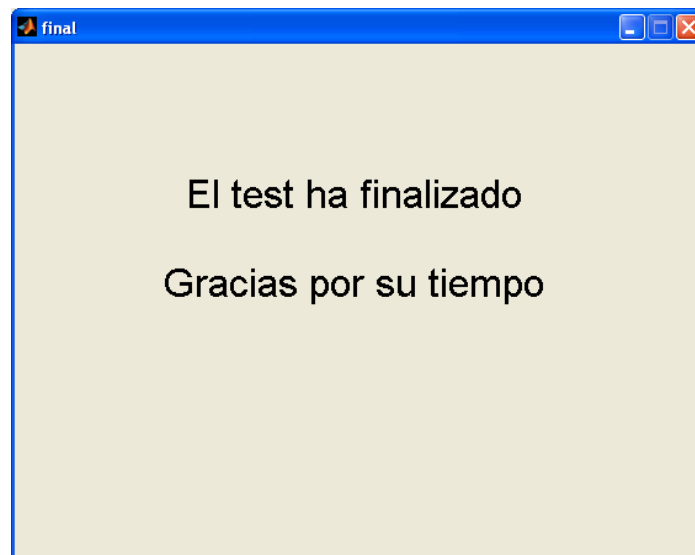
El grado de molestia de cada uno de los sonidos lo determina el sujeto mediante los sliders, dándole siempre un valor de 100 al más molesto.



Cuando el usuario no valora ninguno de los sonidos de una prueba con valor 100, se le presenta el siguiente mensaje de error para recordarle que debe hacerlo. Al pulsar OK vuelve a la prueba anterior para que la realice correctamente.



4. Y por último, se agradece al sujeto el tiempo dedicado al estudio de la calidad sonora presentándole el siguiente interfaz.



4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Estudio de la calidad sonora de electrodomésticos

Antes de comenzar a analizar los resultados del estudio realizado en el proyecto, creo que es conveniente familiarizarnos con los parámetros. Para ello, se han grabado algunos sonidos emitidos por electrodomésticos y se han calculado los valores de loudness total, sharpness, roughness y fuerza de fluctuación.

Para hacernos una idea del grado de molestia de cada uno de estos sonidos, se ha calculado el PA, mediante la fórmula facilitada por Zwicker y Fastl.

Los sonidos de la tabla 4 han sido grabados mediante cabeza binaural a 1m de distancia y a 1,5m del suelo.

Los de la tabla 5, en cambio, se grabaron con un micrófono G.R.A.S. a pocos centímetros de la fuente. Este hecho se refleja en los valores obtenidos, ya que, tanto el loudness como el PA son mayores en todos los casos menos en el de la lavadora. El loudness de este sonido obtenido por el GRAS es mayor, sin embargo el PA disminuye. Esto se debe a que el sharpness del sonido obtenido por el GRAS es menor, y hace que disminuya el grado de molestia.

Es curioso observar que prácticamente en todos los casos, ningún parámetro varía con la distancia de la fuente, excepto la sonoridad. Por lo tanto el parámetro que más afecta al grado de molestia en este caso es el loudness.

Tabla 4: parámetros de calidad sonora de los electrodomésticos grabados con cabeza binaural

	Loudness (sonios)	Sharpness (acum)	Roughness (asper)	Fluctuation strength (vacil)	PA
	<u>Left/ right</u> <u>Promedio</u>	<u>Left/ right</u> <u>Promedio</u>	<u>Left/ right</u> <u>Promedio</u>	<u>Left/ right</u> <u>Promedio</u>	
Lavadora centrifugando	22.7 23.1 22.9	2.19 2.17 2.18	2.93 2.95 2.94	2.54 2.56 2.55	74.1
Campana fuerte	27.5 27.8 27.6	1.69 1.73 1.71	2.57 2.54 2.55	1.55 1.56 1.55	78.28
Campana media	22.9 23.3 23.1	1.66 1.7 1.68	2.61 2.57 2.59	1.65 1.57 1.61	60.63
Aspiradora	36.9 37.4 37.15	2.08 2.03 2.05	2.47 2.49 2.48	1.62 1.5 1.56	86.41
Microondas	12 13.3 12.6	1.63 / 1.56 1.59	2.81 / 2.66 2.73	1.68 / 1.6 1.64	39.65

Tabla 5: parámetros de calidad sonora de los electrodomésticos grabados con un micrófono G.R.A.S

	Loudness (sonios)	Sharpness (acum)	Roughness (asper)	Fluctuation strength (vacil)	PA
Lavadora centrifugando	24.2	1.98	2.72	2.21	71
Campana fuerte	49.3	1.57	2.49	1.49	105.14
Campana media	41.6	1.54	2.51	1.52	92.73
Aspiradora	41	1.93	2.26	1.34	86.76
microondas	16.9	1.82	2.76	1.55	48.53

4.2. Análisis de los resultados del test

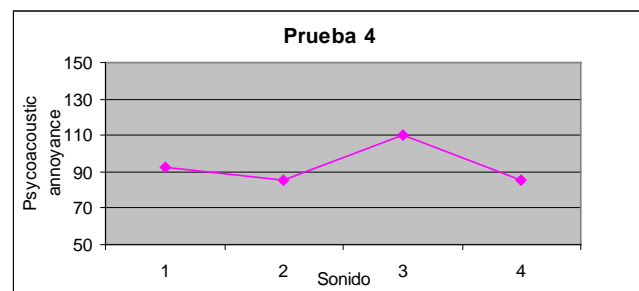
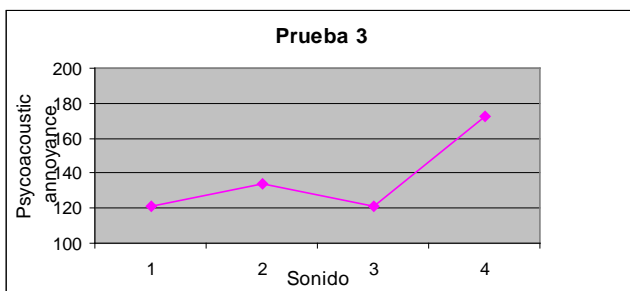
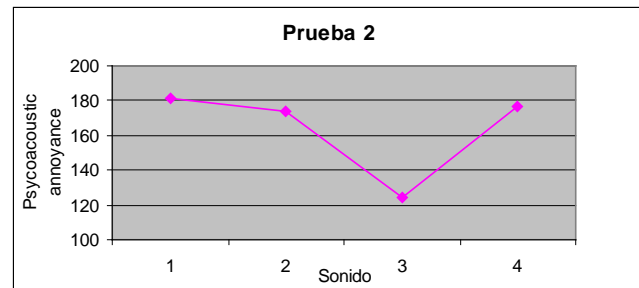
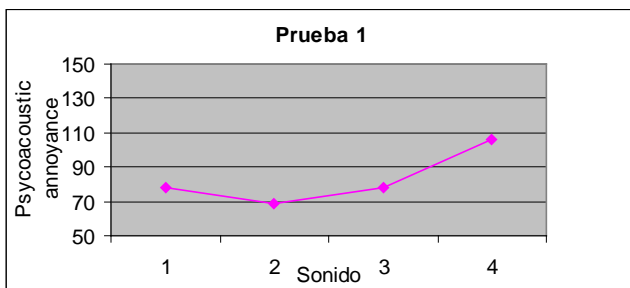
4.2.1. Análisis de datos objetivos

Antes de comenzar el análisis comparando los datos objetivos con los subjetivos vamos a mostrar todos los resultados obtenidos mediante la fórmula de Zwicker & Fastl. De esta manera, nos familiarizaremos con los gráficos que se van a mostrar y tendremos una base para abordar mas tarde los datos obtenidos de los test.

Los grados de molestia de cada uno de los sonidos se han representado en cuatro gráficos, uno por cada prueba.

Tabla 6: Valores objetivos del PA de cada sonido

	valor de Psychoacoustic annoyance objetivo			
	sonido1	sonido2	sonido3	sonido4
prueba1	77,90	68,90	77,70	106,20
prueba2	181,30	174,20	124,00	176,80
prueba3	121,00	133,80	121,30	172,50
prueba4	92,60	85,10	109,90	85,10



Las escalas de los ejes no son las mismas en todos los gráficos, por lo tanto, hay que fijarse en ellas a la hora de evaluar los datos.

Ya hemos comentado que cada una de las pruebas se centra en el estudio de uno de los parámetros:

Prueba 1: consta de cuatro sonidos en los que el único parámetro que varía es el sharpness.

Prueba 2: en este caso la métrica variable es la fuerza de fluctuación.

Prueba 3: en esta prueba se estudia la influencia del roughness.

Prueba 4: es un mismo sonido con cuatro ediciones diferentes de manera que varían todos los parámetros.

Es interesante recordar la formula del PA que nos indica que el aumento de cualquier parámetro supone el incremento del grado de molestia del sonido. A continuación evaluaremos este hecho en cada una de las pruebas.

Los valores de sharpness de los primeros cuatro sonidos son los siguientes:

	<i>Sonido 11</i>	<i>Sonido 13</i>	<i>Sonido 12</i>	<i>Sonido 14</i>
Sharpness	3.17	1.82	3.5	4.9

Antes de nada debemos de tener claro el orden en el que aparecen los sonidos en la tabla y en el gráfico. En tabla, “Sonido 11”, “Sonido 12”, “Sonido 13” y “Sonido 14” son los nombres correspondiente al archivo de cada sonido y en el test se presentan en primer lugar “Sonido 11” y le siguen “Sonido 13”, “Sonido 12” y “Sonido 14”. Por lo tanto el orden de la tabla se corresponde con el de los gráficos.

Vemos claramente, que efectivamente una disminución del sharpness implica un decremento en el valor del PA, incluso parece que los cambios bruscos en el valor de la métrica originan variaciones bruscas en el grado de molestia y viceversa.

Evaluando numéricamente (tabla 6) cada valor de molestia de la prueba 1, vemos como el primer sonido es menos agradable que el tercero teniendo que ser teóricamente lo contrario. Esto, puede deberse a que la diferencia entre los sharpness de cada sonido es muy pequeña y la influencia de las otras métricas ha sido inevitable.

Continuamos mostrando los datos de la segunda y tercera prueba:

	<i>Sonido 22</i>	<i>Sonido 23</i>	<i>Sonido 21</i>	<i>Sonido 24</i>
Fluctuation strength	5.29	5.16	2.95	4.94

	<i>Sonido 31</i>	<i>Sonido 32</i>	<i>Sonido 34</i>	<i>Sonido 33</i>
Roughness	3.13	4.69	2.77	5.59

Fijándonos en sus correspondientes gráficos podemos apreciar y hacer una valoración idéntica a la de la primera prueba, el grado de molestia aumenta cuando incrementa el valor del parámetro.

Con esto, concluimos que en principio y, antes de comparar estos datos con los resultados subjetivos, la expresión del PA es válida y su fórmula de proporcionalidad es correcta:

$$PA \sim N \left(1 + \sqrt{[g_1(S)]^2 + [g_2(F, R)]^2} \right)$$

Comentar que en este apartado no hemos evaluado la cuarta prueba, ya que, sus sonidos han sido editados sin tener en cuenta ningún parámetro concreto, por lo tanto, evaluar la influencia de cada uno de ellos no tendría sentido.

4.2.2. Análisis de datos objetivos

En este apartado del análisis, mostraremos los gráficos de resultados de los test. Se representarán, junto con la media, los recorridos intercuantiles de cada uno de los sonidos de cada prueba, lo cual nos dará una idea de la dispersión de los datos utilizados para el cálculo de la media.

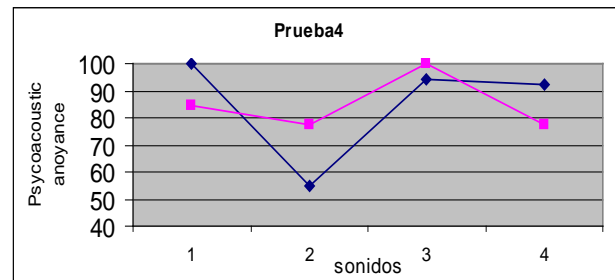
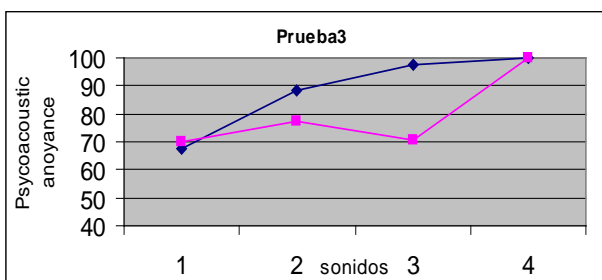
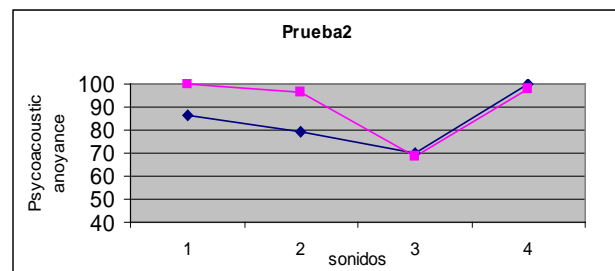
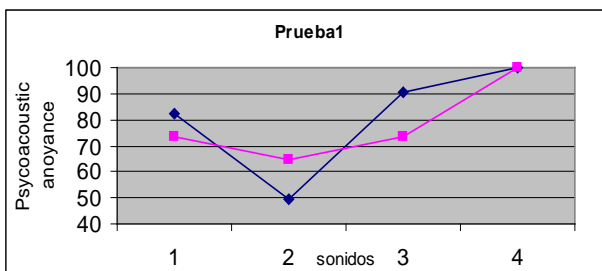
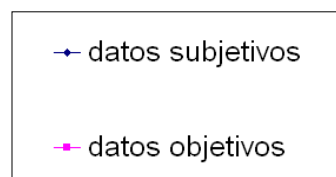
Cabe destacar, el hecho de que el sonido 2 y 4 de la última prueba son idénticos y los grados de molestia correspondientes distan en un 40%. Esto puede darse a que el oído no es capaz de recordar el grado de molestia de un sonido.

En cuanto a los recorridos intercuantiles se aprecia que la dispersión es bastante grande en la mayoría de los casos, lo cual nos indica que los sujetos no coincidieron a la hora de asignar el grado de molestia a cada sonido. Sin embargo, durante el análisis de los resultados trabajaremos con las medias calculadas.

4.2.3. Comparación de datos subjetivos con objetivos

En este apartado vamos a comparar los datos que hemos evaluado anteriormente con los datos obtenidos en el test, es decir, valores subjetivos. Para ello, haremos uso de gráficos similares a los del apartado anterior, pero se representarán conjuntamente los datos objetivos con los subjetivos.

Se debe tener en cuenta que para una más fácil comparación de los datos tanto objetivos como subjetivos se han normalizado de tal manera que el sonido de mayor molestia tome el valor 100

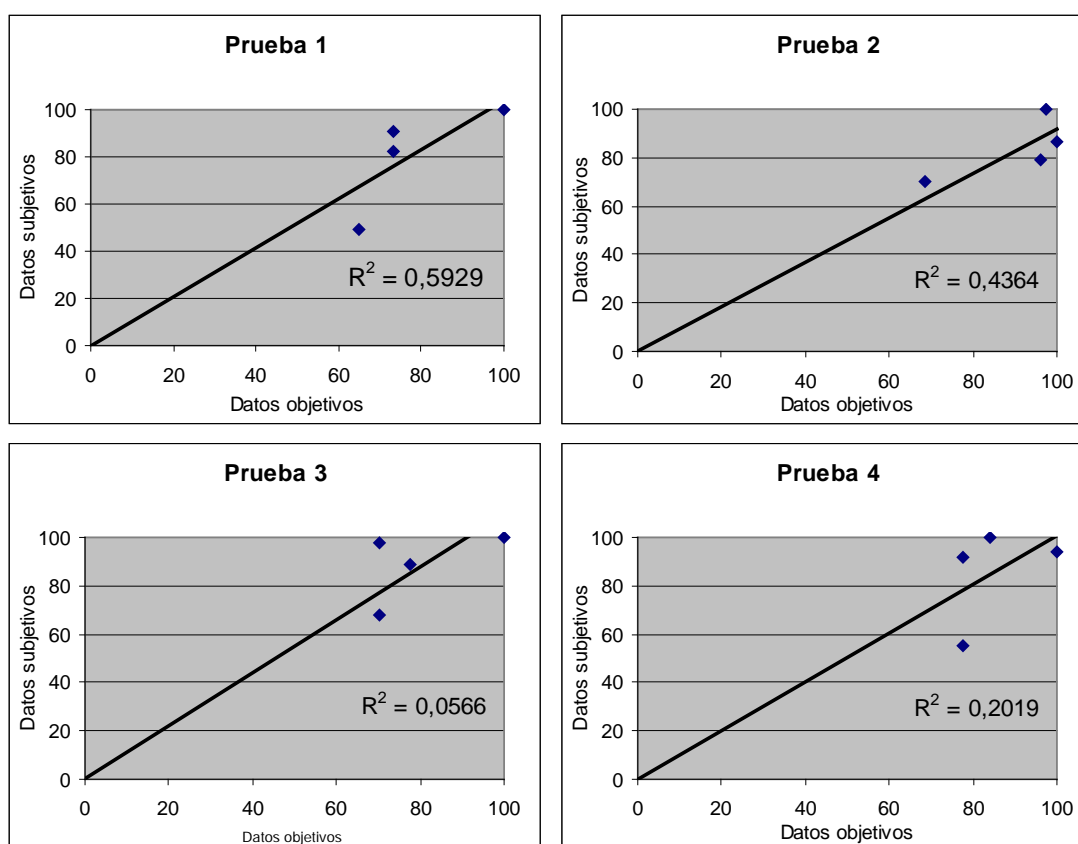


En primer lugar, es interesante comentar que ningún PA objetivo toma valores menores que 50, lo cual implica que hemos trabajado con sonidos muy poco agradables y eso también lo reflejan los datos subjetivos, es decir, los sujetos han clasificado los sonidos como bastante molestos.

Fijándonos en la forma de los gráficos, exceptuando la relación entre el sonido 2 y 3 de la segunda y tercera prueba, son bastante similares, de forma que cuando el grado de molestia disminuye en los datos objetivos ocurre lo mismo con los subjetivos. Este hecho se estudiará más tarde con más detenimiento y con otro tipo de análisis.

No obstante, siendo más precisos, la diferencia numérica de los grados de molestia es considerable en la mayor parte de los sonidos. Hemos comentado que la reducción de molestia en los datos objetivos también se refleja en los datos subjetivos, pero, por ejemplo, en la relación entre el primer y segundo sonido de la prueba 1, según la fórmula del PA el grado de molestia se reduce un 10% mientras que en los datos subjetivos se aprecia una disminución de casi el 35%. Este hecho se da en la mayoría de los casos, por lo que, se puede concluir que no hay una gran correlación entre los dos tipos de datos.

Para verificar esta última conclusión, se han calculado los gráficos de dispersión de cada una de las pruebas:



En cada uno de los gráficos se ha dibujado la línea de tendencias y se ha calculado el índice de correlación que en los cuatro casos es muy bajo. Por lo tanto, verificamos que los datos no coinciden.

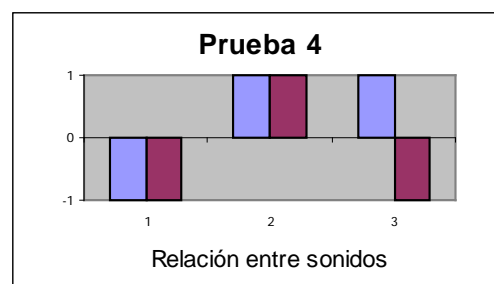
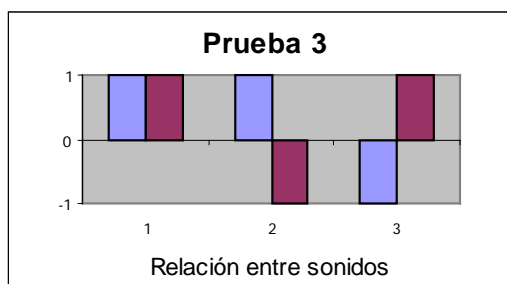
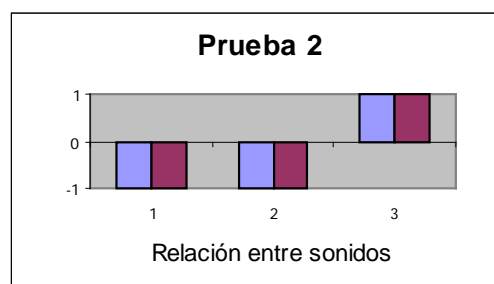
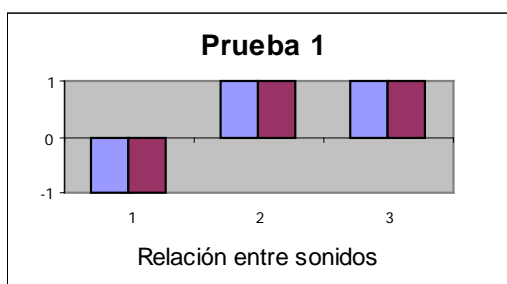
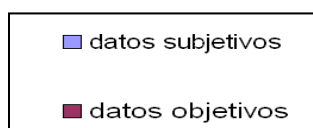
Esto podría darse por un hecho comentado anteriormente, todos los sonidos resultan muy molestos y, esto hace, que todos los puntos se sitúen en la parte superior derecha del gráfico imposibilitando el trazo de una línea recta que los relacione.

Viendo los resultados obtenidos podríamos decir que la fórmula del PA no se adapta a la realidad, pero, quizá, teniendo en cuenta que el proyecto es una introducción a la calidad sonora, hemos querido hilar demasiado fino comparando valores numéricos de datos objetivos y subjetivos. Por lo tanto, vamos a interpretar los resultados de una manera más sencilla.

