

Prácticas de Electroacústica

Pedro M. Núñez Trujillo

2010

ÍNDICE GENERAL

I	El Audio Toolbox (1)	6
1.	Introducción	7
2.	Opciones del AT	7
2.1.	Nivel de presión sonora (SPL)	7
2.2.	Analizador de tiempo real (RTA)	8
2.3.	Medidor de polaridad	9
2.4.	Criterio de ruido (NC)	9
3.	Trabajo a realizar	11
3.1.	Nivel de presión sonora (SPL)	11
3.2.	Analizador de tiempo real (RTA)	11
3.3.	Medidor de polaridad	12
3.4.	Criterio de ruido (NC)	12
II	El Audio ToolBox (2)	13
1.	Introducción	14
2.	Generador de señales del AT	14
2.1.	Pantalla principal	14
2.2.	El medidor de SPL	15
2.3.	El analizador de tiempo real	15
3.	Trabajo a realizar	15
3.1.	Familiarización	15
3.2.	El altavoz auto-amplificado	16
3.3.	El medidor de SPL	16
3.3.1.	Procedimiento de medida	16
3.3.2.	Medición de señales	17
3.4.	El analizador de tiempo real	18
III	El osciloscopio digital	19
1.	Introducción	20

2. Osciloscopios digitales	20
2.1. Disparo	20
2.2. Adquisición de datos	21
2.3. Realizar medidas	21
2.4. Autoconfigurar	22
2.5. Almacenar/Recuperar	22
2.6. FFT	22
3. Generador de funciones HM8030-5	22
4. Trabajo a realizar	23
4.1. Señal sinusoidal	23
4.2. Señal cuadrada	24
4.3. Señal triangular	24
4.4. FFT	24
IV Distorsión armónica	25
1. Introducción	26
2. Distorsión armónica total	26
3. Aparatos de medición	27
3.1. Medidor de distorsión HM8027	27
3.2. Osciloscopio digital	28
3.3. Audio Toolbox	28
4. Trabajo a realizar	29
4.1. Medidor de distorsión HM8027	29
4.2. Osciloscopio digital	29
4.3. Audio Toolbox	30
V Sensibilidad y ganancia	31
1. Introducción	32
2. Sensibilidad	32
3. Ganancia	33

4. Trabajo a realizar	33
4.1. Micrófono	33
4.2. Altavoz	34
VI Frecuencia de resonancia	36
1. Introducción	37
2. Oscilaciones amortiguadas	37
3. Trabajo a realizar	38
VII Redes de cruce	40
1. Introducción	41
2. Respuesta de la red de cruce	41
3. Trabajo a realizar	43
3.1. Conexiones	43
3.2. Mediciones	43
VIII El Audio Toolbox (3)	44
1. Introducción	45
2. Gráfico de energía-tiempo	45
3. Osciloscopio	46
4. Medidor de niveles/frecuencias	46
5. Trabajo a realizar	46
5.1. Gráfico de energía-tiempo	46
5.2. Osciloscopio	47
5.3. Medidor de niveles/frecuencia	48

IX	Impedancia de entrada a un altavoz	49
1.	Introducción	50
2.	Impedancia de entrada	50
3.	Trabajo a realizar	51
X	WinISD	52
1.	Introducción	53
2.	El programa <i>WinISD</i>	53
2.1.	Ejemplo de uso	53
2.2.	<i>Project Window</i>	54
2.3.	Tipos de gráficas	55
3.	Trabajo a realizar	56
3.1.	Primer sistema	57
3.2.	Segundo sistema	57
3.3.	Tercer sistema	58
XI	Anexo I	59
1.	Medios	60
2.	Cuestiones y tareas	65
3.	Tablas de datos a obtener	71
XII	Anexo II	78
XIII	Normas para la realización de documentos de trabajos	79
1.	Objetivos	80
2.	Rango de aplicación	80

3. Aspectos Generales	80
4. Memorias	82
4.1. Textos	84
4.2. Imágenes	85
4.3. Ecuaciones	85
4.4. Tablas	86
5. Desarrollo de la normativa	86