A continuación analizaremos las variaciones del grado de molestia de los sonidos consecutivos de cada prueba, es decir, estudiaremos si la mayoría de individuos sometidos al test opinan, por ejemplo, que el primer sonido de la primera prueba es más molesto o menos molesto que el segundo y este resultado lo compararemos con los datos objetivos. Este análisis se realizará para la relación entre los sonidos 1-2, 2-3, y 3-4 de cada prueba.

Los resultados se representarán en una gráfica en la que el eje X contendrá la relación entre sonidos y el eje Y nos indicará si la molestia aumenta o disminuye. Si el grado de molestia crece tomará el valor 1 y si decrece el -1

Los siguientes gráficos se corresponden a cada una de las cuatro pruebas del test.



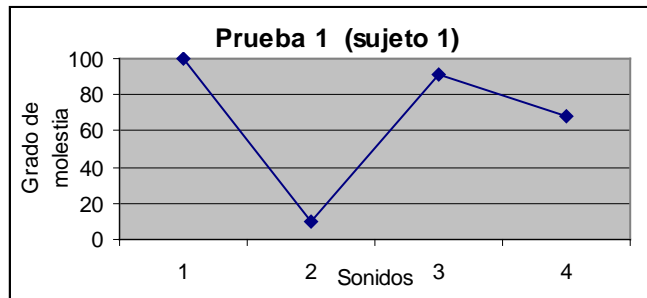
Se aprecia claramente que en las dos primeras pruebas del test la decisión de la mayoría de los sujetos coincide con los datos objetivos, mientras que en las dos últimas pruebas los datos no coinciden totalmente. Recordar que la prueba 1 estudia la influencia del sharpness, la prueba 2 la de la fuerza de fluctuación, la 3 la del roughness y la última contiene sonidos con la variación de todos los parámetros.

En principio, tan solo fijándonos en los gráficos, podríamos concluir que los parámetros de sharpness (parámetro que varía en la primera prueba) y fuerza de fluctuación (parámetro que varía en sonidos de la segunda prueba), influyen en gran medida a la hora de determinar el grado de molestia de un sonido, mientras que los otros parámetros son menos influyentes, creando confusión en el sujeto a la hora de evaluarlos.

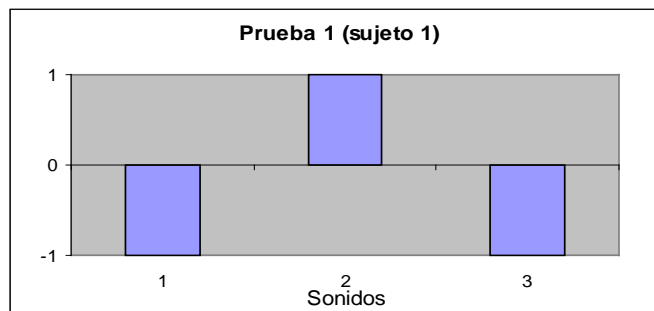
Por otra parte, y confiando en los datos subjetivos, ya que, deberían ser los que reflejan la realidad, se podría llegar a la conclusión de que la fórmula del PA facilitada por Zwicker & Fastl no es del todo correcta, ya que, en ocasiones los valores que devuelve no coinciden con los datos subjetivos obtenidos.

Por último, viendo que los resultados de los dos métodos de cálculo no coinciden y teniendo en cuenta que este proyecto ha sido realizado sin haber hecho ningún experimento anteriormente, cabría pensar que el diseño del test no es el más adecuado, que los sonidos no han sido sometidos a ediciones correctas o además de ambas cosas la fórmula del PA no es totalmente correcta.

Llegados a este punto y asumiendo que el diseño del test podría optimizarse, es interesante que este análisis de resultados se aborde de forma diferente. Se ha realizado un análisis de fiabilidad del test mediante la prueba de Chi cuadrado. Esta, teniendo en cuenta el número de personas sometidas al test y la cantidad de individuos que se decantan por una u otra decisión, devuelve el grado de fiabilidad de las estadísticas obtenidas mediante los resultados del test diseñado. Es decir, en nuestro caso, hemos obligado a los sujetos a que evaluaran el grado de molestia de cuatro sonidos, por ejemplo:



Fijándonos en la gráfica es obvio deducir que su representación de la relación de molestia entre sonidos consecutivos será la siguiente:



Sin embargo, no podemos saber con total certeza si el sujeto dudó sobre la diferencia del grado de molestia de alguno de los sonidos y, en consecuencia respondió al azar. Esto, invalidaría por completo la prueba.

Por lo tanto, el objetivo de realizar el test Chi cuadrado es el de verificar que todos los resultados son estadísticamente significativos.

4.3. Análisis de la fiabilidad del test

4.3.1. El test de Chi cuadrado

Como es el primer test sobre calidad sonora implementado en el laboratorio de acústica, tras obtener los resultados y haberlos analizado, es interesante valorar su grado de fiabilidad en cuanto al número de personas que se han sometido al test, si los sonidos son los apropiados e incluso si los parámetros, como PA, estudiados anteriormente de una manera totalmente teórica son los adecuados y se corresponden a la realidad.

En primer lugar, realizaremos el test Chi cuadrado para verificar que los resultados obtenidos en las gráficas correspondientes a las relaciones entre sonidos consecutivos son estadísticamente significativos. Con esto, podremos decir si los sujetos han valorado las variaciones del grado de molestia al azar o lo han hecho convencidos de su decisión. Esta prueba devolverá un porcentaje de fiabilidad, nosotros consideraremos estadísticamente significativos, aquellos que superen el 95% que se corresponde con el valor de 3,35 de la fórmula Chi cuadrado.

La tabla de abajo muestra los resultados del test Chi cuadrado para cada relación de sonidos consecutivos para todas las pruebas. En las celdas correspondientes a “Resultado del test Chi cuadrado” especifica qué datos subjetivos serán estadísticamente significativos y serán validos para futuras conclusiones.

Tabla 7: Valores del test de Chi cuadrado

	Sonidos 1-2		Sonidos 2-3		Sonidos 3-4	
	Porcentaje de significación estadística (%)	Resultado del test Chi cuadrado	Porcentaje de significación estadística (%)	Resultado del test Chi cuadrado	Porcentaje de significación estadística (%)	Resultado del test Chi cuadrado
Prueba 1	99.5	8.047 Fiable	99.5	10.71 Fiable	10	0.04 No fiable
Prueba 2	10	0.047 No fiable	10	2.33 No fiable	99.5	10.71 Fiable
Prueba 3	99.5	8.047 Fiable	10	2.33 No fiable	10	0.42 No fiable
Prueba 4	99.5	13.76 Fiable	97.5	5.76 Fiable	10	1.19 No fiable

Teniendo en cuenta la tabla 7 y sabiendo cual de los datos obtenidos es fiable, podemos concluir que los sujetos tenían clara la diferencia entre los dos primeros sonidos de la prueba 1. Sin embargo, fijándonos en el porcentaje de significación estadística de la relación entre los sonidos 3-4 se podría decir que dudaron a la hora de responder.

Este hecho tiene relación con el porcentaje de variación en el grado de molestia de los sonidos consecutivos.

Tabla 7: diferencia porcentual entre sonidos consecutivos

	Sonidos 1-2		Sonidos 2-3		Sonidos 3-4	
	Porcentaje de variación (%)	Resultado del test Chi cuadrado	Porcentaje de variación (%)	Resultado del test Chi cuadrado	Porcentaje de variación (%)	Resultado del test Chi cuadrado
Prueba 1	27	Fiable	34	Fiable	8	No fiable
Prueba 2	6	No fiable	8	No fiable	24	Fiable
Prueba 3	16	Fiable	8	No fiable	2	No fiable
Prueba 4	38	Fiable	33	Fiable	2	No fiable

Esta segunda tabla muestra que todas las pruebas fiables superan, en la diferencia porcentual de la sensación de molestia de los sonidos, un 16%. Por lo tanto, se puede llegar a la conclusión de que con la prueba del Chi cuadrado hemos logrado hallar la variación mínima en el grado de molestia de un sonido para que sea fácilmente perceptible, es decir, el JND.

A pesar de ello, hemos comentado anteriormente que una prueba se considera fiable cuando su porcentaje de significación estadística supera el 95%. Este porcentaje corresponde a un valor del Chi cuadrado de 3,35. Por lo tanto, para hallar un JND más preciso se ha ajustado una curva en un gráfico (figura 32) que relaciona el valor de Chi cuadrado con la diferencia porcentual subjetiva entre sonidos consecutivos. La correlación de la curva es de 0.89, por lo tanto se considera una aproximación aceptable.

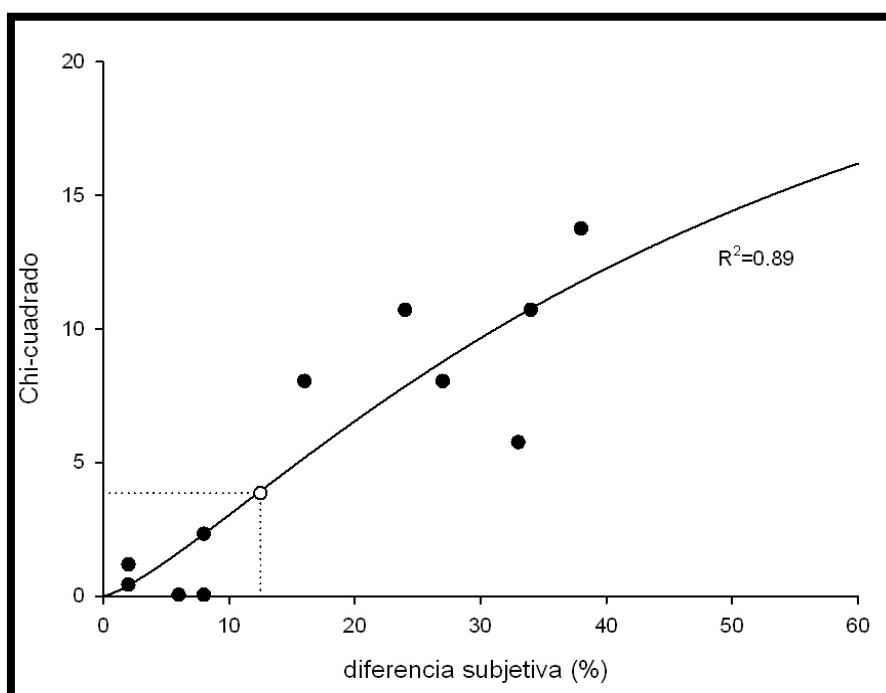


Figura 32: relación entre el valor de Chi cuadrado y la diferencia porcentual subjetiva entre sonidos consecutivos.

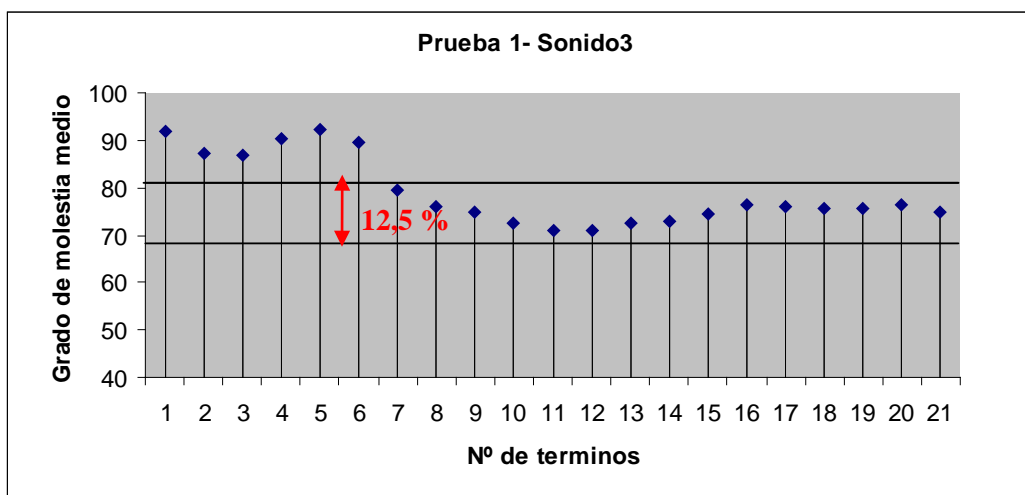
Con esta curva, finalmente podemos concluir que esa variación mínima en el grado de molestia de un sonido para que sea fácilmente perceptible debe ser del 12,5%.

4.3.2. Cálculo del número mínimo de sujetos que deben ser sometidos al test.

Una vez que hemos calculado esa variación mínima entre sonidos para que los resultados de las pruebas sean correctos, también podemos saber si el número de individuos sometidos al test ha sido suficiente para que las medias obtenidas sean correctas o si estas variarían si la cantidad de sujetos aumentara.

Para ello se han calculado las medias acumuladas de todas las pruebas y se han representado en gráficos (anexo 3). Cada uno de ellos tiende a un valor que corresponde a una media final que se lograría si sometiésemos al test a infinitas personas.

Por otra parte, al último dato de cada uno de los gráficos, se ha aplicado un margen de error correspondiente al valor obtenido mediante el proceso del test de Chi cuadrado, es decir, el error será la variación mínima en el grado de molestia de un sonido para que sea fácilmente perceptible, una variación del 12,5%, y se han trazado dos líneas horizontales en esos valores, tal y como se muestra en la siguiente gráfica.



El último valor del eje x que se encuentre fuera de las dos líneas horizontales más 1, será el número de individuos mínimo que se debe someter a la prueba para lograr datos validos en cuanto a promedios de los resultados de todos los sujetos.

Para lograr una media fiable para el sonido 3 de la primera prueba representada en la gráfica “Prueba 1- sonido 3” serán necesarios al menos 7 individuos.

En la siguiente tabla se muestran los resultados para cada una de las medias realizadas en el test, estas corresponden a cada sonido evaluado:

	Nº mínimo de sujetos necesarios que deben realizar cada evaluación			
	Sonido 1	Sonido 2	Sonido 3	Sonido 4
Prueba 1	16	8	7	7
Prueba 2	12	9	9	12
Prueba 3	14	2	11	5
Prueba 4	6	9	7	13

El mayor número de individuos lo requiere el primer sonido de la tercera prueba, un total de 16. Nuestro test lo han realizado 21 personas, por lo tanto han sido suficientes.

4.4. Conclusiones de los análisis

Una vez analizados los resultados del test subjetivo, podemos decir que, el objetivo principal con el que fue diseñado no se ha cumplido, ya que, la prueba de Chi cuadrado nos ha demostrado que nuestros datos no pueden no ser estadísticamente significativos en todos los casos..

El objetivo era el de demostrar que la fórmula de Zwicker & Fastl se corresponde con la realidad. En mi opinión, llegados a este punto, creo que en esta introducción a la calidad sonora, teníamos que haber estudiado aspectos más básicos como, por ejemplo, el grado de molestia que es originado a los sujetos por dos sonidos diferentes, estudiar la influencia de un único parámetro con el objetivo de entenderlo totalmente, una clasificación de sonidos con PA diferentes... pero todo ello sin compararlo con datos objetivos.

No obstante, gracias a nuestros errores y, a pesar de que no fuese nuestro objetivo, hemos logrado obtener la variación mínima necesaria en el grado de molestia de un sonido para que sea fácilmente perceptible. Sin duda este es un dato muy interesante para estudiarlo en futuros proyectos de calidad sonora.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

- Destacar la escasez de bibliografía existente sobre la calidad sonora que constata que este ámbito de la acústica aun no es muy demandado.
 - Por esa misma razón, el número de softwares de evaluación de la calidad sonora es también reducido.
 - No obstante, se ha utilizado PULSE, un programa potente capaz de realizar cálculos relacionados con múltiples ámbitos de la acústica, y una plataforma especializada en la calidad sonora.
 - Con PULSE se han captado sonidos, se han editado y se han calculado parámetros como loudness, sharpness, roughness y fluctuation strength.
- Anteriormente a PULSE, se han evaluado una serie de programas que han sido descartados.
 - Win-MLS: únicamente es capaz de calcular el loudness específico de los sonidos.
 - Códigos implementados en la universidad de Sanford: son códigos muy elaborados que calculan la sonoridad y el sharpness. A pesar de ello, no es suficiente para un estudio completo de la calidad sonora.
 - Psysound 3: Es un programa muy completo, pero no calculaba uno de los parámetros que nos interesaba, la fuerza de fluctuación.
- Se han programado códigos en matlab (anexo 2) que calculan la sonoridad y el sharpness.
 - Se ha comprobado la complejidad de la programación del cálculo de los parámetros de calidad sonora.
- El cálculo de estos parámetros estudiados no está estandarizado (excepto el cálculo de la sonoridad, anexo 1), lo cual hace que un estudio de la calidad sonora no sea totalmente preciso.
- Se ha puesto en marcha el equipo de medida para medir sonidos de electrodomésticos.
 - Se ha observado que los parámetros, exceptuando el loudness, casi no varían con la distancia. El loudness disminuye al aumentar la distancia.
- Para la realización del test, se han editado sonidos haciendo uso de las herramientas de PULSE.

- Se ha constatado la dificultad de variar uno de los parámetros de la calidad sonora de un sonido sin que los demás se vean afectados.
- Este hecho ha dificultado en gran medida la edición de los sonidos del test.

- Tras el análisis de los resultados obtenidos, no se puede afirmar que la fórmula de psychoacoustic annoyance devuelva valores que reflejen los datos subjetivos.
 - El test que se realice debe ser sencillo y con un objetivo claro.
 - Se ha obtenido el número mínimo de sujetos que deben someterse a este tipo de test. Un mínimo de 16.
 - Se ha obtenido la variación mínima necesaria en el grado de molestia de un sonido para que sea fácilmente perceptible, 12,5%.

6. ANEXOS

ANEXO 1

Método de cálculo del nivel de sonoridad UNE 74-014-78

Instituto Nacional de Racionalización y Normalización (IRANOR) - Serrano, 150 - Madrid (6) - Teléfono 261 70 00 - Reproducción prohibida

NORMA ESPAÑOLA	Método de cálculo del nivel de sonoridad	UNE 74-014-78
---------------------------	---	--------------------------

0 INTRODUCCION

Es frecuentemente deseable obtener un solo valor para expresar la sonoridad o el nivel de sonoridad de un sonido dado. Dicho valor se puede calcular si se dispone de análisis en frecuencia del sonido obtenido a partir de medidas físicas. Se debe admitir sin embargo que este valor se calcula mediante un procedimiento estadístico, es decir, que contiene menos información que las medidas de análisis en frecuencia que han servido para determinarlo.

Este análisis se efectúa generalmente en bandas de octava o de tercio de octava. Los sonidos cuyo espectro es función de la frecuencia no presentan discontinuidades bruscas, se pueden representar convenientemente mediante un análisis en bandas de octava, pero los sonidos que contenga dichas discontinuidades exigirían un análisis en bandas de tercio de octava para ser descritos convenientemente.

La presente norma especifica dos métodos de cálculo de la sonoridad y del nivel de sonoridad de un sonido complejo, que difieren entre sí no sólo en el método de análisis del sonido, sino también en los principios del cálculo. El primer método (*Método A*) utiliza medidas físicas obtenidas mediante análisis en frecuencias en bandas de octava. El segundo (*Método B*) utiliza análisis en bandas de tercio de octava.

Además de la diferencia en cuanto al ancho de banda utilizado para las medidas físicas de partida, los dos métodos difieren en otros aspectos y los resultados obtenidos no siempre coinciden. El *método B* proporciona en general valores ligeramente superiores a los obtenidos

por el *método A* para los mismos sonidos, pudiendo ser la diferencia del orden de 5 fonios; si bien el *método B* parece que considera mejor las variaciones en los sonidos en cuya composición espectral predominan bandas estrechas de frecuencia.

A las cantidades calculadas mediante uno u otros métodos deberá asignárseles una denominación específica correspondiente a uno u otro de los métodos, según el sistema de símbolos y abreviaturas dados en la *Tabla I*.

Tabla I

Asignación de símbolos y abreviaturas para el cálculo de sonoridad y niveles de sonoridad

Método	Magnitud medida		Ancho de banda utilizado para el análisis	Campo acústico
	Sonoridad	Nivel de sonoridad		
A	Sonios (OD)	Fonios (OD)	Octava	Difuso
B	Sonios (GD)	Fonios (GD)	1/3 de octava	Difuso Libre
	Sonios (GF)	Fonios (GF)		



Continúa en páginas 2 a 17.

Las observaciones relativas a la presente norma deben ser dirigidas al IRANOR - Serrano, 150 - Madrid (6)	Concuerta con: ISO 532-1975
--	--------------------------------

UNE 74-014-78 Method for calculating loudness level
Methode de calcul niveau d'isotonie

Depósito legal: M 30716-78

Grupo 9

UNE 74-014-78

- 2 -

PARTE I

MÉTODO A DE CÁLCULO DE LA SONORIDAD DE UN SONIDO COMPLEJO ANALIZADO EN BANDAS DE OCTAVA

1 GENERALIDADES

La *parte I* de esta norma especifica un procedimiento, *Método A*, de cálculo de la sonoridad de sonidos complejos de carácter continuo, para los que es apropiado un análisis en bandas de octava. (Desde luego se puede reconstruir un análisis en bandas de octava a partir de un análisis más detallado). El nivel medido en cada banda de octava se transforma en un índice de sonoridad y se calcula la sonoridad total en sonios (OD) mediante una fórmula empírica. La sonoridad total calculada se puede transformar en un nivel de sonoridad expresado en fonios (OD) mediante la expresión dada en la norma UNE 74-010-76.

El *Método A* incluye además curvas que dan indicaciones útiles para un estudio más completo del sonido; (ver la nota del apartado 4.3).

Este método, incluye asimismo el cálculo mediante análisis en frecuencias en bandas de 1/3 de octava y 1/2 octava. Sin embargo, para el cálculo de la sonoridad de ruidos que exigen un análisis en bandas de 1/3 de octava se recomienda el *Método B*.

El *Método A* tiene la ventaja de su simplicidad y está destinado a aplicarse a los sonidos para los que sea apropiado un análisis en bandas de octava. Se encuentran en este grupo numerosos ruidos de interés práctico.

Como el objeto de esta *Parte I* es proporcionar un método simple y cómodo que permita clasificar los sonidos complejos con niveles y espectros diferentes según su intensidad subjetiva, se han admitido ciertas hipótesis *simplificadoras* y ciertas aproximaciones lineales. El Método se basa en las tres relaciones siguientes:

- 1) Una función que relaciona la sonoridad en sonios con el nivel de sonoridad en fonios, idéntica a la de la norma UNE 74-010-76.
- 2) Una familia empírica de curvas de igual sonoridad para bandas de ruido en campo acústico difuso.
- 3) Una fórmula que relaciona la sonoridad total de un sonido con los índices de sonoridad de las bandas de frecuencia que lo componen.

A base de estas relaciones empíricas se puede calcular la sonoridad total de un sonido mediante una tabla o un diagrama y una ecuación lineal. Teniendo en cuenta ciertas restricciones indicadas a continuación, se puede admitir que el método recomendado da la sonoridad o el nivel de sonoridad, con una aproximación suficiente para las aplicaciones prácticas.

2 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

La *Parte I* de esta norma especifica un método de cálculo de la sonoridad que apreciaría un oyente medio en las condiciones siguientes:

2.1 Campo sonoro difuso

Se supone que el sonido llega a los oídos del oyente con la misma intensidad en todas las direcciones. Esta condición se cumple aproximadamente en un recinto cerrado normal.

2.2 Tipo de espectro en frecuencia

El método está concebido especialmente para los tipos más comunes de espectro en frecuencias de banda ancha. Pueden producirse errores cuando se aplica a ciertos tipos de espectros de rayas o para espectros que presenten dos o más picos separados en más de una octava. La magnitud del error que puede resultar en el caso de un espectro no común sólo se puede determinar experimentalmente.

2.3 Estado estacionario

El método está concebido para los ruidos continuos más que para los intermitentes. Sin embargo, en campo difuso, muchos ruidos de origen impulsivo se comportan de hecho como ruidos continuos, ya que la reverberación tiende a reducir las discontinuidades temporales.

Notas:

1. El error que puede resultar en el caso de un ruido intermitente no es atribuible necesariamente al procedimiento de cálculo. Puede también estar afectado por las características de integración del instrumento utilizado para medir los niveles de presión acústica.
2. Puesto que la sonoridad depende de la naturaleza del recinto en el cual se oye un sonido, es importante que las evaluaciones comparativas de diferentes fuentes de ruido se basen en medidas efectuadas en recintos esencialmente semejantes.
3. Los niveles en banda en campo difuso se medirán mediante un micrófono omnidireccional situado en el campo sonoro, exento de obstáculos, en el lugar ocupado por la cabeza del oyente.

3 DEFINICIONES

En esta norma se utilizan las siguientes definiciones (las definiciones de los apartados 3.1 y 3.4 se aplican en los *Métodos A y B*).

3.1 Nivel de presión acústica (L)

El nivel de presión acústica en decibelios es $20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$ dB, donde P es la presión acústica medida y P_0 es la presión acústica de referencia igual a 2×10^{-5} Pa (Ver norma UNE 74 - 010 - 76)

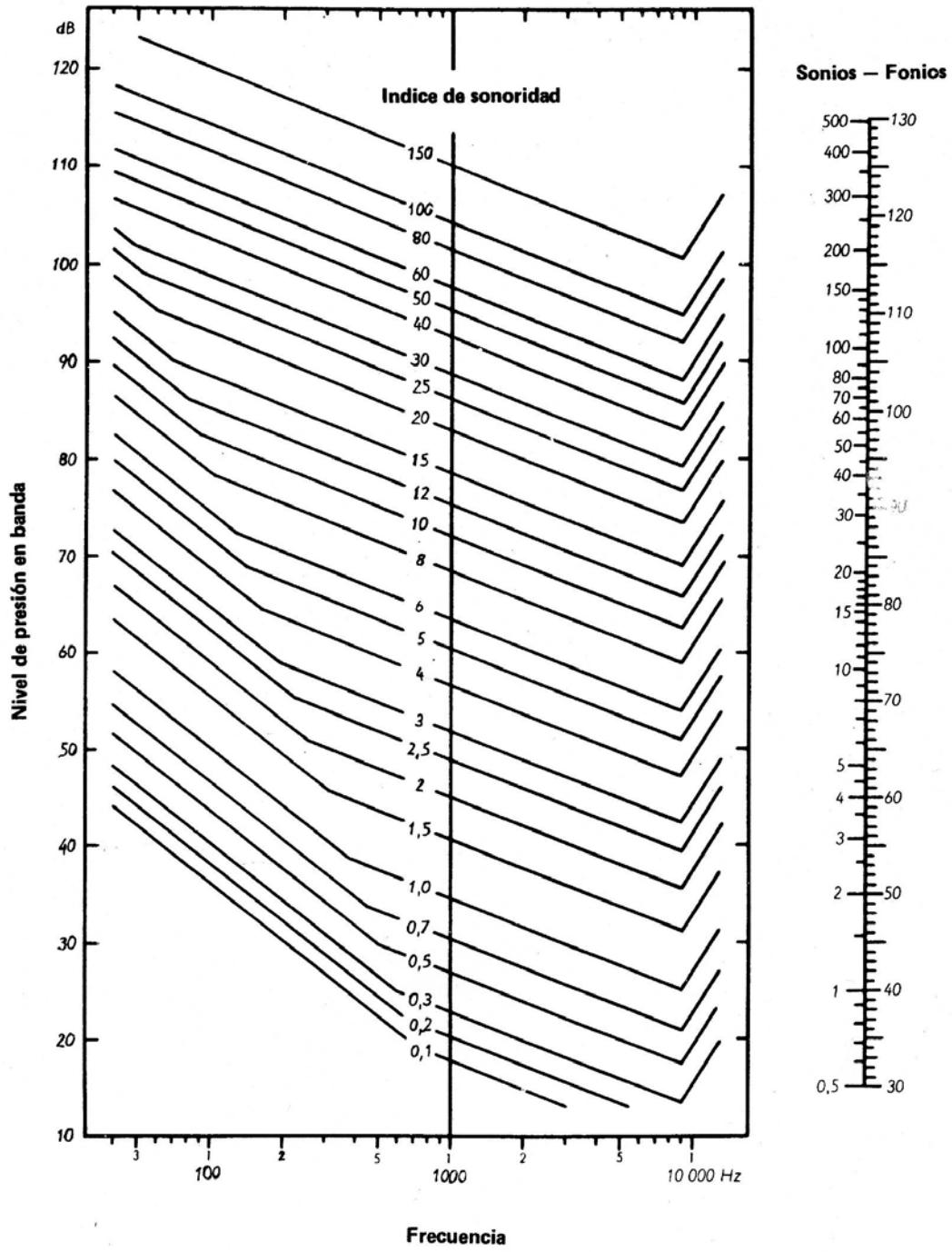


Fig. 1

-4-

3.2 Nivel de presión en banda

Es el nivel de presión acústica que corresponde a la parte del espectro (banda de octava) medida.

3.3 Sonoridad (S) en sonios

Es el valor numérico de la fuerza de un sonido que es proporcional a una magnitud subjetiva evaluada por oyentes normales. Un sonio es la sonoridad de un sonido cuyo nivel de sonoridad es de 40 fonios.

3.4 Relación entre la sonoridad y el nivel de sonoridad

El nivel de sonoridad L_N de un sonido expresado en fonios está relacionado con la sonoridad N expresada en sonios mediante la expresión

$$N = 2 \left(\frac{L_N - 40}{10} \right)$$

Nota:

Cuando los niveles de sonoridad se evalúan a partir de los valores calculados de la sonoridad, los resultados pueden diferir de los obtenidos mediante una estimación subjetiva directa. Por ello, es importante indicar si los valores se han calculado o medido por otros medios.

3.5 Índice de sonoridad

Es un número determinado a partir de la frecuencia central y el nivel de presión en banda, con respecto a una banda de octava en las curvas de la *Figura 1*.

4 ESPECIFICACIONES**4.1 Cálculo de la sonoridad**

El método de cálculo de la sonoridad está contenido en una tabla (*Tabla II*) y en una fórmula (ver apartado 4.1 b). Por razones de comodidad se da también una representación gráfica de la *Tabla II* en la *Figura 1*. La tabla o el diagrama permiten convertir cada nivel en banda, en un índice de sonoridad, y la fórmula da una regla para combinar los índices de sonoridad y obtener la sonoridad total calculada.

Se procede de la siguiente forma:

a) Entrar con la frecuencia central de cada banda en la tabla correspondiente o en el eje de abscisas de la *Figura 1*. A continuación, según el nivel de la banda (ordenada de la *Figura 1*) determinar el índice de sonoridad de cada banda.

b) Calcular la sonoridad total N_t en sonios (OD) mediante la fórmula:

$$N_t = N_m + F (\Sigma N - N_m)$$

donde N_m es el mayor índice de sonoridad y ΣN la suma de los índices de sonoridad de todas las bandas. Para bandas de octava el valor de F es de 0,3.

Nota:

El método *A* también se puede aplicar a análisis hechos en bandas de 1/2 octava y 1/3 de octava y puede igualmente utilizarse en los casos en que el espectro en frecuencia del sonido es tal que no cumple con las condiciones impuestas para el uso del método *A*.

En tales casos el valor de F es:

$$\begin{aligned} &1/3 \text{ de octava, } 0,15 \\ &1/2 \text{ octava, } 0,2 \end{aligned}$$

4.2 Nivel de sonoridad calculado

La sonoridad total puede convertirse en un nivel de sonoridad calculado en fonios (OD) mediante la fórmula:

$$N_t = 2 \left(\frac{L_N - 40}{10} \right)$$

ó

$$L_N = 40 + 10 \log_2 N_t$$

En la *Figura 1* se incluye un nomograma que expresa esta relación.

4.3 Tabla de los índices de sonoridad

En la *Tabla II* se establecen los valores del índice de sonoridad para la frecuencia 1000 Hz. En el *Anexo A*, se tienen tablas análogas para las frecuencias = 31,5, 63, 125, 250, 500, 2000, 4000 y 8000 Hz. Los valores correspondientes a otras frecuencias pueden obtenerse según las reglas siguientes:

El valor del índice de sonoridad es constante a lo largo de una recta que tiene una pendiente de 3 dB/octava. Por encima de 9000 Hz la pendiente es de 12 dB/octava. Por debajo de una cierta frecuencia, la pendiente es de -6 dB/octava. Las frecuencias para las cuales tiene lugar este cambio de pendiente se encuentran en una recta que tiene una pendiente de -21 dB/octava, y que pasa por el punto correspondiente a 1000Hz y 10 dB de nivel de presión de banda.

Nota:

El diagrama de la *Figura 1* da un método de representación de la relación entre el índice de sonoridad, el nivel de presión en banda y la frecuencia. El parámetro de la familia de curvas es el índice de sonoridad. Puede ser conveniente para ciertas aplicaciones establecer diagramas en los cuales el parámetro sea el nivel de presión en banda, y las ordenadas el índice de sonoridad.

UNE 74-014

- 5 -

Tabla II

Indice de sonoridad a 1000 Hz

Nivel de presión en banda dB	Indice de sonoridad	Nivel de presión en banda dB	Indice de sonoridad	Nivel de presión en banda dB	Indice de sonoridad
15		50	2,68	85	23,0
16		51	2,84	86	24,7
17		52	3,0	87	26,5
18	0,10	53	3,2	88	28,5
19	0,14	54	3,4	89	30,5
20	0,18	55	3,6	90	33,0
21	0,22	56	3,8	91	35,3
22	0,26	57	4,1	92	38,0
23	0,30	58	4,3	93	41,0
24	0,35	59	4,6	94	44,0
25	0,40	60	4,9	95	48
26	0,45	61	5,2	96	52
27	0,50	62	5,5	97	56
28	0,55	63	5,8	98	61
29	0,61	64	6,2	99	66
30	0,67	65	6,6	100	71
31	0,73	66	7,0	101	77
32	0,80	67	7,4	102	83
33	0,87	68	7,8	103	90
34	0,94	69	8,3	104	97
35	1,02	70	8,8	105	105
36	1,10	71	9,3	106	113
37	1,18	72	9,9	107	121
38	1,27	73	10,5	108	130
39	1,35	74	11,1	109	139
40	1,44	75	11,8	110	149
41	1,54	76	12,6	111	160
42	1,64	77	13,5	112	171
43	1,75	78	14,4	113	184
44	1,87	79	15,3	114	197
45	1,99	80	16,4	115	211
46	2,11	81	17,5	116	226
47	2,24	82	18,7	117	242
48	2,38	83	20,0	118	260
49	2,53	84	21,4	119	278
				120	298

UNE 74-014-78

- 6 -

PARTE II

METODO B DE CALCULO DE LA SONORIDAD DE UN SONIDO COMPLEJO A PARTIR DE UN ANALISIS EN BANDAS DE TERCIO DE OCTAVA**5 GENERALIDADES**

La *Parte II* de esta norma especifica un procedimiento, *Método B*, de cálculo de la sonoridad de sonidos complejos de tipo continuo, a partir de un análisis en bandas de 1/3 de octava. Mediante un conjunto de gráficos se transforman los niveles en banda de 1/3 de octava en elementos de área que corresponden a fracciones de sonoridad.

El nivel de sonoridad en fonios (GF ó GD) se calcula, a partir del área total mediante una escala. El nivel de sonoridad se puede entonces convertir en sonoridad expresada en sonios, (GD ó GF), mediante la relación especificada en la norma UNE 74-010-76.

El *Método B* es aplicable no sólo a sonidos con espectros suaves y de banda ancha, sino también a los sonidos con espectros de rayas o irregulares y para los cuales no es adecuado un análisis en bandas de octava. Además, el gráfico que indica la relación entre los componentes de la sonoridad de un ruido y su espectro proporciona indicaciones útiles para el posterior estudio del sonido con vistas, por ejemplo, a una reducción de ruido.

La *Parte II* de esta norma tiene como objeto proporcionar un método conveniente para clasificar sonidos complejos de espectros y niveles diversos según su intensidad subjetiva, admitiendo ciertas hipótesis simplificadoras, principalmente la aproximación lineal de bandas críticas (*Frequenzgruppen*) asimilándolas a bandas de 1/3 de octava. El procedimiento está basado en los cinco conceptos o relaciones empíricas siguientes:

- a) Las bandas más anchas en las que el nivel de sonoridad depende solamente del nivel de presión acústica (*Frequenzgruppen*) (bandas críticas).
- b) Una regla que relaciona la sonoridad total de un sonido con la contribución a la sonoridad aportada por las bandas críticas (*Frequenzgruppen*) que lo componen.
- c) Una relación entre la parte de sonoridad propia a cada banda, y la frecuencia central de la misma.
- d) La diferencia entre las curvas de igual sonoridad para un sonido frontal y para un campo acústico difuso.
- e) Una función de sonoridad que relaciona la sonoridad expresada en sonios con el nivel de sonoridad expresado en fonios, que es idéntica a la dada en la norma UNE 74-010-76.

Se puede calcular, sobre la base de estos conceptos, la sonoridad total o el nivel de sonoridad de un sonido con la ayuda de un conjunto de gráficos correspondientes a sonidos de incidencia frontal u otro para un campo acústico difuso.

6 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

La *Parte II* de esta norma especifica un método para calcular la sonoridad percibida por un oyente típico (medio) en las condiciones siguientes:

6.1 Sonido frontal

Se supone que el sonido llega a los oídos del oyente únicamente según la dirección frontal, al aire libre o en un espacio no reflectante. En cualquier recinto la condición de sonido frontal se obtiene aproximadamente cuando una fuente de pequeñas dimensiones radia en la proximidad y directamente frente al oyente.

6.2 Campo difuso

Se supone que el sonido llega a los oídos del oyente con la misma intensidad desde todas las direcciones.

Esta condición se da aproximadamente en un recinto ordinario.

El método se aplica a todo tipo de espectros en frecuencia.

El método está basado en el supuesto de que el sonido es de carácter continuo más que intermitente.

Notas:

1. El error que puede resultar en el caso de ruidos intermitentes no es imputable necesariamente a los procedimientos de cálculo, sino que también puede estar afectado por la característica de integración del aparato utilizado para medir los niveles de presión acústica.
2. Como la sonoridad depende de la naturaleza del recinto en el que se oye el sonido, es importante que las evaluaciones comparativas de diferentes fuentes de ruido se basen en medidas efectuadas en recintos esencialmente similares.
3. En el caso de un campo difuso los niveles en bandas de 1/3 de octava se medirán con un micrófono omnidireccional colocado en el campo sonoro libre de obstáculos en la posición que ocuparía la cabeza del oyente. En el caso de un sonido frontal los niveles de presión se deben medir en condiciones de campo libre.

7 DEFINICIONES**7.1 Nivel de presión en banda**

Es el nivel de presión acústica correspondiente a la parte del espectro que se mide. Los símbolos L_{GF} , L_{GD} significan niveles de presión en banda para una banda crítica (*Frequenzgruppen*) para un sonido frontal F y un campo difuso D respectivamente.

7.2 Bandas críticas (*Frequenzgruppen*)

En esta norma las bandas críticas se sustituyen con suficiente aproximación por bandas de 1/3 de octava por encima de 280 Hz, y por grupos de bandas de 1/3 de octava para las frecuencias inferiores.

UNE 74-014-78



-7-

7.3 Nivel de sonoridad calculado

Es el nivel de sonoridad, expresado en fonios (GF) o en fonios (GD), obtenido por el método de cálculo especificado en el capítulo 4. Las abreviaturas GF y GD significan que el cálculo está basado en las bandas críticas y se refieren respectivamente a un sonido frontal o a un campo difuso. (Véase apartado 3.1 y 3.4).

Nota:

El término fonio, sin abreviaturas que lo califiquen, se reservará para expresar niveles de sonoridad determinados por medida subjetiva directa. (Ver norma UNE 74-010-76).

8 ESPECIFICACION

El procedimiento para el cálculo del nivel de sonoridad consta de tres pasos basados en un conjunto de gráficos. Estos gráficos (ver figuras 2 a 11) según el margen de niveles y el tipo de campo sonoro, proporcionan un medio de combinar y convertir los niveles en bandas de 1/3 de octava para dar el nivel total de sonoridad. Las figuras 2 a 6 se utilizan para sonido frontal, y las figuras 7 a 11 para campo difuso.

Paso 1. Cada gráfico contiene curvas escalonadas designadas por números que se refieren a los niveles, L_T en bandas de 1/3 de octava. Se seleccionará un gráfico que corresponda al tipo apropiado de campo sonoro y que incluya el valor más alto medido en bandas de 1/3 de octava. Dibujar los niveles medidos en las bandas por encima de 280 Hz como líneas horizontales de forma que las frecuencias de corte de las bandas de 1/3 de octava corresponden a las abscisas del gráfico y los niveles medidos correspondan a la numeración de las curvas escalonadas.

Debido a que las bandas críticas son más anchas que 1/3 de octava a bajas frecuencias, será necesario agrupar las bandas de baja frecuencia para obtener los niveles correspondientes de banda crítica L_1 , L_2 , L_3 , antes de llevarlas al diagrama, de la forma siguiente:

- 1) Combinar todas las bandas hasta la frecuencia de corte de 90 Hz (L_1).
- 2) Combinar las tres bandas desde 90 a 180 Hz (L_2).
- 3) Combinar las dos bandas desde 180 a 280 Hz (L_3).

La forma de combinar las bandas se puede ver en el ejemplo siguiente:

$$L_2 = 10 \log_{10} (\text{antilog } L_{100}/10 + \text{antilog } L_{125}/10 +$$

$\text{antilog } L_{160}/10)$ donde L_{100} , etc... son los niveles de presión en banda de 1/3 de octava medidos para las bandas de frecuencias centrales 100 Hz, etc.

Se dibujará cada uno de estos niveles combinados como una línea horizontal, de anchura la de la banda combinada, de forma que los niveles correspondan a la numeración de las curvas escalonadas.

Nota:

En el caso de ciertos espectros, al combinar niveles de las bandas de frecuencia muy bajas puede ser conveniente, ponderar las contribuciones de las bandas de 1/3 de octava conforme a las líneas de igual sonoridad.

Paso 2. Cuando los escalones formados por estas líneas horizontales se elevan al aumentar la frecuencia, los niveles horizontales adyacentes se unen por líneas verticales en la abscisa común.

Cuando la altura del escalón en la banda de frecuencia inmediatamente superior es más baja, la unión se hará mediante una curva inclinada hacia abajo obtenida por interpolación entre las curvas de trazos del gráfico empezando por el extremo de la derecha de la línea horizontal. El área encerrada por toda la figura escalonada así obtenida corresponde a la sonoridad total.

Paso 3. El área delimitada se transformará en un rectángulo de la misma área con una base igual al ancho del gráfico por estimación o mediante un planímetro. La altura del rectángulo proporcionará directamente el nivel de sonoridad en fonios (GF) o fonios (GD) en las escalas a ambos lados del gráfico. La sonoridad correspondiente en fonios (GF) o en fonios (GD) se leerá directamente en la segunda escala.

9 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 74 - 010 - 76 – *Expresión de las magnitudes físicas y subjetivas de un sonido o de un ruido.*

10 CORRESPONDENCIA

La presente norma se corresponde totalmente con la Norma Internacional ISO 532 - 1975.