Práctica I

El Audio Toolbox (1)

1 INTRODUCCIÓN

La herramienta *The Audio Toolbox* (AT) de *Terrasonde* permite realizar numerosas funciones de interés en el trabajo con sistemas electroacústicos. En esta práctica se pretende que el alumno trabaje algunas de estas funciones relativas al análisis acústico: medidor de nivel de presión sonora, analizador de tiempo real, medidor de polaridad y obtención del nivel de criterio de ruido. El trabajo a realizar consistirá en la toma de medidas en el laboratorio, usando las distintas opciones del AT; y en el análisis e interpretación de los resultados que se obtienen en cada caso.

2 OPCIONES DEL AT

Se describen a continuación las principales opciones para el análisis acústico que ofrece el AT, y que se van a utilizar en esta práctica. Para obtener información más detallada sobre estas y otras opciones del AT se pueden consultar los manuales.

2.1. Nivel de presión sonora (SPL)

Una de las opciones que ofrece el AT es medir el SPL de una señal acústica. Para ello el AT necesita captar la señal correspondiente, mediante su propio micrófono interno o mediante un micrófono externo que se le conecte. Una vez captada la señal el AT la procesa y muestra el resultado por pantalla.

El AT ofrece diferentes posibilidades a la hora de mostrar los resultados por pantalla. Entre éstas se encuentra la aplicación a la señal que se capta de diferentes promedios en tiempo y filtros de frecuencia. Los promedios en tiempo permiten controlar el intervalo de tiempo al que hacen referencia los resultados que se muestran por pantalla. Los filtros en frecuencia pesan de distinta manera las componentes espectrales de la señal que llega al AT.

Las opciones de promedio temporal que ofrece el AT son:

- *Slow*: Promedio con ponderación exponencial en tiempo de la señal que ha llegado al AT. El peso de cada parte de la señal en este promediado decrece exponencialmente con el tiempo transcurrido desde la captación por parte del AT. El decaimiento exponencial es más suave que con la opción *Fast*.

- *Fast*: Igual que *Slow*, pero con un decaimiento exponencial más acentuado.
- *Imp*: El decaimiento exponencial es muy rápido cuando la señal que llega al AT crece en intensidad, y muy lento cuando disminuye.
- *Peak*: Se muestra por pantalla el valor extremo detectado en un cierto intervalo de tiempo. Con esta opción no se realizan promediados.
- *LEQ*: Opción de promediado sin ningún tipo de ponderación. Se puede establecer un tiempo de inicio y un tiempo de finalización para la obtención de resultados por pantalla.

Los filtros en frecuencia que se pueden aplicar a la señal que se recibe son: A, B, C y FLAT (no aplicar ningún filtro). Los filtros de ponderación *ANSI* A, B y C se desarrollaron, originalmente, para modelar el comportamiento del oído humano; que no se comporta de igual manera a todas las frecuencias ni intensidades. El filtro de ponderación A se diseñó para modelar el comportamiento del oído a intensidades bajas ($< 55 \text{ dB}_{\text{SPL}}$). Por su parte, al diseñar el filtro C se pensaba en el modelado del comportamiento a intensidades altas ($> 85 \text{ dB}_{\text{SPL}}$). Por último, con el filtro de ponderación B se modela el comportamiento a intensidades intermedias. En la figura 2.1 se representan las curvas correspondientes a estos tres filtros.

2.2. Analizador de tiempo real (RTA)

En un RTA, la señal de entrada se divide primeramente en varias ramas. Luego, cada rama se hace pasar por un filtro paso banda diferente. Cada filtro se centra en una frecuencia diferente y entre ellos apenas existe solapamiento. Finalmente, a la salida de cada filtro se realiza una medida del SPL, y los resultados obtenidos se muestran en una gráfica de SPL frente a banda de frecuencia.