UNE 74-014-78

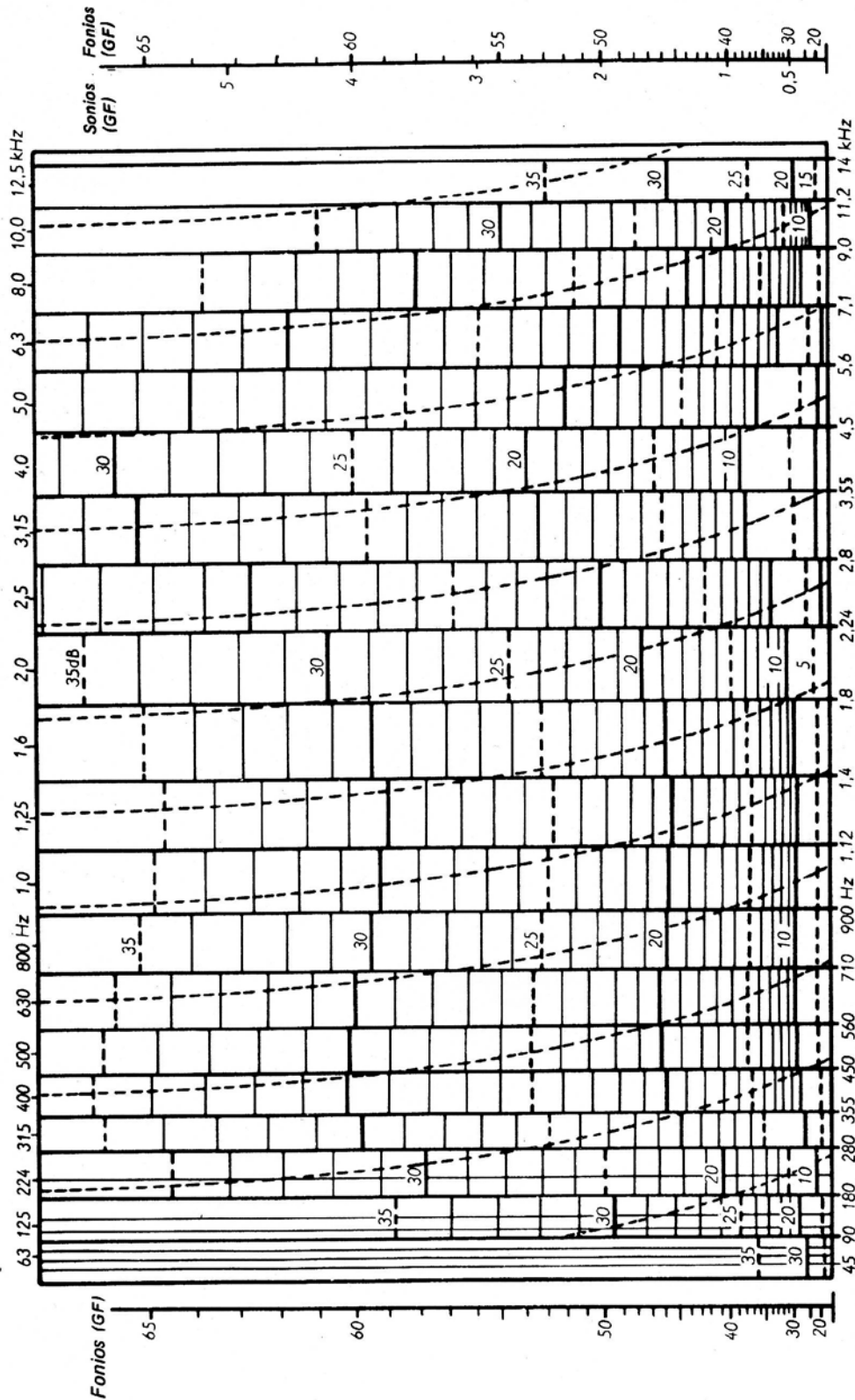


Fig. 2

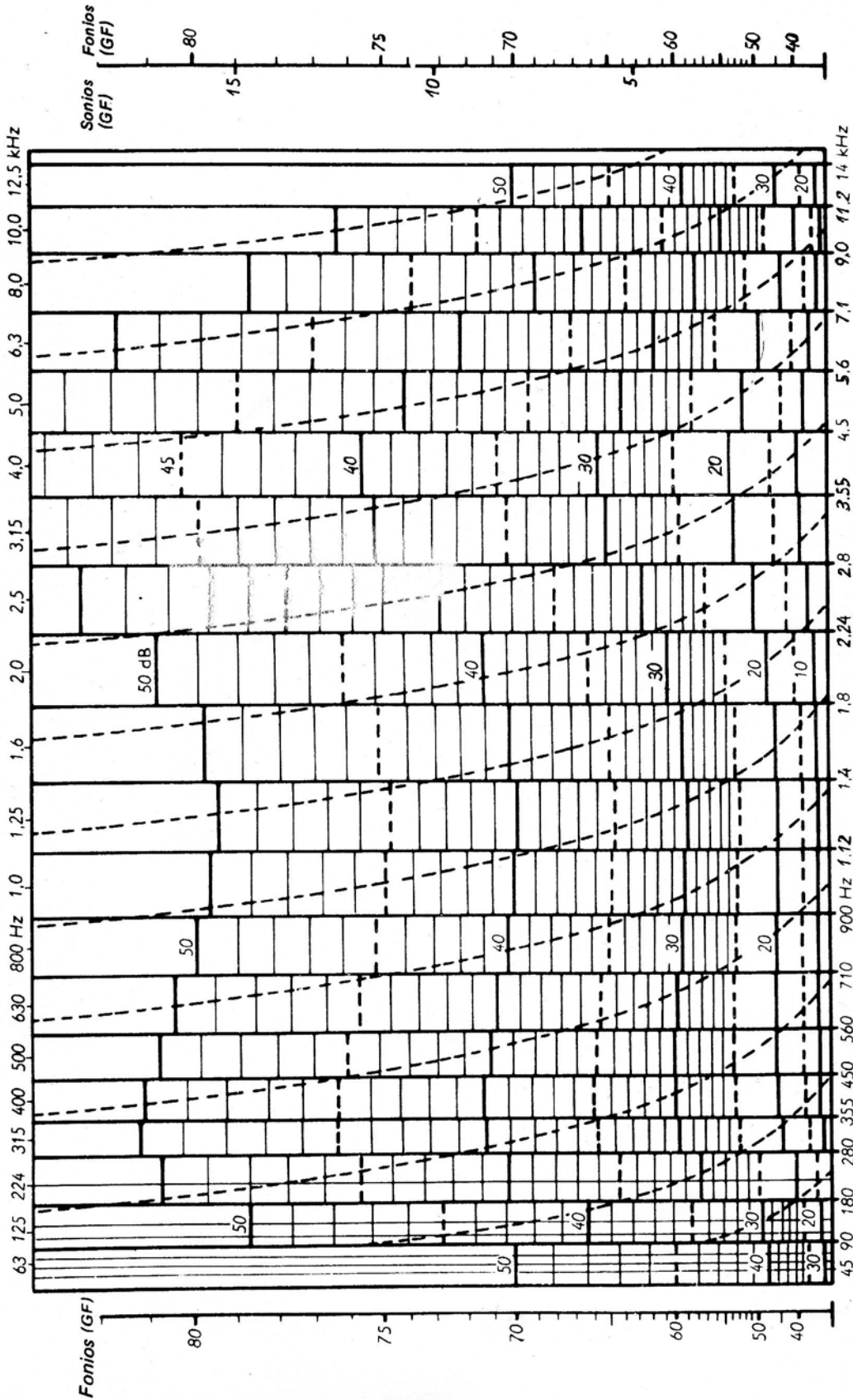


Fig. 3

74-014-78

- 10 -

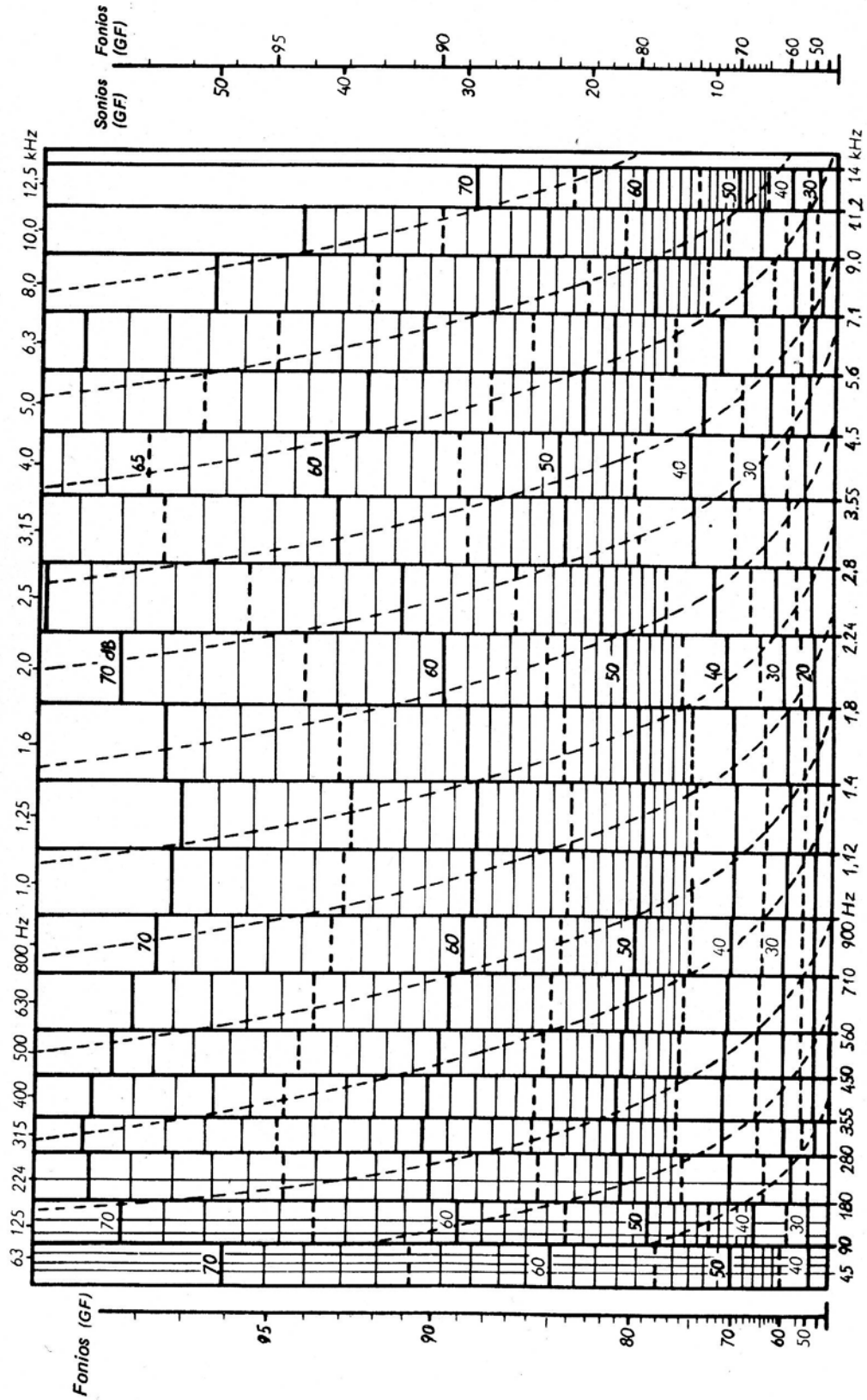


Fig. 4

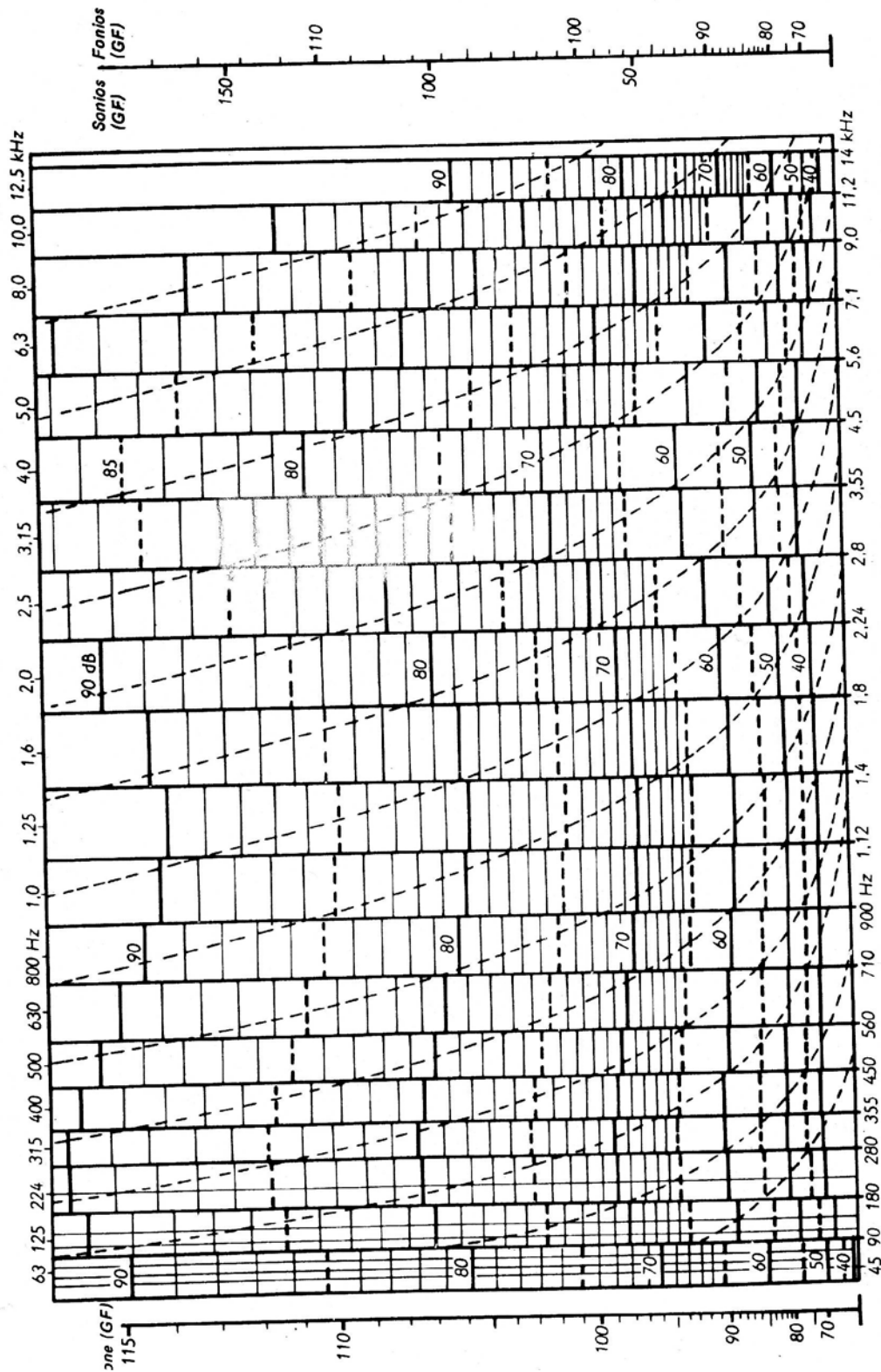


Fig. 5

UNE 74-014-78

- 12 -

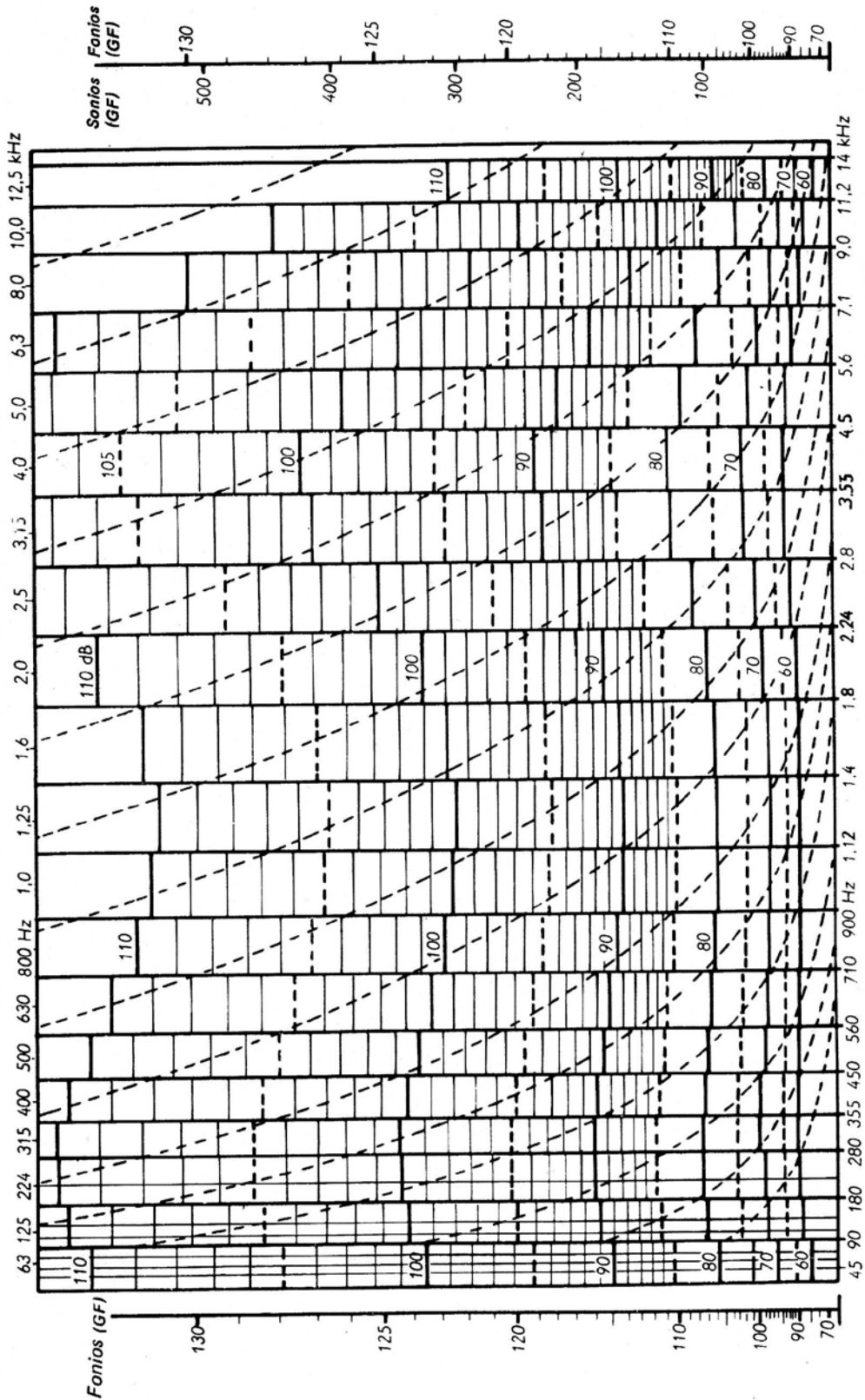


Fig. 6

UNE 74-014-78

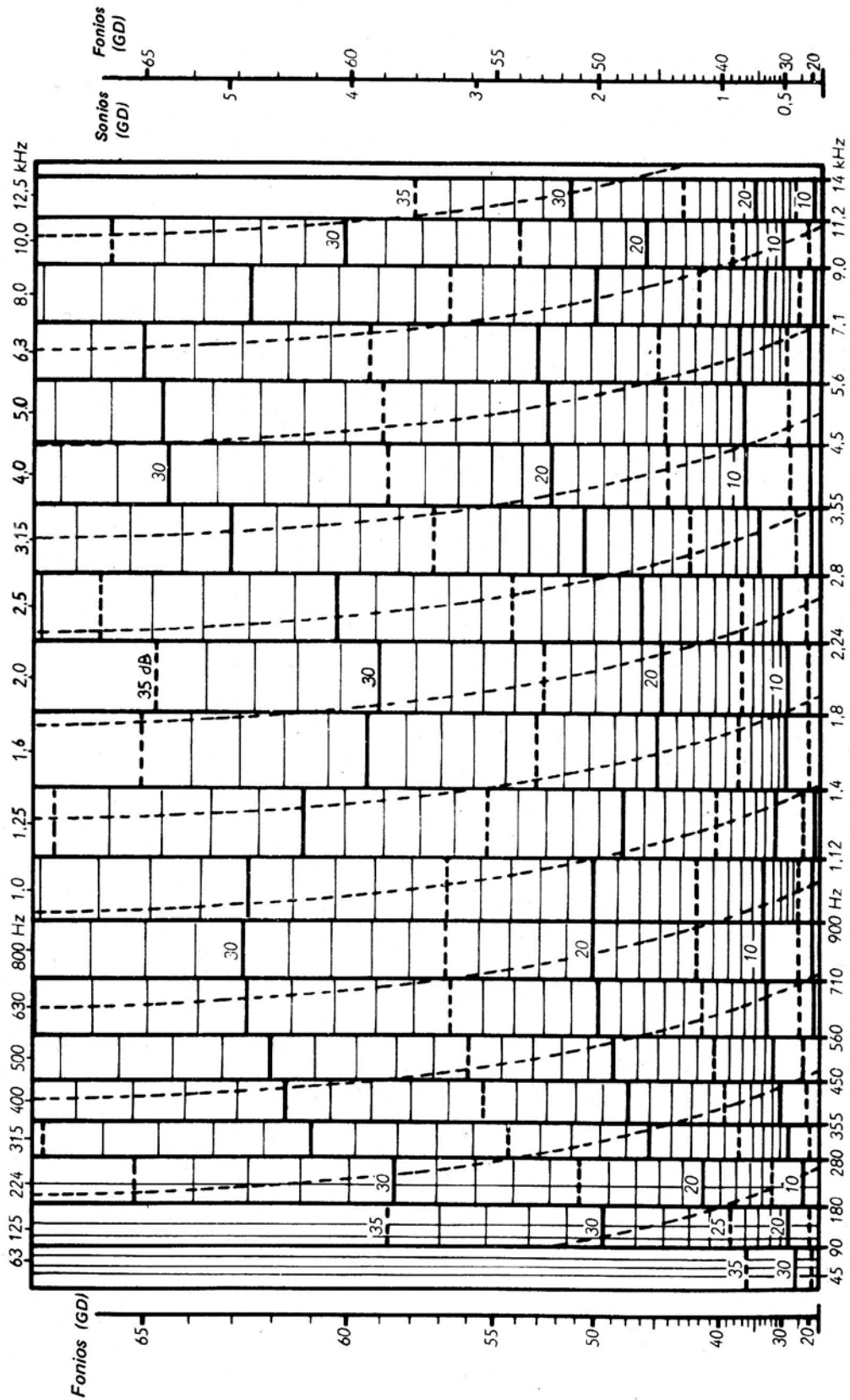


Fig. 7

IE 74-014-78

- 14 -

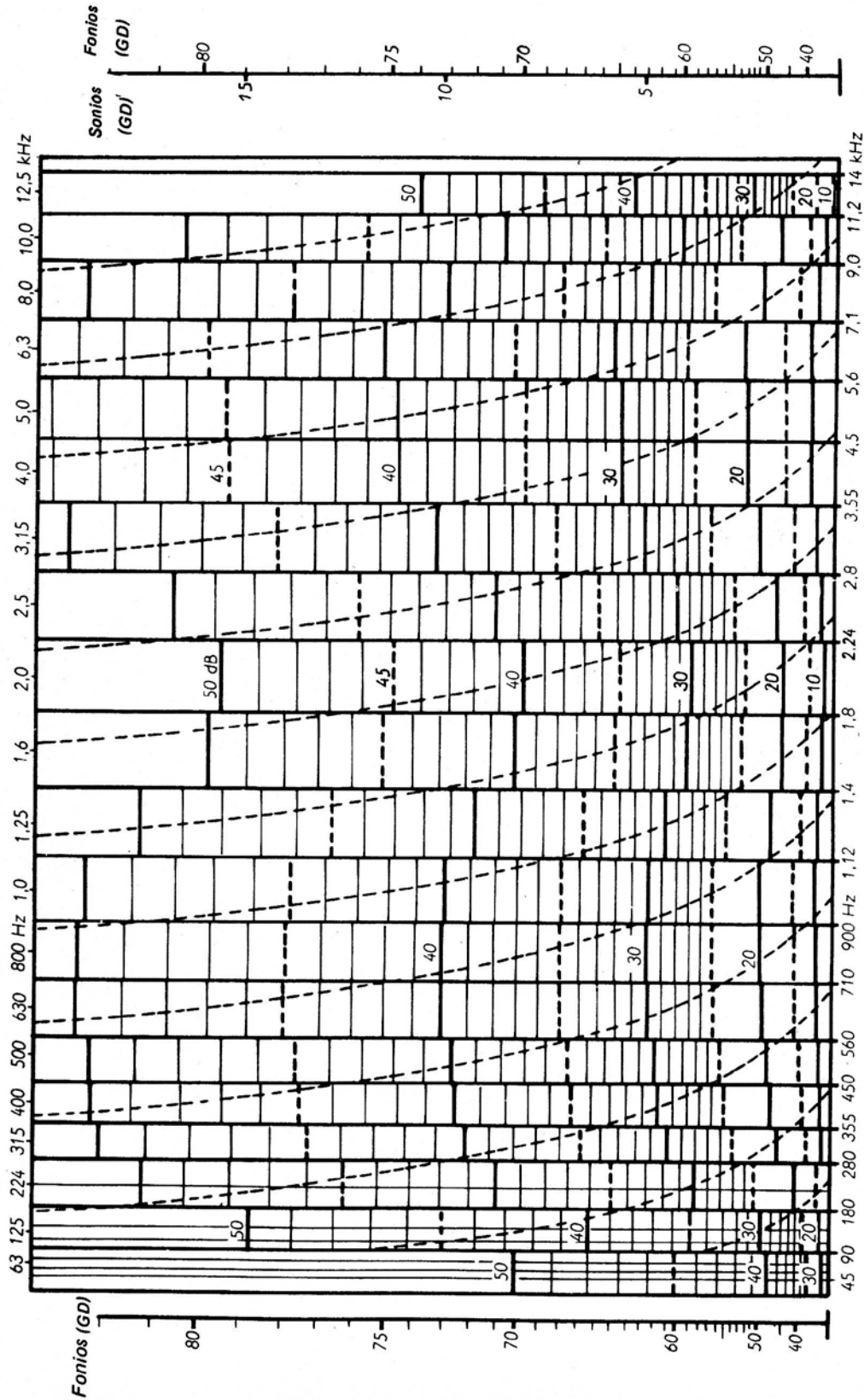


Fig. 8

UNE 74-014-78

- 16 -

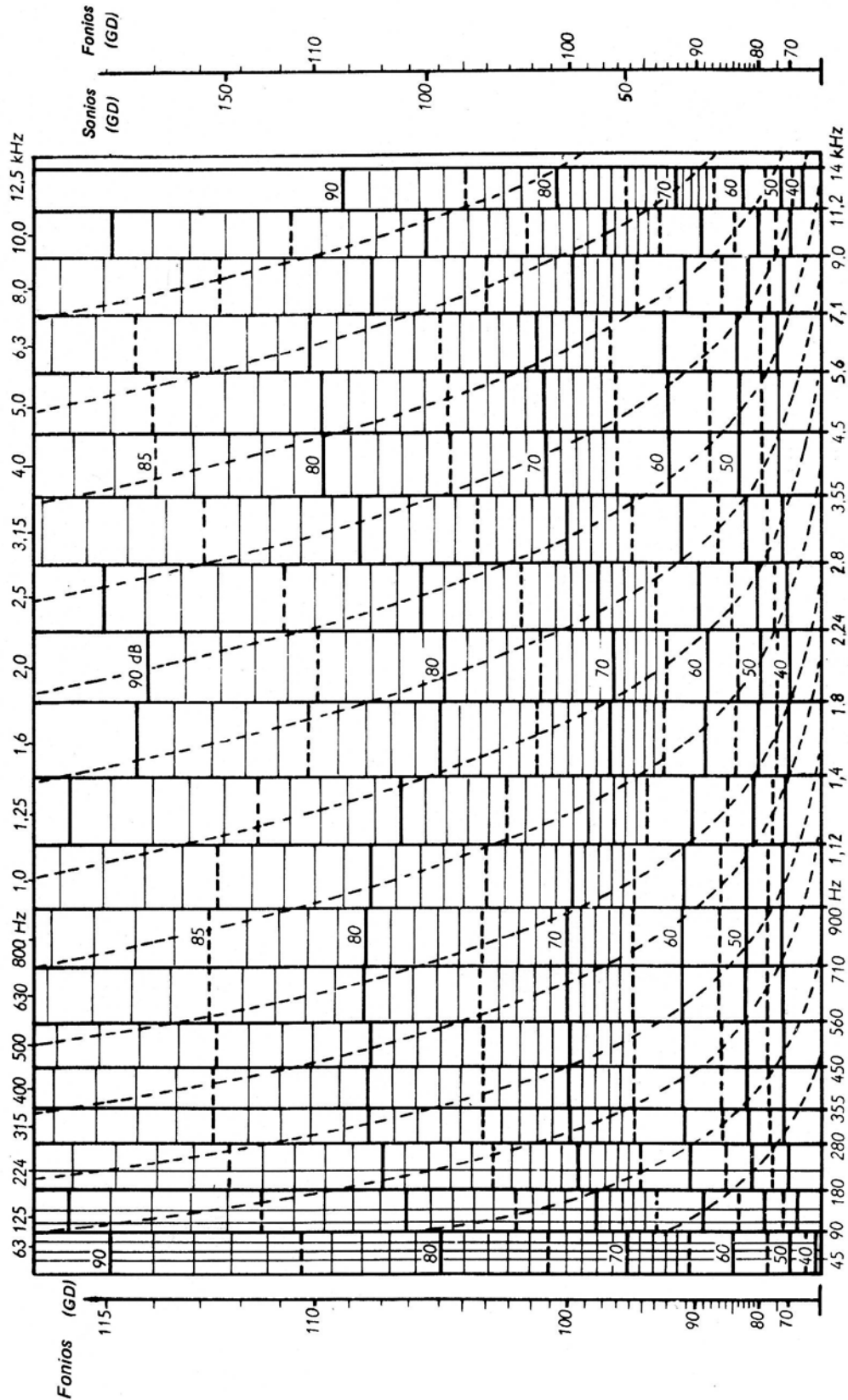


Fig. 10

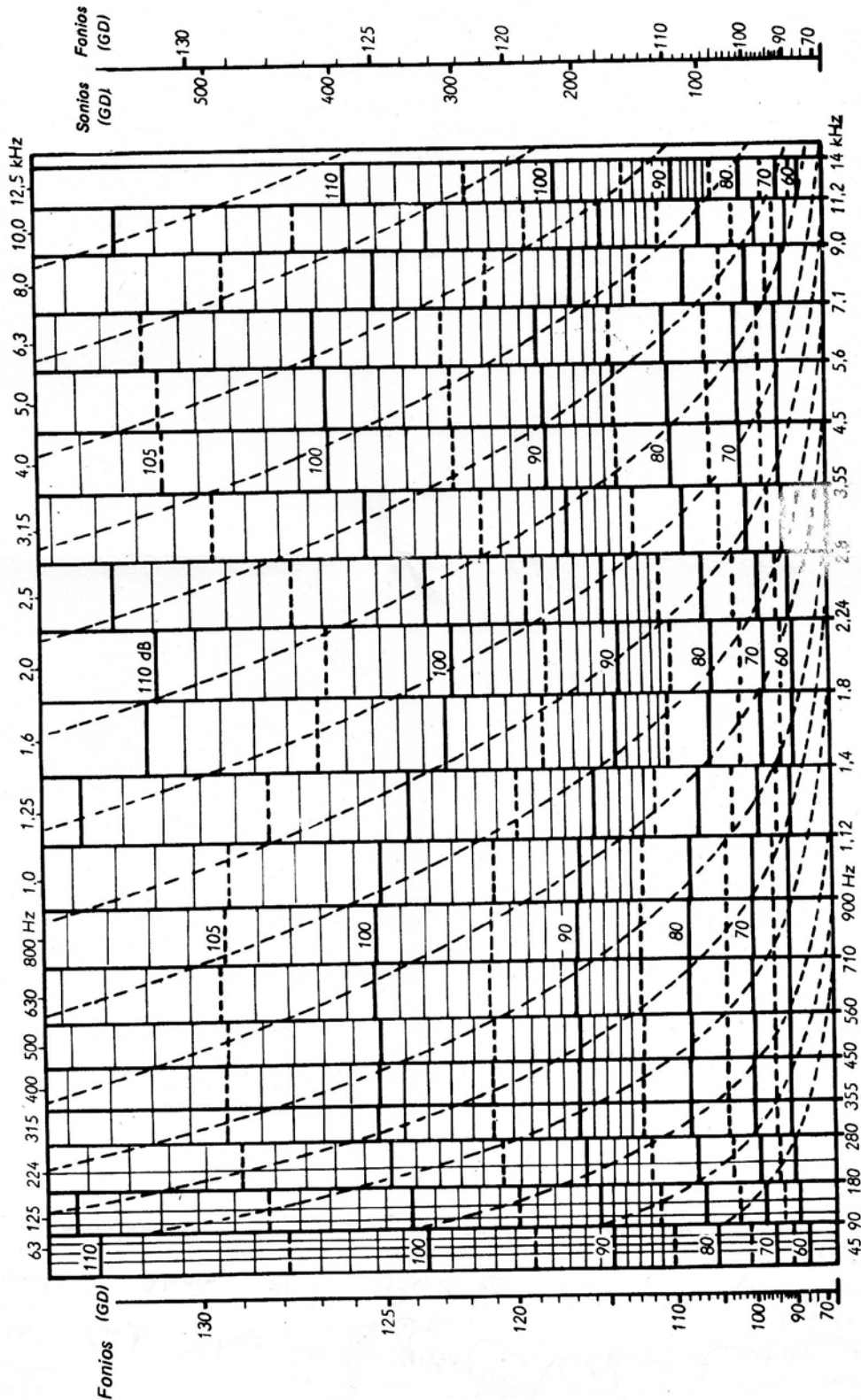


Fig. 11

UNE 74-014-78

- 18 -

ANEXO A

Nota previa: Este anexo no forma parte de la norma

Tabla III

Indice de sonoridad a distintas frecuencias

Nivel de presión en banda dB	Indice de sonoridad									Nivel de presión en banda dB	Indice de sonoridad									
	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz(1)	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz		31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz(1)	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
20						0.18	0.30	0.45	0.61	70	2.11	3.2	5.0	6.2	7.4	8.8	10.5	12.6	15.3	
21						0.22	0.35	0.50	0.67	71	2.27	3.5	5.4	6.6	7.8	9.3	11.1	13.5	16.4	
22					0.07	0.26	0.40	0.55	0.73	72	2.44	3.7	5.8	7.0	8.3	9.9	11.8	14.4	17.5	
23					0.12	0.30	0.45	0.61	0.80	73	2.62	4.0	6.2	7.4	8.8	10.5	12.6	15.3	18.7	
24					0.16	0.35	0.50	0.67	0.87	74	2.81	4.3	6.6	7.8	9.3	11.1	13.5	16.4	20.0	
25					0.21	0.40	0.55	0.73	0.94	75	3.0	4.7	7.0	8.3	9.9	11.8	14.4	17.5	21.4	
26					0.26	0.45	0.61	0.80	1.02	76	3.2	5.0	7.4	8.8	10.5	12.6	15.3	18.7	23.0	
27					0.31	0.50	0.67	0.87	1.10	77	3.5	5.4	7.8	9.3	11.1	13.5	16.4	20.0	24.7	
28				0.07	0.37	0.55	0.73	0.94	1.18	78	3.7	5.8	8.3	9.9	11.8	14.4	17.5	21.4	26.5	
29				0.12	0.43	0.61	0.80	1.02	1.27	79	4.0	6.2	8.8	10.5	12.6	15.3	18.7	23.0	28.5	
30					0.16	0.49	0.67	0.87	1.10	1.35	80	4.3	6.7	9.3	11.1	13.5	16.4	20.0	24.7	30.5
31					0.21	0.55	0.73	0.94	1.18	1.44	81	4.7	7.2	9.9	11.8	14.4	17.5	21.4	26.5	32.9
32					0.23	0.61	0.80	1.02	1.27	1.53	82	5.0	7.7	10.5	12.6	15.3	18.7	23.0	28.5	35.3
33					0.27	0.67	0.87	1.10	1.35	1.64	83	5.4	8.2	11.1	13.5	16.4	20.0	24.7	30.5	38
34			0.07	0.31	0.57	0.73	0.94	1.18	1.44	1.75	84	5.8	8.8	11.8	14.4	17.5	21.4	26.5	32.9	41
					0.33	0.65	0.87	1.10	1.35	1.64	85	6.2	9.4	12.6	15.3	18.7	23.0	28.5	35.3	44
35			0.12	0.43	0.80	1.02	1.27	1.54	1.87	86	6.7	10.1	13.5	16.4	20.0	24.7	30.5	38	48	
36			0.16	0.49	0.87	1.10	1.35	1.64	1.99	87	7.2	10.9	14.4	17.5	21.4	26.5	32.9	41	52	
37			0.21	0.55	0.94	1.18	1.44	1.75	2.11	88	7.7	11.7	15.3	18.7	23.0	28.5	35.3	44	56	
38			0.26	0.62	1.02	1.27	1.54	1.87	2.24	89	8.2	12.6	16.4	20.0	24.7	30.5	38	48	61	
39			0.31	0.69	1.10	1.35	1.64	1.99	2.38	90	8.8	13.6	17.5	21.4	26.5	32.9	41	52	66	
40		0.07	0.37	0.77	1.18	1.44	1.75	2.11	2.53	91	9.4	14.8	18.7	23.0	28.5	35.3	44	56	71	
41		0.12	0.43	0.85	1.27	1.54	1.87	2.24	2.68	92	10.1	16.0	20.0	24.7	30.5	38	48	61	77	
42		0.16	0.49	0.94	1.35	1.64	1.99	2.38	2.84	93	10.9	17.3	21.4	26.5	32.9	41	52	66	83	
43		0.21	0.55	1.04	1.44	1.75	2.11	2.53	3.0	94	11.7	18.7	23.0	28.5	35.3	44	56	71	90	
44		0.26	0.62	1.13	1.54	1.87	2.24	2.68	3.2	95	12.6	20.0	24.7	30.5	38	48	61	77	97	
45		0.31	0.69	1.23	1.64	1.99	2.38	2.84	3.4	96	13.6	21.4	26.5	32.9	41	52	66	83	105	
46	0.07	0.37	0.77	1.33	1.75	2.11	2.53	3.0	3.6	97	14.8	23.0	28.5	35.3	44	56	71	90	113	
47	0.12	0.43	0.85	1.44	1.87	2.24	2.68	3.2	3.8	98	16.0	24.7	30.5	38	48	61	77	97	121	
48	0.16	0.49	0.94	1.56	1.99	2.38	2.84	3.4	4.1	99	17.3	26.5	32.9	41	52	66	83	105	130	
49	0.21	0.55	1.04	1.69	2.11	2.53	3.0	3.6	4.3	100	18.7	28.5	35.3	44	56	71	90	113	139	
50	0.26	0.62	1.13	1.82	2.24	2.68	3.2	3.8	4.6	101	20.3	30.5	38	48	61	77	97	121	149	
51	0.31	0.69	1.23	1.96	2.38	2.84	3.4	4.1	4.9	102	22.1	32.9	41	52	66	83	105	130	160	
52	0.37	0.77	1.33	2.11	2.53	3.0	3.6	4.3	5.2	103	24.0	35.3	44	56	71	90	113	139	171	
53	0.43	0.85	1.44	2.24	2.68	3.2	3.8	4.6	5.5	104	26.1	38	48	61	77	97	121	149	184	
54	0.49	0.94	1.56	2.38	2.84	3.4	4.1	4.9	5.8	105	28.5	41	52	66	83	105	130	160	197	
55	0.55	1.04	1.69	2.53	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	106	31.0	44	56	71	90	113	139	171	211	
56	0.62	1.13	1.82	2.68	3.2	3.8	4.6	5.5	6.6	107	33.9	48	61	77	97	121	149	184	226	
57	0.69	1.23	1.96	2.84	3.4	4.1	4.9	5.8	7.0	108	36.9	52	66	83	105	130	160	197	242	
58	0.77	1.33	2.11	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	109	40.3	56	71	90	113	139	171	211	260	
59	0.85	1.44	2.27	3.2	3.8	4.6	5.5	6.6	7.8	110	44	61	77	97	121	149	184	226	278	
60	0.94	1.56	2.44	3.4	4.1	4.9	5.8	7.0	8.3	111	49	66	83	105	130	160	197	242	298	
61	1.04	1.69	2.62	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.8	112	54	71	90	113	139	171	211	260	320	
62	1.13	1.82	2.81	3.8	4.6	5.5	6.6	7.8	9.3	113	59	77	97	121	149	184	226	278	343	
63	1.23	1.96	3.0	4.1	4.9	5.8	7.0	8.3	9.9	114	65	83	105	130	160	197	242	298	367	
64	1.33	2.11	3.2	4.3	5.2	6.2	7.4	8.8	10.5	115	71	90	113	139	171	211	260	320		
65	1.44	2.27	3.5	4.6	5.5	6.6	7.8	9.3	11.1	116	77	97	121	149	184	226	278	343		
66	1.56	2.44	3.7	4.9	5.8	7.0	8.3	9.9	11.8	117	83	105	130	160	197	242	298	367		
67	1.69	2.62	4.0	5.2	6.2	7.4	8.8	10.5	12.6	118	90	113	139	171	211	260	320			
68	1.82	2.81	4.3	5.5	6.6	7.8	9.3	11.1	13.5	119	97	121	149	184	226	278	343			
69	1.96	3.0	4.7	5.8	7.0	8.3	9.9	11.8	14.4	120	105	130	160	197	242	298	367			

(1) Esta columna se corresponde con la tabla II.