El AT simula el comportamiento de un RTA, permitiendo un cierto control sobre diferentes opciones. Es posible determinar si se quiere trabajar con toda la banda audible (*Full*) o sólo con el rango de bajas frecuencias (*Low*). El ancho de los filtros paso banda se puede regular seleccionando las opciones de *octava*, *1/3 octava*, ... También es posible elegir entre diferentes opciones para el promedio temporal a emplear en las mediciones: promedios exponenciales con caídas de 1 s, 3 s, ... o un promedio sin ponderación seleccionando la opción *Avg*.

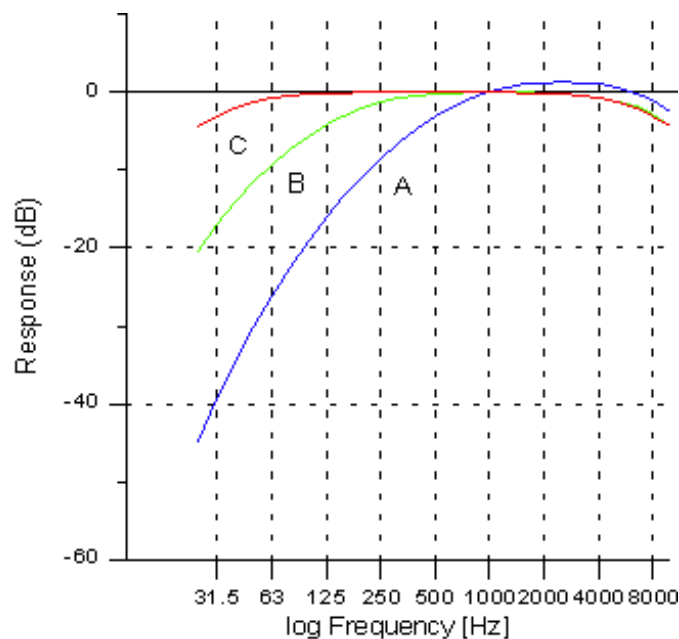


Figura 2.1: Filtros de ponderación *ANSI* A, B y C.

2.3. Medidor de polaridad

Al aplicar una señal eléctrica positiva a la entrada de un altavoz, a su salida se puede producir una presión sonora positiva o negativa; dependiendo de la polaridad que presente el sistema. Así, dos altavoces con polaridades opuestas radian en contrafase, mientras dos altavoces con polaridades iguales lo hacen en fase. El medidor de polaridad del AT permite determinar el comportamiento de un altavoz y/o micrófono, respecto a un sistema de referencia.

2.4. Criterio de ruido (NC)

El oído responde de distinta manera a los sonidos en función de la frecuencia y la intensidad. Por ejemplo, un sonido de baja frecuencia es menos molesto que uno de igual intensidad y mayor frecuencia. Y este efecto es más pronunciado para los sonidos de baja intensidad que para los de alta. Usando consideraciones de este tipo se ha establecido la norma *ANSI S12.2-1995* que permite comparar ruidos de distintas frecuencias e intensidades. En la figura 2.2 se muestran diferentes curvas correspondientes al criterio establecido por esta norma. Lo que hace el AT es dividir la señal de entrada en bandas de octava, determinar el NC correspondiente a cada banda, y sacar por pantalla el valor máximo determinado.

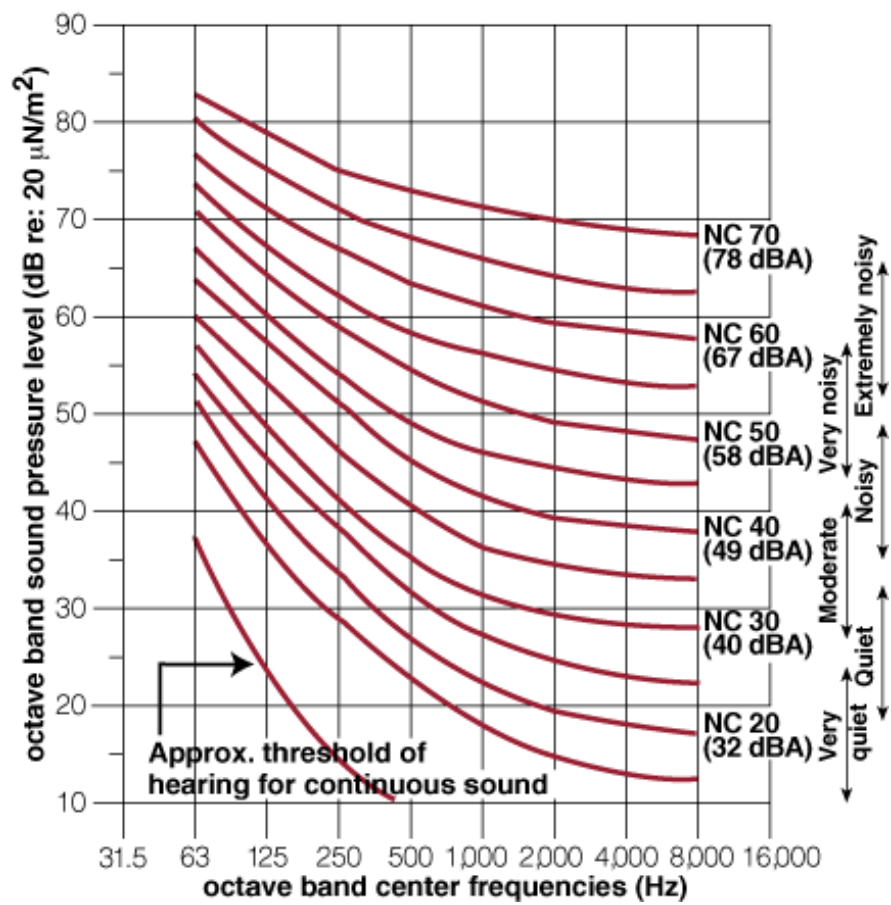


Figura 2.2: Curvas de criterio de ruido según la normativa *ANSI*.

3 TRABAJO A REALIZAR

Antes de comenzar a usar el AT será necesario comprender su interfaz de interacción con el usuario. Éste es muy intuitivo y se puede consultar en los manuales. Los elementos que componen el AT también se pueden consultar en los manuales.

3.1. Nivel de presión sonora (SPL)

Se pide que el alumno realice medidas empleando las diferentes posibilidades que ofrece el AT. Posteriormente se deberá comentar e interpretar el funcionamiento de las distintas opciones, a partir de las mediciones realizadas.

Para realizar las mediciones es necesario generar antes una señal acústica que capte el AT. Ésto se puede hacer, por ejemplo, hablando un alumno hacia el micrófono del AT, mientras su compañero toma nota de los resultados. Otra posibilidad es la generación de golpes secos y/o chasquidos cerca del micrófono interno del AT.

De manera concreta, se pide responder a las siguientes cuestiones:

- Hablando al micrófono del AT de manera “monótona”
 - ¿Qué diferencias se observan al variar las opciones de promediado temporal en el AT? ¿Cómo se interpreta ésto?
 - ¿Qué diferencias se observan al variar los filtros de ponderación en el AT? ¿Cómo se interpreta ésto?
- Generando golpes secos y/o chasquidos
 - ¿Qué diferencias se observan al variar las opciones de promediado temporal en el AT? ¿Cómo se interpreta ésto?
 - ¿Qué diferencias se observan al variar los filtros de ponderación en el AT? ¿Cómo se interpreta ésto?

3.2. Analizador de tiempo real (RTA)

Se pide que el alumno realice medidas empleando las diferentes posibilidades que ofrece el AT. Posteriormente se deberá comentar e interpretar el funcionamiento de las distintas opciones, a partir de las mediciones realizadas.

De manera concreta, se pide responder a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué ocurre cuando para una misma medición se estrecha el ancho de los filtros paso banda que se utilizan? ¿Cómo se interpreta esto?

3.3. Medidor de polaridad

Se pide determinar la polaridad que tiene el altavoz auto-amplificado de que se dispone en el puesto de trabajo. Para ello se conecta la salida del AT con la entrada *LINE 1* del altavoz utilizando un cable *Jack-Jack*. Es importante, antes de comenzar cualquier acción, que se sitúe el mando *TONE* en el punto medio y los mandos *MIC* y *MASTER* en la posición *MIN*. A continuación se activa la función en el AT y se sitúa su micrófono a la salida del altavoz. Entonces, mientras el mando *MIC* permanece siempre en la posición *MIN*, el mando *MASTER* se va subiendo con cuidado, hasta obtener la medición en la pantalla del AT.