ANEXO 2

Códigos programados en el laboratorio


```
48 52 56 61 66 71 77 83 90 97 105 113 121 130 139 149 160 171 184
197 211 226 242]
```

```
tabla6=[0.18 0.22 0.26 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.61 0.67 0.73 0.8
0.87 0.94 1.02 1.1...
1.18 1.27 1.35 1.44 1.54 1.64 1.75 1.87 1.99 2.11 2.24 2.38 2.53
2.68 2.84 3 3.2...
3.4 3.6 3.8 4.1 4.3 4.6 4.9 5.2 5.5 5.8 6.2 6.6 7 7.4 7.8 8.3 8.8
9.3 9.9 10.5 ...
11.1 11.8 12.6 13.5 14.4 15.3 16.4 17.5 18.7 20 21.4 23 24.7 26.5
28.5 30.5 32.9 35.3 38 41 44 ...
48 52 56 61 66 71 77 83 90 97 105 113 121 130 139 149 160 171 184
197 211 226 242 260 278 298]
```

```
tabla7=[0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.61 0.67 0.73 0.8 0.87 0.94 1.02
1.1...
1.18 1.27 1.35 1.44 1.54 1.64 1.75 1.87 1.99 2.11 2.24 2.38 2.53
2.68 2.84 3 3.2...
3.4 3.6 3.8 4.1 4.3 4.6 4.9 5.2 5.5 5.8 6.2 6.6 7 7.4 7.8 8.3 8.8
9.3 9.9 10.5 ...
11.1 11.8 12.6 13.5 14.4 15.3 16.4 17.5 18.7 20 21.4 23 24.7 26.5
28.5 30.5 32.9 35.3 38 41 44 ...
48 52 56 61 66 71 77 83 90 97 105 113 121 130 139 149 160 171 184
197 211 226 242 260 278 298 320 343 367]
```

```
tabla8=[0.45 0.5 0.55 0.61 0.67 0.73 0.8 0.87 0.94 1.02 1.1 1.18 1.27
1.35 1.44...
1.54 1.64 1.75 1.87 1.99 2.11 2.24 2.38 2.53 2.68 2.84 3 3.2 3.4
3.6 3.8 4.1 4.3...
4.6 4.9 5.2 5.5 5.8 6.2 6.6 7 7.4 7.8 8.3 8.8 9.3 9.9 10.5 11.1
11.8 12.6 13.5...
14.4 15.3 16.4 17.5 18.7 20 21.4 23 24.7 26.5 28.5 30.5 32.9 35.3
38 41 44 48 52 ...
56 61 66 71 77 83 90 97 105 113 121 130 139 149 160 171 184 197
211 226 242 260 278 298 320 343 367 0 0 0];
```

```
tabla9=[0.61 0.67 0.73 0.8 0.87 0.94 1.02 1.1 1.18 1.27 1.35 1.44 1.54
1.64 1.75 1.87 1.99 2.11 ...
2.24 2.38 2.53 2.68 2.84 3 3.2 3.4 3.6 3.8 4.1 4.3...
4.6 4.9 5.2 5.5 5.8 6.2 6.6 7 7.4 7.8 8.3 8.8 9.3 9.9 10.5 11.1
11.8 12.6 13.5...
14.4 15.3 16.4 17.5 18.7 20 21.4 23 24.7 26.5 28.5 30.5 32.9 35.3
38 41 44 48 52 56 61 66 71 77 ...
83 90 97 105 113 121 130 139 149 160 171 184 197 211 226 242 260
278 298 320 343 367 0 0 0 0 0];
```

```
in=zeros(1,9);
for i=1:9
    t=round(P(i))-19;
    if t<0
        in(i)=0;
    elseif i==1
        in(i)=tabla1(t)
    elseif i==2
        in(i)=tabla2(t)
    elseif i==3
        in(i)=tabla3(t)
    elseif i==4
        in(i)=tabla4(t)
```

```

elseif i==5
in(i)=tabla5(t)
elseif i==6
in(i)=tabla6(t)
elseif i==7
in(i)=tabla7(t)
elseif i==8
in(i)=tabla8(t)
elseif i==9
in(i)=tabla9(t)
end
end

Nt=max(in)+0.3*(sum(in)-max(in));
Ln=40 +10*log2(Nt);

figure(1)
bar(P);
axis([0 (length(F)+1) (-20) (max(P)+1)])
set(gca,'XTick',[1:3:length(P)]);
set(gca,'XTickLabel',F(1:3:length(F))); % Labels frequency axis on
third octaves.
xlabel('Frequency band [Hz]'); ylabel('Powers [dB]');
title('One-third-octave spectrum')

Plog = 10.^(P./10);
Ptotal = sum(Plog);
Ptotal = 10*log10(Ptotal);

figure(1)
text(1,-5,'Ptotal [dB] =')
text(3,-5,num2str(Ptotal))
text(1,-10,'N [sonios] =')
text(3,-10,num2str(Nt))
text(1,-15,'N [fonios] =')
text(3,-15,num2str(Ln))

```

2. Función “octava”

```

function [Ptotal,P, F] = octavas(x, Pref, Fs, Fmin, Fmax, N)

ff=[31.5 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 ];
F=[31.5 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 ];
j=[1 2 3 4 5 6 7 8 9];

P = zeros(1,length(j));
k = find(j==8);
m = length(x);

for i = length(j):-1:k+1;
[B,A] = filter_design3(ff(i),Fs,N);

if i==k+1;
Bl=B;
Al=A;
end
y = filter(B,A,x);

```

```

    P(i) = 20*log10(sqrt(sum(y.^2)/m));
end

try
    for i = k:-1:1;
        Wn = 0.4;
        [C,D] = cheby1(2,0.1,Wn);

        x = filter(C,D,x);

        x = downsample(x,2,1);
        Fs = Fs/2;
        m = length(x);

        y = filter(B1,A1,x);
        P(i) = 20*log10(sqrt(sum(y.^2)/m));
    end
catch
    error = lasterr
    P = P(1:length(j));
end

P = P + Pref;
Plog = 10.^(P./10);
Ptotal = sum(Plog);
Ptotal = 10*log10(Ptotal);

```

3. Sharpness

```

function [S_fast1, S_brue1] = sharpness(loudspec)

n = length(loudspec);

gz(1:140) = 1;
z = 141:n;
gz(z) = 0.00012*(z/10).^4-0.0056*(z/10).^3+0.1*(z/10).^2-
0.81*(z/10)+3.5;
z = 0.1:0.1:(n/10);
S_fast1 = 0.11 * sum(loudspec.*gz.*z.*0.1) / sum(loudspec.*0.1);

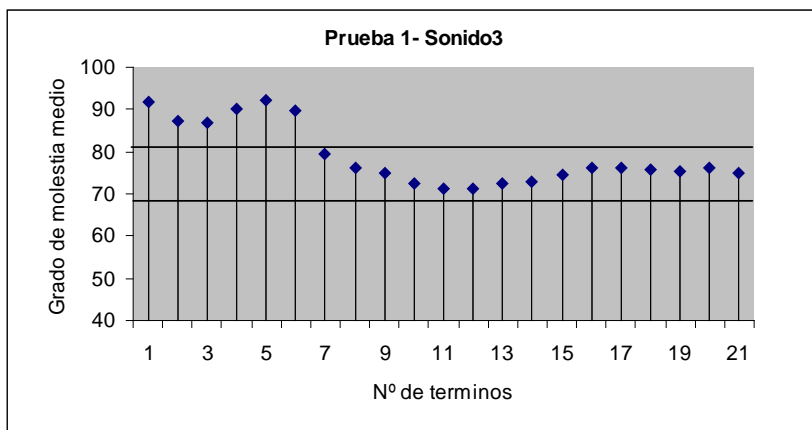
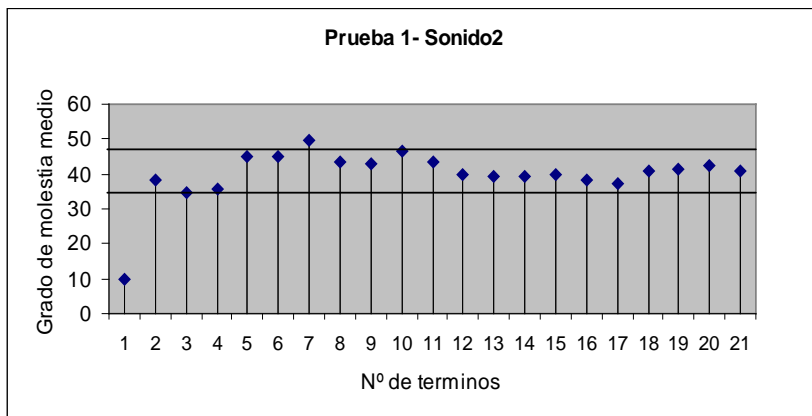
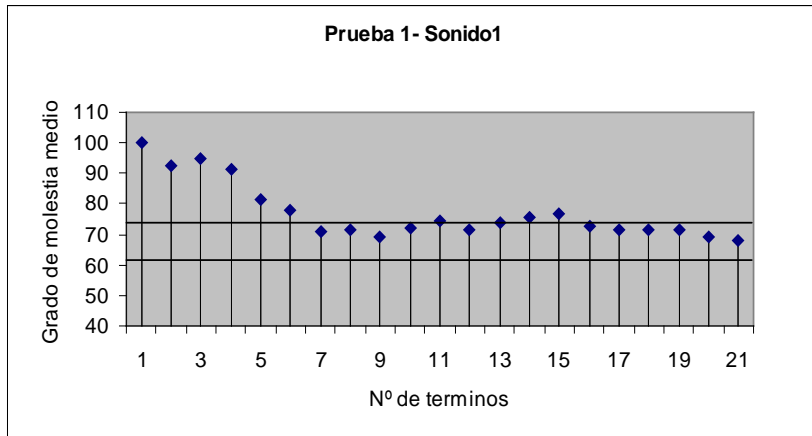
gz2(1:160) = 1;
z2 = 161:n;
gz2(z2) = 0.066*exp(0.171*(z2/10));
z2 = 0.1:0.1:(n/10);
S_brue1 = 0.11 * sum(loudspec.*gz2.*z2.*0.1) / sum(loudspec.*0.1);

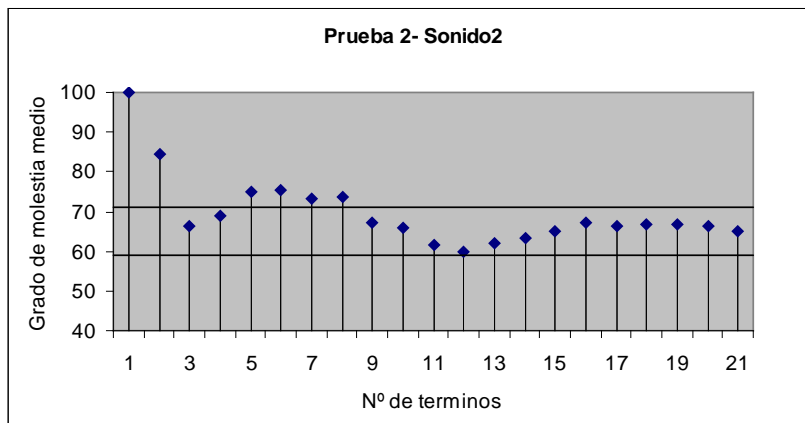
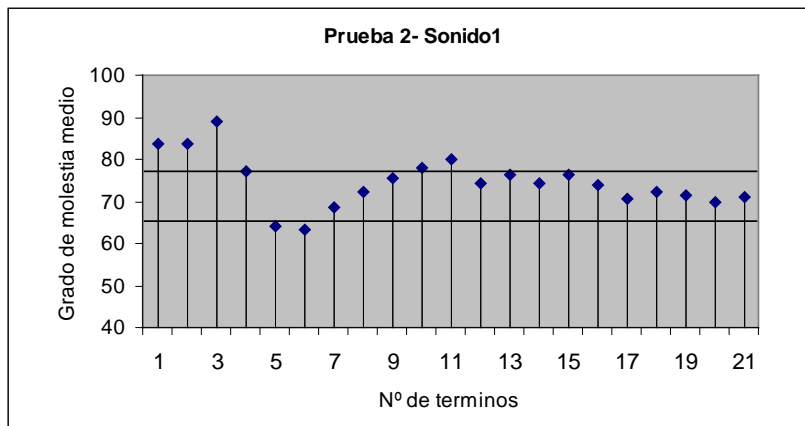
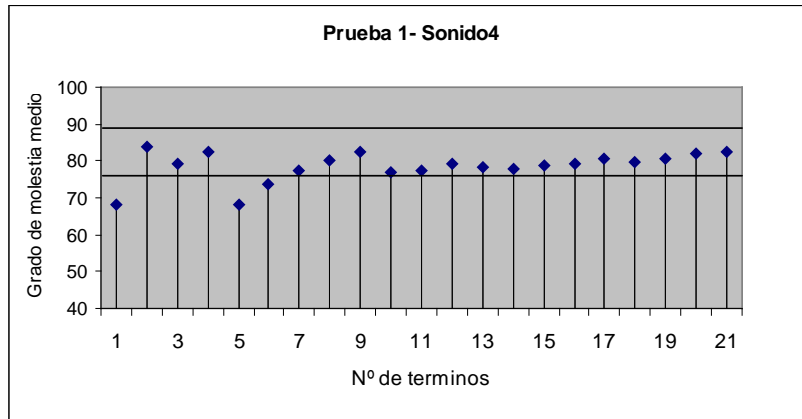
```

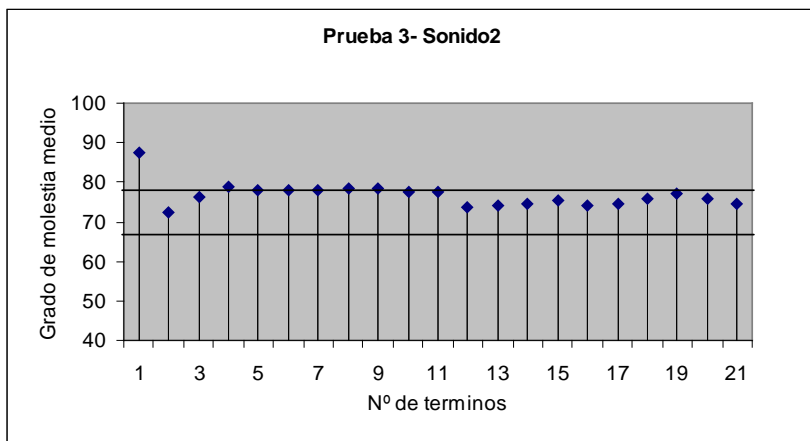
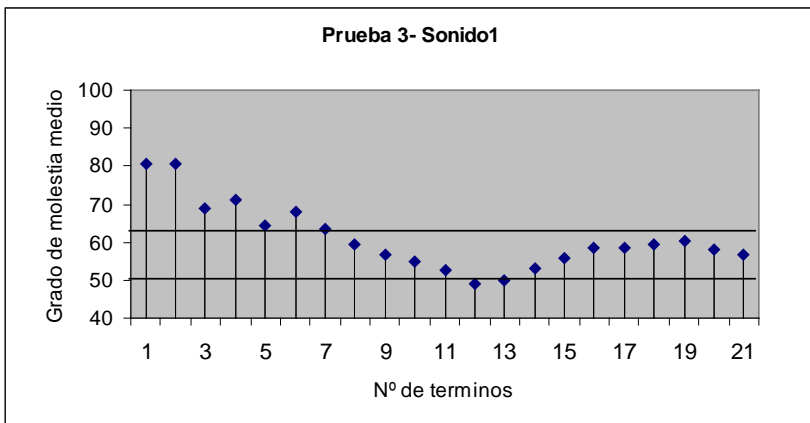
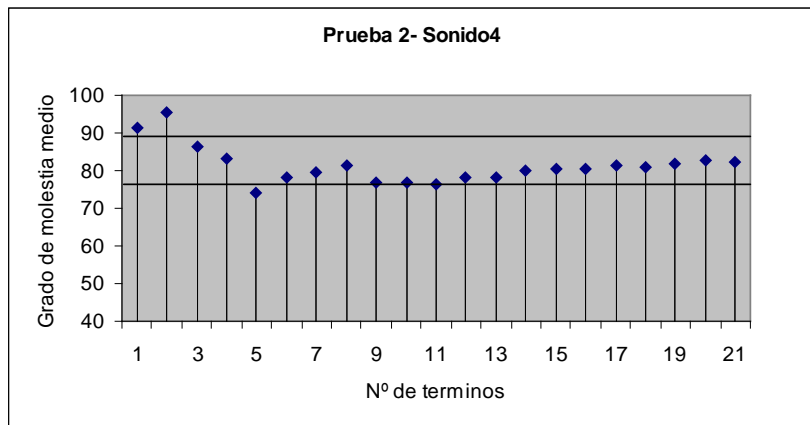
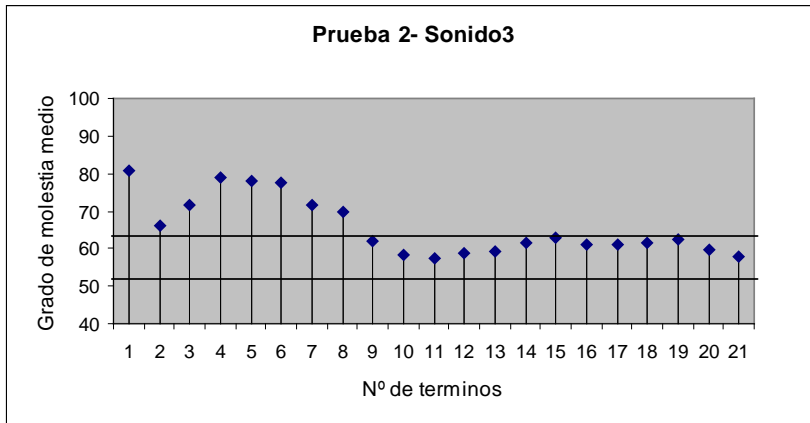
ANEXO 3

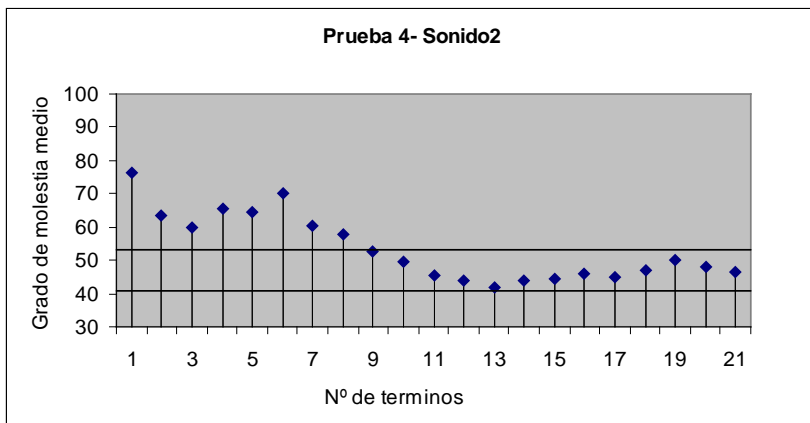
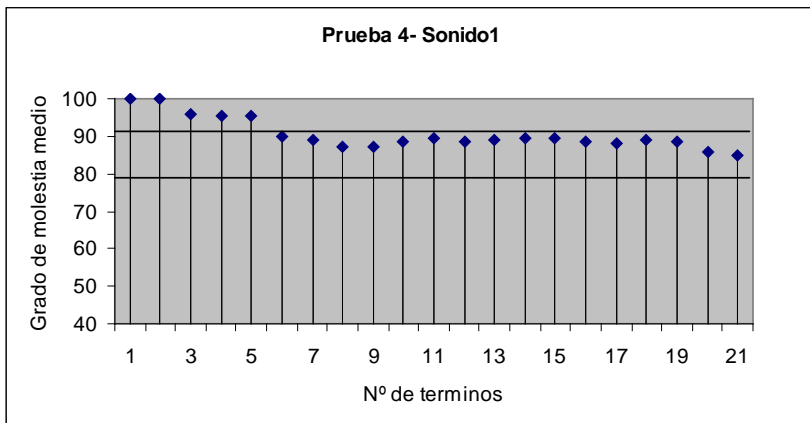
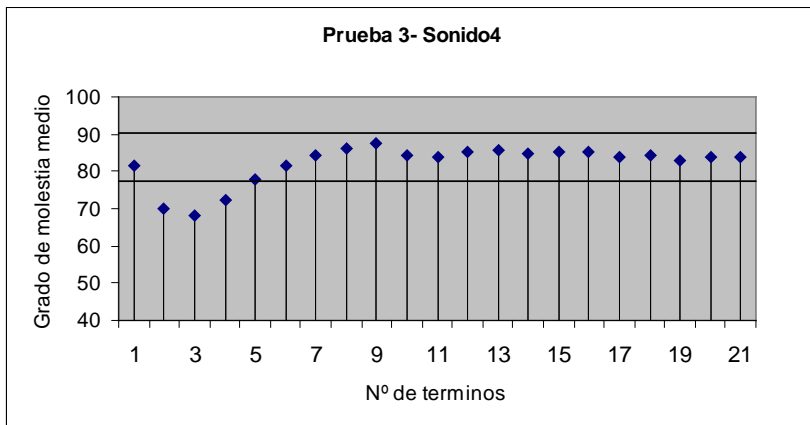
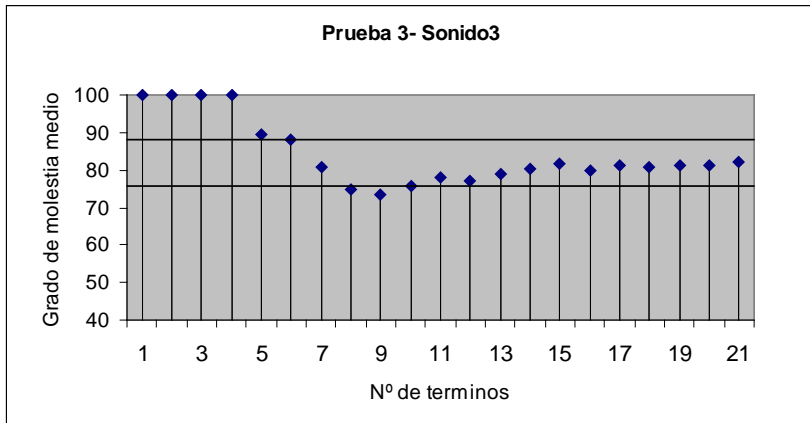
Gráficos de medias acumuladas del grado de molestia de cada sonido

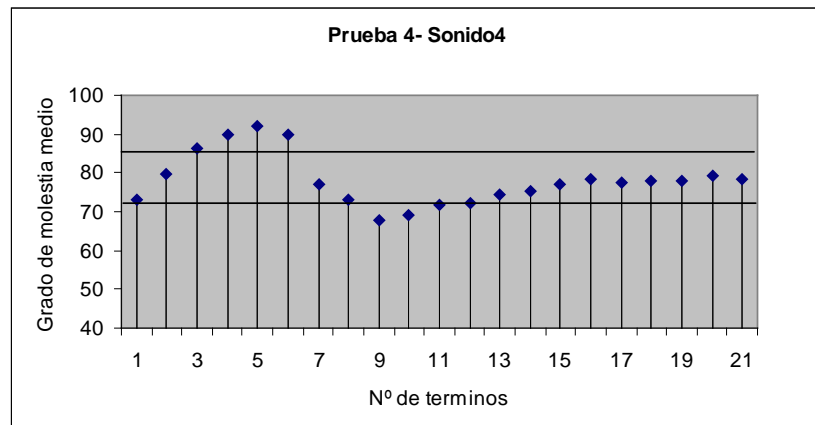
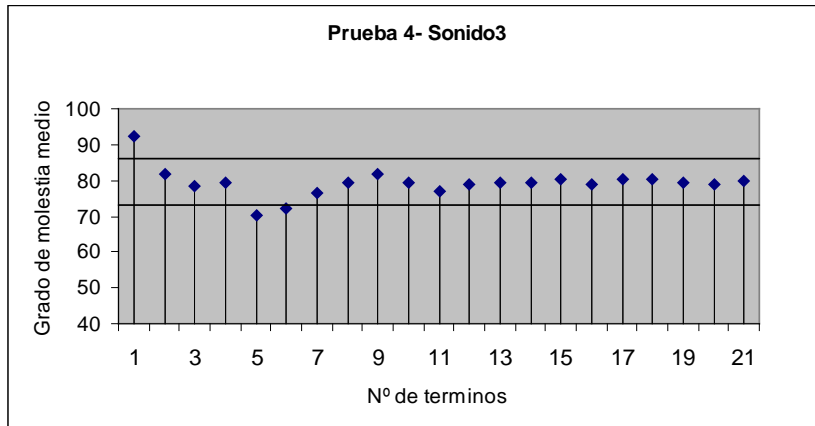
El último valor del eje x que se encuentre fuera de las dos líneas horizontales mas 1, será el número de individuos mínimo que se debe someter a la prueba para lograr datos validos en cuanto a promedios de los resultados de todos los sujetos.









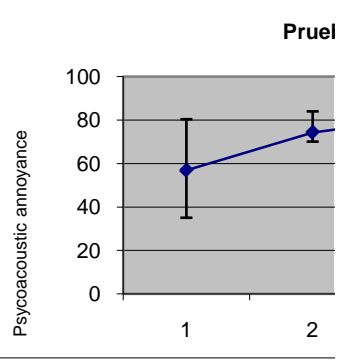
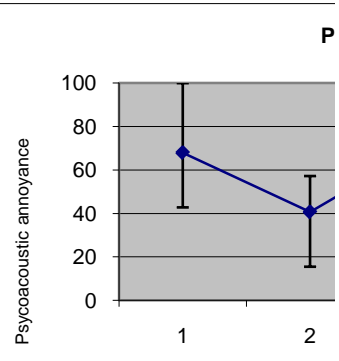


7. BIBLIOGRAFIA

7. BIBLIOGRAFIA

- PSYCHOACOUSTICS: FACTS AND MODELS. Hugo Fastl y Eberhard Zwicker.
- WWW.WIKIPEDIA.COM
- [HTTP://WWW.ACOUSTICS.SALFORD.AC.UK/RES/COX/SOUND_QUALITY/INDEX.PHP](http://WWW.ACOUSTICS.SALFORD.AC.UK/RES/COX/SOUND_QUALITY/INDEX.PHP). Página web de la Universidad de Salford.

	valor de Psychoacoustic annoyance subjetivo				valor de Psychoacoustic annoyance normal	
	sonido1	sonido2	sonido3	sonido4	sonido1	sonido2
prueba1	100	10	92	68	68	41
prueba2	84	100	81	91	71	65
prueba3	80	88	100	81	57	74
prueba4	100	76	92	73	85	47
prueba1	85	66	83	100		
prueba2	84	69	52	100		
prueba3	80	57	100	58	valor de Psychoacoustic annoyance normal	
prueba4	100	51	72	86		
prueba1	100	27	86	69	82	49
prueba2	100	31	83	68	86	79
prueba3	46	84	100	64	68	88
prueba4	88	53	71	100	100	55
prueba1	80	40	100	93		
prueba2	42	76	100	75		
prueba3	77	88	100	86		
prueba4	94	83	82	100		
prueba1	43	82	100	11		
prueba2	11	100	74	37		
prueba3	37	73	47	100		
prueba4	95	59	35	100		
prueba1	59	44	77	100		
prueba2	59	77	77	100		
prueba3	87	80	82	100		
prueba4	63	100	82	81		
prueba1	32	76	17	100		
prueba2	100	60	35	88		
prueba3	35	77	36	100		
prueba4	81	0	100	0		
prueba1	72	0	53	100		
prueba2	100	75	56	94		
prueba3	32	80	32	100		
prueba4	74	39	100	44		
prueba1	52	42	68	100		
prueba2	100	18	0	39		
prueba3	36	78	62	100		
prueba4	88	12	100	26		
prueba1	100	76	49	26		
prueba2	100	53	26	75		
prueba3	38	70	100	54		
prueba4	100	21	60	81		
prueba1	100	15	58	82		
prueba2	100	20	50	72		
prueba3	28	78	100	79		
prueba4	100	6	52	100		
prueba1	36	0	70	100		
prueba2	14	40	72	100		
prueba3	9	34	65	100		
prueba4	77	27	100	74		
prueba1	100	29	89	65		
prueba2	100	89	63	79		
prueba3	64	79	100	90		
prueba4	94	20	82	100		
prueba1	100	41	78	72		
prueba2	49	78	93	100		



prueba3	93	78	100	75
prueba4	100	68	85	90
prueba1	90	50	100	90
prueba2	100	90	80	90
prueba3	90	90	100	90
prueba4	90	50	90	100
prueba1	14	11	100	90
prueba2	38	100	38	79
prueba3	100	53	53	82
prueba4	74	69	59	100
prueba1	50	26	73	100
prueba2	19	53	61	100
prueba3	60	80	100	66
prueba4	80	30	100	60
prueba1	78	100	72	68
prueba2	100	73	67	69
prueba3	73	100	79	89
prueba4	100	83	87	88
prueba1	70	50	70	100
prueba2	60	70	80	100
prueba3	80	100	90	60
prueba4	80	100	60	80
prueba1	29	57	92	100
prueba2	37	54	11	100
prueba3	15	53	77	100
prueba4	35	10	66	100
prueba1	38	10	48	100
prueba2	100	45	13	76
prueba3	32	42	100	89
prueba4	69	24	100	60

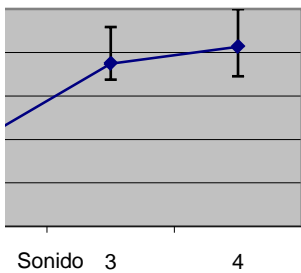
oyance subjetivo (media)
sonido3 sonido4

75	83	-1,00	1,00	-1,00	-1	1
58	82	1,00	-1,00	1,00	-1	-1
82	84	1,00	1,00	-1,00	1	1
80	78	-1,00	1,00	-1,00	-1	1

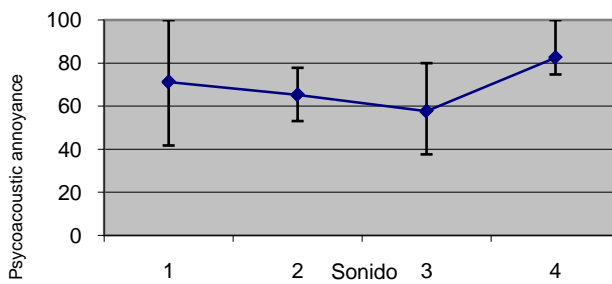
oyance subjetivo (media)
realizado a 100

91	100	-1,00	1,00	-1,00
70	100	-1,00	1,00	-1,00
98	100	1,00	1,00	-1,00
94	92	-1,00	1,00	1,00

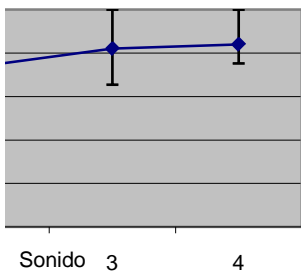
Prueba 1



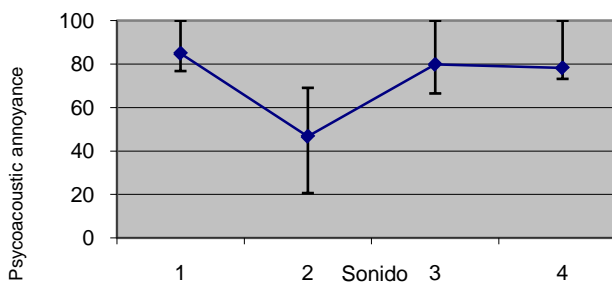
Prueba 2



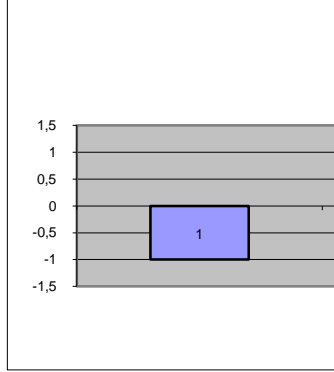
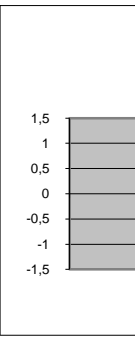
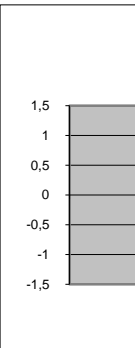
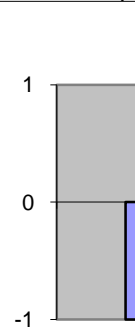
Prueba 3



Prueba 4

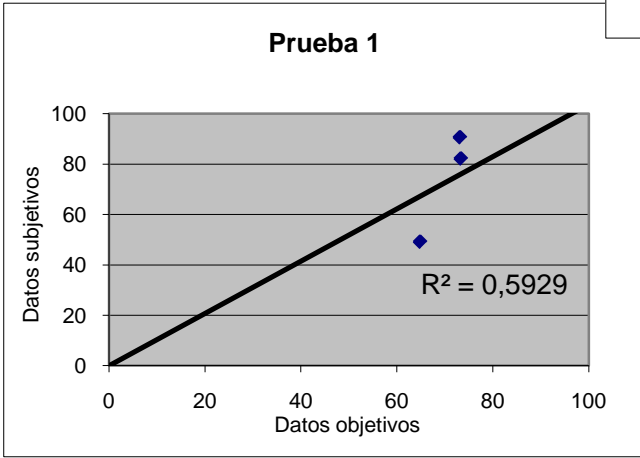
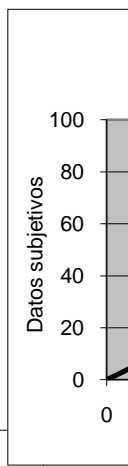


1,00	-1,00	1,00
-1,00	1,00	-1,00
-1,00	-1,00	-1,00
-1,00	-1,00	1,00
1,00	1,00	-1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	-1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	-1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00

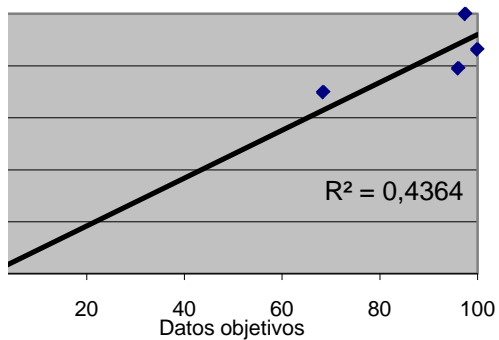


-1,00	1,00	-1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	-1,00
-1,00	-1,00	1,00
0,00	1,00	-1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	-1,00
1,00	-1,00	1,00
-1,00	0,00	1,00
-1,00	-1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	-1,00
-1,00	1,00	-1,00
1,00	-1,00	-1,00
-1,00	-1,00	1,00
1,00	-1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00
1,00	-1,00	-1,00
1,00	-1,00	1,00
1,00	1,00	1,00
1,00	-1,00	1,00
1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	1,00	1,00
-1,00	-1,00	1,00
1,00	1,00	-1,00
-1,00	1,00	-1,00

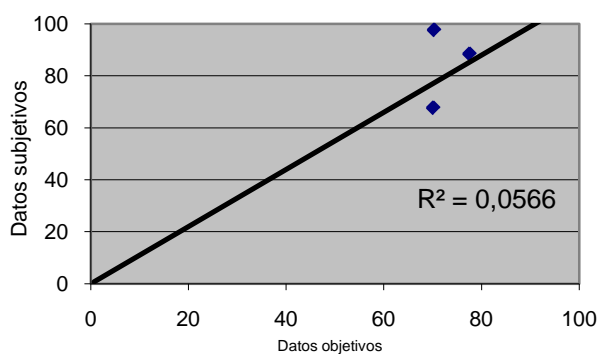
OBJ	sonido1	sonido2	sonido3	sonido4
prueba1	73,35	64,88	73,16	100,00
prueba2	100,00	96,08	68,39	97,52
prueba3	70,14	77,57	70,32	100,00
prueba4	84,26	77,43	100,00	77,43
SUBJ	sonido1	sonido2	sonido3	sonido4
prueba1	82,2136059	49,1927581	90,6529732	100,000922
prueba2	86,3346957	79,0623048	69,8812901	99,9987185
prueba3	67,7247022	88,4552488	97,6519309	100,000731
prueba4	100,005014	55,0244585	93,9914016	92,1295361



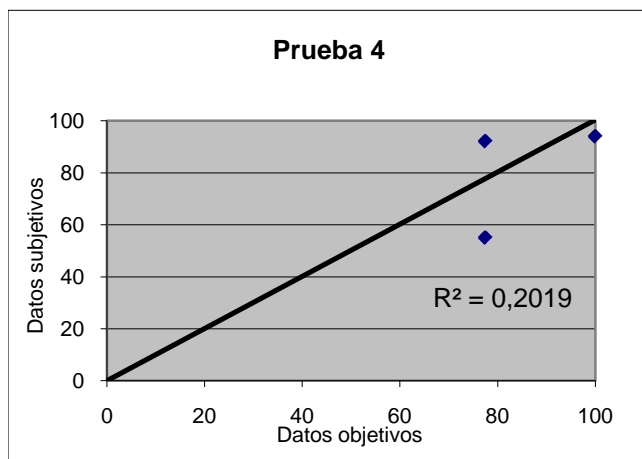
Prueba 2



Prueba 3



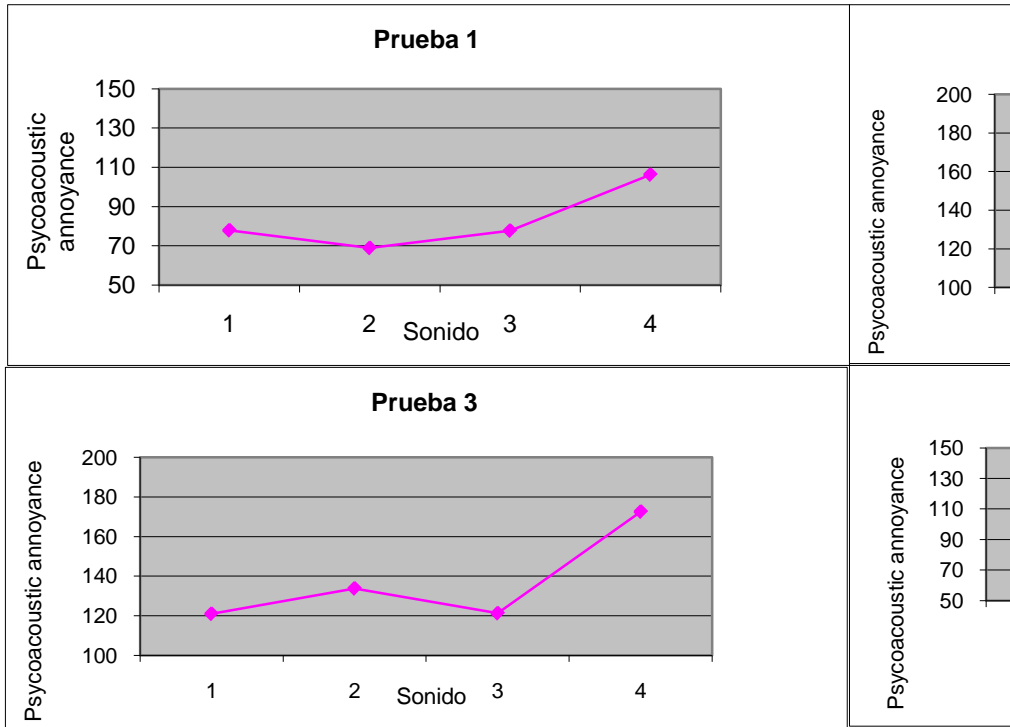
Prueba 4



]

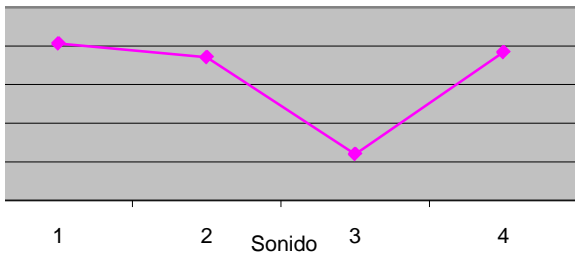
valor de Psychoacoustic annoyance objetivo

	sonido1	sonido2	sonido3	sonido4	
prueba1	73,35	64,88	73,16	100,00	-1
prueba2	100,00	96,08	68,39	97,52	-1
prueba3	70,14	77,57	70,32	100,00	1
prueba4	84,26	77,43	100,00	77,43	-1

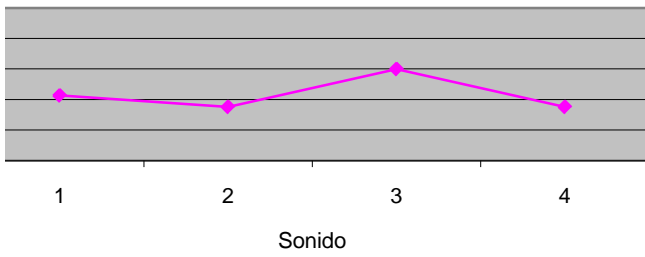


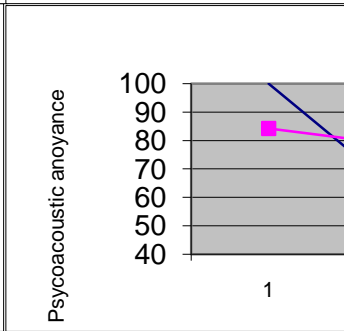
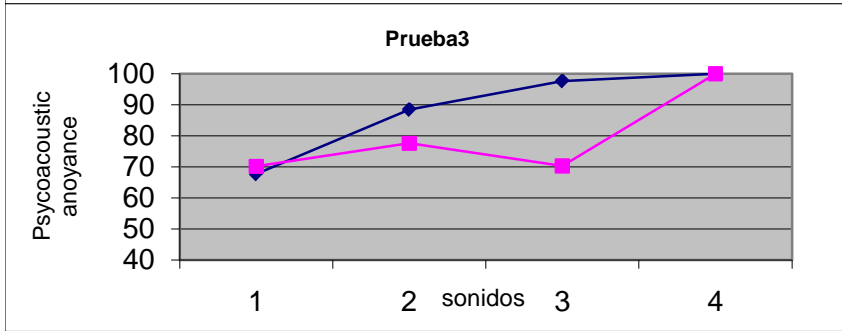
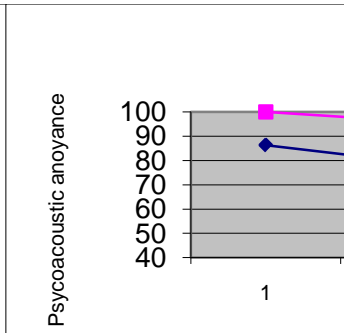
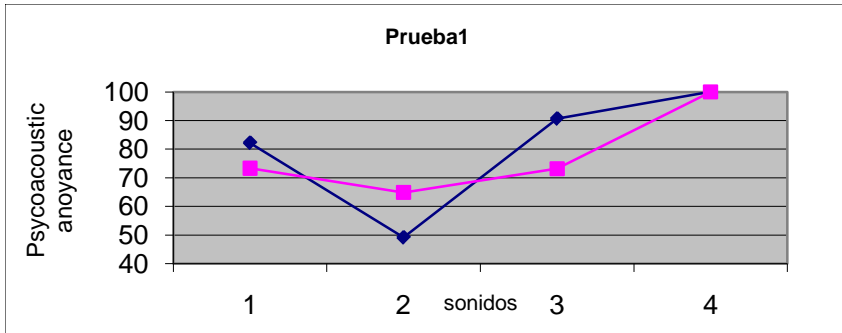
1	1	77,90	68,90	77,70	106,20
-1	1	181,30	174,20	124,00	176,80
-1	1	121,00	133,80	121,30	172,50
1	-1	92,60	85,10	109,90	85,10

Prueba 2

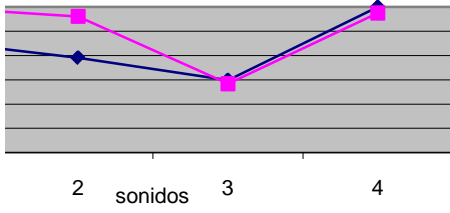


Prueba 4

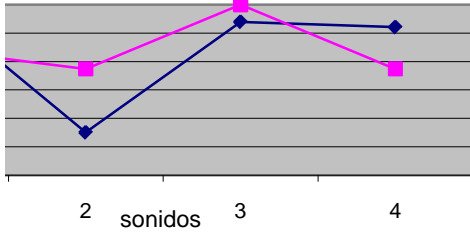




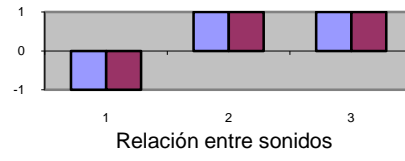
Prueba2



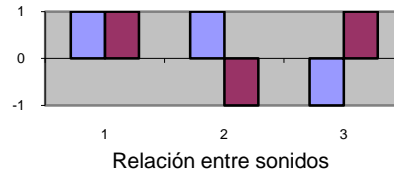
Prueba4



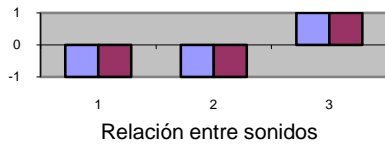
Prueba 1



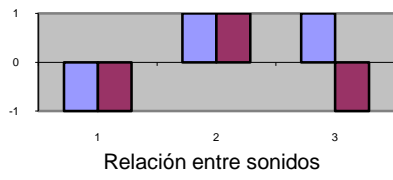
Prueba 3



Prueba 2



Prueba 4



chi 3-4

0,04761905

10,7142857

0,42857143

1,19047619

	valor de Psychoacoustic annoyance subjetivo				nº de terminos	sonido1
	sonido1	sonido2	sonido3	sonido4		
prueba1	100	10	92	68	1	100
prueba2	84	100	81	91	1	84
prueba3	80	88	100	81	1	80
prueba4	100	76	92	73	1	100
prueba1	85	66	83	100	2	92
prueba2	84	69	52	100	2	84
prueba3	80	57	100	58	2	80
prueba4	100	51	72	86	2	100
prueba1	100	27	86	69	3	95
prueba2	100	31	83	68	3	89
prueba3	46	84	100	64	3	69
prueba4	88	53	71	100	3	96
prueba1	80	40	100	93	4	91
prueba2	42	76	100	75	4	77
prueba3	77	88	100	86	4	71
prueba4	94	83	82	100	4	95
prueba1	43	82	100	11	5	81
prueba2	11	100	74	37	5	64
prueba3	37	73	47	100	5	64
prueba4	95	59	35	100	5	95
prueba1	59	44	77	100	6	78
prueba2	59	77	77	100	6	63
prueba3	87	80	82	100	6	68
prueba4	63	100	82	81	6	90
prueba1	32	76	17	100	7	71
prueba2	100	60	35	88	7	68
prueba3	35	77	36	100	7	63
prueba4	81	0	100	0	7	89
prueba1	72	0	53	100	8	71
prueba2	100	75	56	94	8	72
prueba3	32	80	32	100	8	59
prueba4	74	39	100	44	8	87
prueba1	52	42	68	100	9	69
prueba2	100	18	0	39	9	75
prueba3	36	78	62	100	9	57
prueba4	88	12	100	26	9	87
prueba1	100	76	49	26	10	72
prueba2	100	53	26	75	10	78
prueba3	38	70	100	54	10	55
prueba4	100	21	60	81	10	88
prueba1	100	15	58	82	11	75
prueba2	100	20	50	72	11	80
prueba3	28	78	100	79	11	53
prueba4	100	6	52	100	11	89
prueba1	36	0	70	100	12	71
prueba2	14	40	72	100	12	74
prueba3	9	34	65	100	12	49
prueba4	77	27	100	74	12	88
prueba1	100	29	89	65	13	74
prueba2	100	89	63	79	13	76
prueba3	64	79	100	90	13	50
prueba4	94	20	82	100	13	89
prueba1	100	41	78	72	14	76
prueba2	49	78	93	100	14	74

prueba3	93	78	100	75	14	53
prueba4	100	68	85	90	14	90
prueba1	90	50	100	90	15	77
prueba2	100	90	80	90	15	76
prueba3	90	90	100	90	15	56
prueba4	90	50	90	100	15	90
prueba1	14	11	100	90	16	73
prueba2	38	100	38	79	16	74
prueba3	100	53	53	82	16	58
prueba4	74	69	59	100	16	89
prueba1	50	26	73	100	17	71
prueba2	19	53	61	100	17	71
prueba3	60	80	100	66	17	58
prueba4	80	30	100	60	17	88
prueba1	78	100	72	68	18	72
prueba2	100	73	67	69	18	72
prueba3	73	100	79	89	18	59
prueba4	100	83	87	88	18	89
prueba1	70	50	70	100	19	72
prueba2	60	70	80	100	19	72
prueba3	80	100	90	60	19	60
prueba4	80	100	60	80	19	88
prueba1	29	57	92	100	20	69
prueba2	37	54	11	100	20	70
prueba3	15	53	77	100	20	58
prueba4	35	10	66	100	20	86
prueba1	38	10	48	100	21	68
prueba2	100	45	13	76	21	71
prueba3	32	42	100	89	21	57
prueba4	69	24	100	60	21	85

valor de media acumulada		
sonido2	sonido3	sonido4

10	92	68	100	10	92
100	81	91	92	38	87
88	100	81	95	35	87
76	92	73	91	36	90
38	87	84	81	45	92
84	66	96	78	45	90
72	100	70	71	50	79
63	82	80	71	43	76
35	87	79	69	43	75
66	72	86	72	46	72
76	100	68	75	44	71
60	78	86	71	40	71
36	90	83	74	39	72
69	79	83	76	39	73
79	100	72	77	40	75
66	79	90	73	38	76
45	92	68	71	37	76
75	78	74	72	41	76
78	89	78	72	41	75
64	70	92	69	42	76
45	90	74	68	41	75
76	78	78			
78	88	82			
70	72	90			
50	79	77	80	88	100
73	72	80	80	72	100
78	81	84	69	76	100
60	76	77	71	79	100
43	76	80	64	78	89
73	70	82	68	78	88
78	75	86	63	78	81
58	79	73	59	78	75
43	75	82	57	78	73
67	62	77	55	77	76
78	73	88	53	78	78
53	82	68	49	74	77
46	72	77	50	74	79
66	58	77	53	75	80
77	76	84	56	76	82
49	79	69	58	74	80
44	71	77	58	74	81
62	58	76	59	76	81
78	78	84	60	77	81
45	77	72	58	76	81
40	71	79	57	74	82
60	59	78			
74	77	85			
44	79	72			
39	72	78			
62	59	78			
74	79	86			
42	79	74			
39	73	78			
63	61	80			

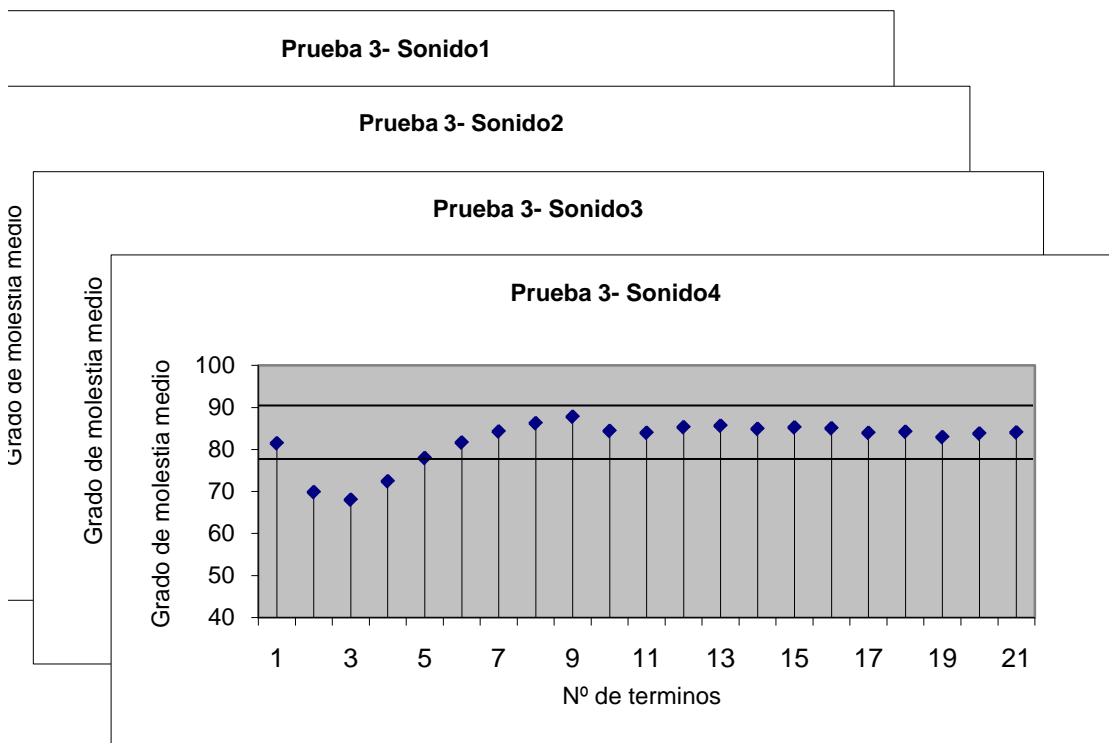
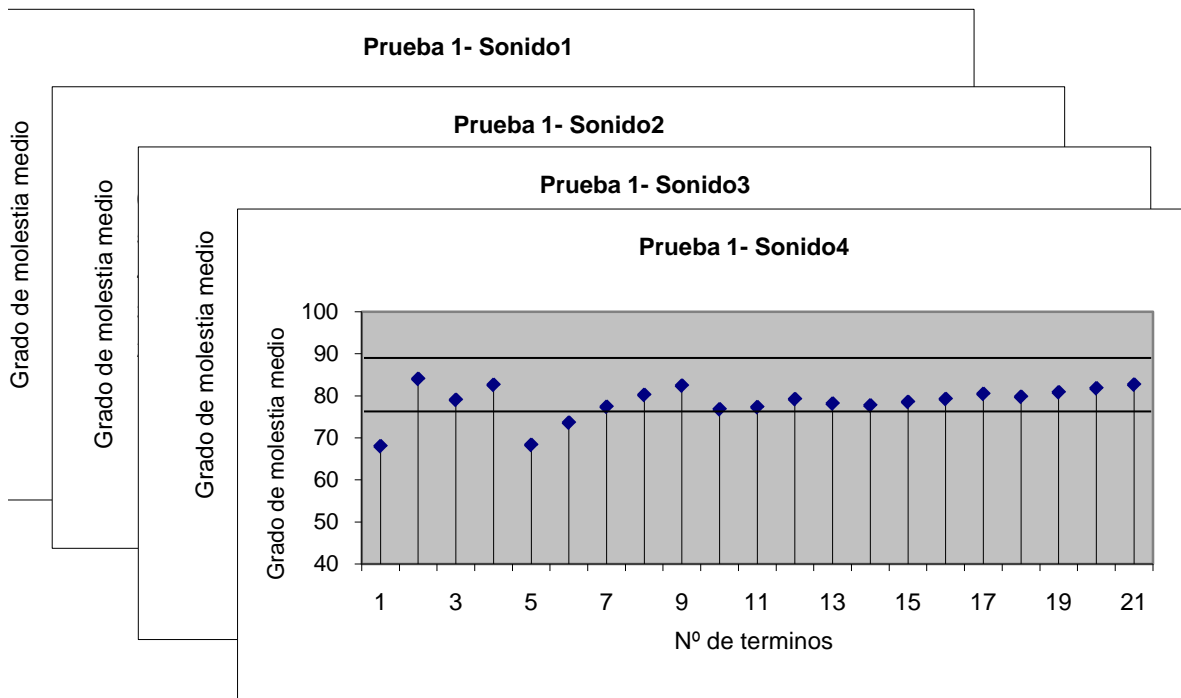
75	80	85
44	80	75
40	75	79
65	63	81
76	82	85
44	80	77
38	76	79
67	61	80
74	80	85
46	79	78
37	76	80
66	61	82
74	81	84
45	80	77
41	76	80
67	61	81
76	81	84
47	81	78
41	75	81
67	62	82
77	81	83
50	79	78
42	76	82
66	60	83
76	81	84
48	79	79
41	75	83
65	58	82
74	82	84
47	80	78

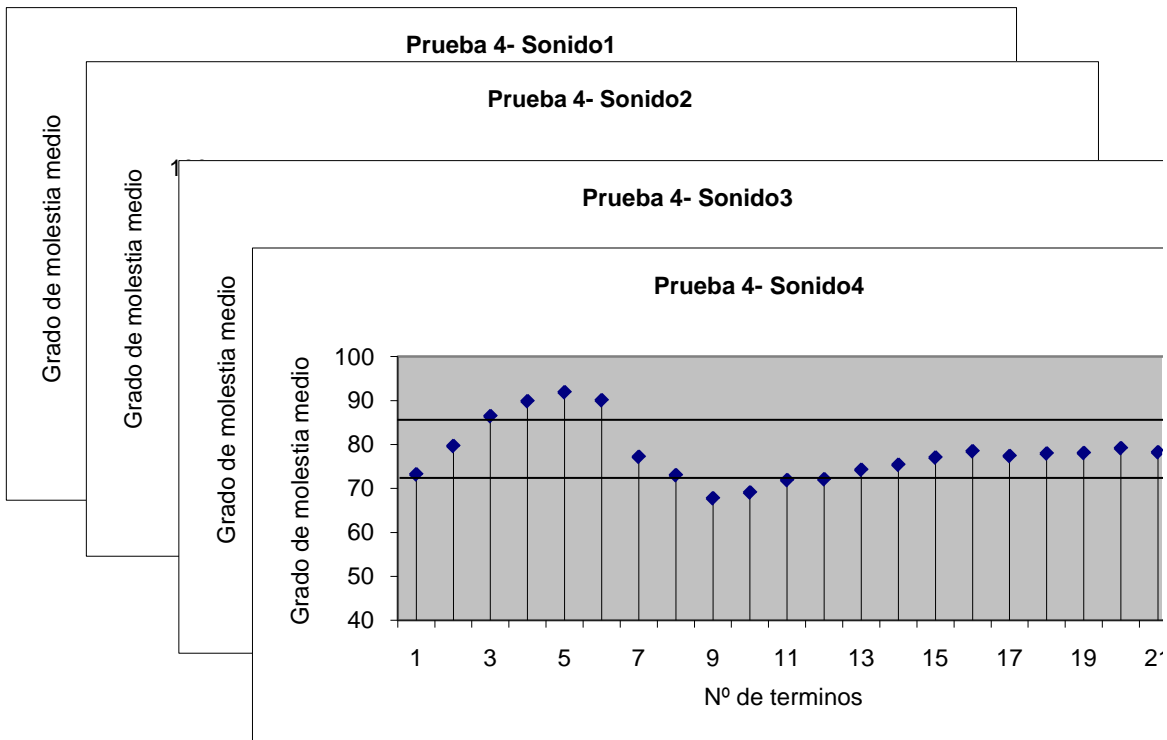
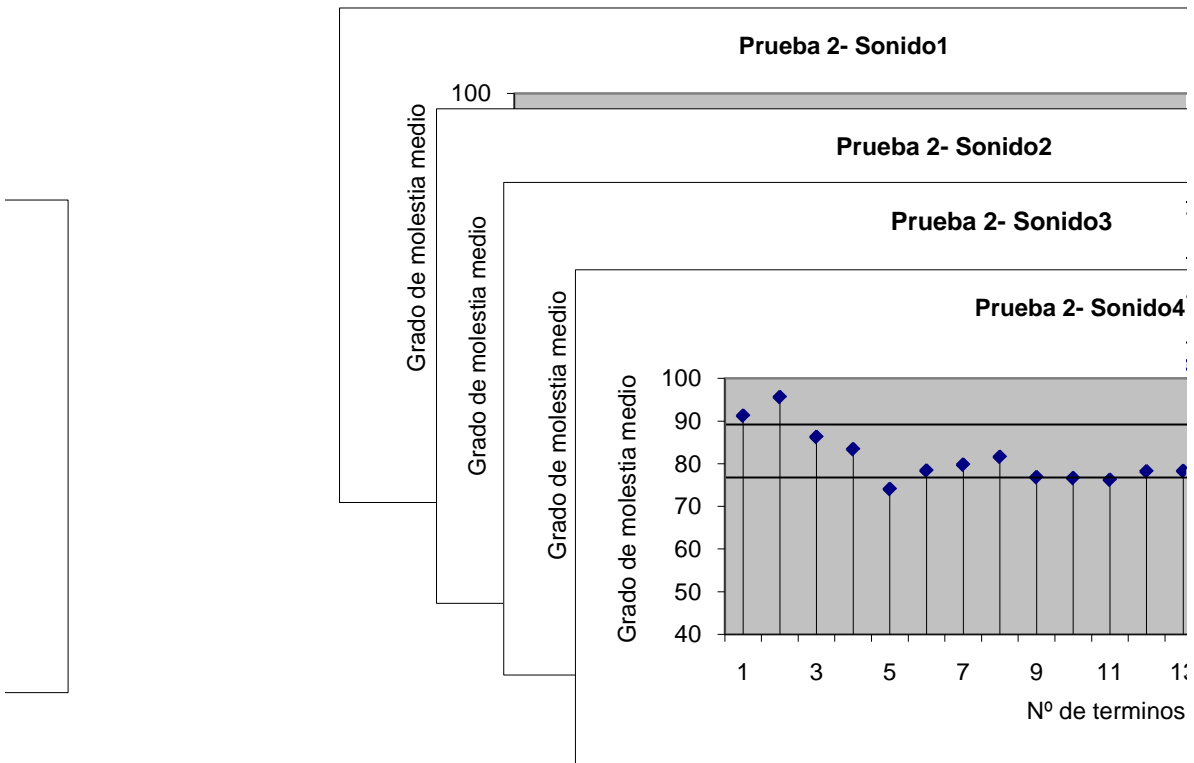
68	84	100	81	91
84	84	84	66	96
79	89	66	72	86
83	77	69	79	83
68	64	75	78	74
74	63	76	78	78
77	68	73	72	80
80	72	73	70	82
82	75	67	62	77
77	78	66	58	77
77	80	62	58	76
79	74	60	59	78
78	76	62	59	78
78	74	63	61	80
79	76	65	63	81
79	74	67	61	80
80	71	66	61	82
80	72	67	61	81
81	72	67	62	82
82	70	66	60	83
83	71	65	58	82

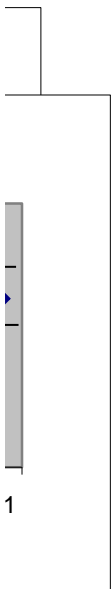
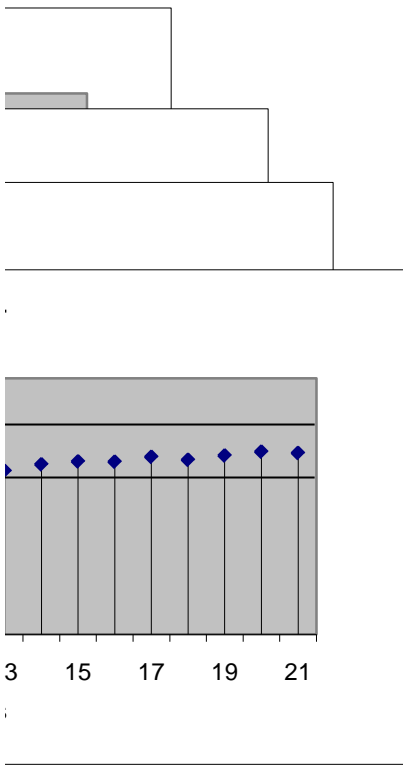
81	100	76	92	73
70	100	63	82	80
68	96	60	78	86
72	95	66	79	90
78	95	64	70	92
82	90	70	72	90
84	89	60	76	77
86	87	58	79	73
88	87	53	82	68
84	88	49	79	69
84	89	45	77	72
85	88	44	79	72
86	89	42	79	74
85	90	44	80	75
85	90	44	80	77
85	89	46	79	78
84	88	45	80	77
84	89	47	81	78
83	88	50	79	78
84	86	48	79	79
84	85	47	80	78

Grado de molestia medio

Grado de molestia media







	s1	s2	s3	s4		s1
p1	100,00	9,79	91,75	68,04	p2	83,51
	84,54	66,49	82,99	100,00		83,51
	100,00	27,32	86,08	69,07		100,00
	80,00	40,00	100,00	93,30		41,75
	42,78	82,47	100,00	11,34		11,34
	58,76	44,33	77,32	100,00		58,76
	31,96	76,29	17,01	100,00		100,00
	71,65	0,00	52,58	100,00		100,00
	52,06	41,75	67,53	100,00		100,00
	100,00	76,29	48,97	26,29		100,00
	100,00	15,46	58,25	82,47		100,00
	36,08	0,00	70,10	100,00		13,92
	100,00	28,87	88,66	65,46		100,00
	100,00	40,72	78,35	72,16		49,48
	90,00	50,00	100,00	90,00		100,00
	13,92	10,82	100,00	89,69		38,14
	50,00	25,77	72,68	100,00		18,56
	78,35	100,00	71,65	68,04		100,00
	70,00	50,00	70,00	100,00		60,00
	28,87	57,22	91,75	100,00		36,60
	38,14	10,31	47,94	100,00		100,00
percentil 75	32,04	16,55	16,82	17,34	percentil 75	28,78
percentil 25	25,17	25,20	7,41	13,59	percentil 25	29,46

p3	80,41	87,63	100,00	81,44	p4	100,00
	80,41	56,70	100,00	58,25		100,00
	46,39	84,02	100,00	64,43		87,63
	77,32	87,63	100,00	85,57		94,33
	37,11	73,20	47,42	100,00		94,85
	87,11	79,90	81,96	100,00		63,40
	35,05	76,80	35,57	100,00		81,44
	31,96	80,41	32,47	100,00		74,23
	36,08	78,35	61,86	100,00		88,14
	38,14	70,10	100,00	54,12		100,00
	27,84	77,84	100,00	79,38		100,00
	8,76	34,02	65,46	100,00		76,80
	64,43	78,87	100,00	89,69		94,33
	93,30	77,84	100,00	75,26		100,00
	90,00	90,00	100,00	90,00		90,00
	100,00	52,58	52,58	81,96		74,23
	60,00	80,00	100,00	66,49		80,00
	73,20	100,00	78,87	88,66		100,00
	80,00	100,00	90,00	60,00		80,00
	14,95	53,09	76,80	100,00		34,54
	32,47	41,75	100,00	89,18		69,07
percentil 75	23,51	9,70	17,95	15,98	percentil 75	15,10
percentil 25	21,85	4,22	16,58	8,76	percentil 25	8,10

s2	s3	s4
100,00	80,93	91,24
68,56	51,55	100,00
30,93	82,99	67,53
76,29	100,00	74,74
100,00	74,23	36,60
77,32	76,84	100,00
59,79	34,54	88,14
74,74	56,19	94,33
17,53	0,00	38,66
53,09	25,77	74,74
19,59	50,00	72,16
40,00	71,65	100,00
88,66	62,89	79,38
77,84	93,30	100,00
90,00	80,00	90,00
100,00	37,63	79,38
53,09	60,82	100,00
72,68	67,01	69,07
70,00	80,00	100,00
54,12	10,82	100,00
45,36	13,40	76,29
12,62	22,35	17,51
12,13	20,02	7,75

76,29	92,27	73,20
50,52	71,65	86,08
53,09	70,62	100,00
82,99	82,47	100,00
59,28	34,54	100,00
100,00	82,47	80,93
0,00	100,00	0,00
39,18	100,00	43,81
11,86	100,00	25,77
20,62	60,31	80,93
6,19	52,06	100,00
26,80	100,00	74,23
20,10	82,47	100,00
68,04	84,54	90,21
50,00	90,00	100,00
69,07	58,76	100,00
30,00	100,00	60,00
82,99	87,11	87,63
100,00	60,00	80,00
10,31	66,49	100,00
23,71	100,00	59,79
22,36	20,20	21,78
26,10	13,30	5,02