3.4. Criterio de ruido (NC)

Se pide, en primer lugar, estimar el ruido existente en el laboratorio, empleando la función correspondiente del AT. A continuación, se pide hacer otra estimación, pero esta vez usando el RTA y las curvas de la figura 2.2. Para ello es necesario medir el ruido existente en la sala con el RTA del AT, en bandas de octava y promediando durante al menos 1 minuto. Con los valores que se obtienen y las curvas de la figura, se deduce entonces el criterio de ruido (NC) en cada banda de octava.

Práctica II

El Audio ToolBox (2)

1 INTRODUCCIÓN

En la *Práctica 1* se usaron varias de las posibilidades que ofrece el AT como medidor de señales acústicas. Ahora se trabajará con otras opciones del AT que permiten la generación de diversas señales de interés acústico: sinusoidales, cuadradas, ruido rosa, ruido blanco, ... El trabajo a realizar consistirá en la generación y medición simultáneas de diversas señales particulares con el AT. Para ello será necesario utilizar un altavoz auto-amplificado con el que reproducir las señales acústicas.

2 GENERADOR DE SEÑALES DEL AT

2.1. Pantalla principal

Seleccionando la opción *Signal Generator* en el menú *Test Functions* se accede a la pantalla principal del generador de señales acústicas del AT. También es posible acceder a esta pantalla seleccionando la opción *Gen* en otras pantallas del AT, como por ejemplo la pantalla principal del medidor de nivel de presión sonora. A continuación se resumen algunas de las posibilidades que ofrece la pantalla principal del generador del AT. En los manuales del aparato se puede obtener más información.

Sine-Square-White-... Tipo de señal acústica que se genera

off-on Generador de señales desconectado–conectado

coarse-fine El ajuste del *output level* se realiza a saltos grandes–pequeños

output level Valor de la señal que se genera en las salidas eléctricas del AT

XLR 1/4 bal-RCA unbal Salida eléctrica del AT a la que se hace referencia

dBu-dBV-Vave-... Unidades en las que se expresa el *output level*

octave-1/3 oct-fine El ajuste de la frecuencia se realiza en octavas–tercios de octava–de manera fina

1000 ***Hz*** Frecuencia

Sp/Hd on-off Altavoz interno del AT activado–desactivado

Gain Ganancia del altavoz interno

2.2. El medidor de SPL

Desde la pantalla del medidor de nivel de presión sonora se ofrecen algunas opciones, que permiten cierto control sobre la generación de las señales por parte del AT, sin la necesidad de acceder explícitamente a la pantalla principal del generador. Entre las posibilidades de control que se ofrecen en esta pantalla, destacamos las siguientes:

- Activar/desactivar el generador de señales
- Seleccionar el tipo de señal a generar y su frecuencia
- Atenuar/amplificar la señal que se genera en varios decibelios.

2.3. El analizador de tiempo real

Desde la pantalla del RTA sólo se puede generar ruido rosa al mismo tiempo que se realizan las mediciones; sin importar las selecciones que se hayan realizado en la pantalla principal del generador.

3 TRABAJO A REALIZAR

3.1. Familiarización

Antes de comenzar a utilizar el generador de funciones del AT, será necesario familiarizarse con su funcionamiento. Para ello, se pide que los alumnos realicen, antes de nada, prácticas con la pantalla principal del generador del AT; usando el altavoz interno del aparato para reproducir las señales. Se debe controlar en cada caso: el tipo de señal que se genera y su frecuencia; la intensidad de la señal a la salida del generador; y la ganancia del altavoz interno que se utiliza para reproducir.

3.2. El altavoz auto-amplificado

Para realizar las mediciones que se piden a continuación, es necesario utilizar un altavoz auto-amplificado para reproducir las señales que se generan con el AT. Ésto se consigue conectando la salida eléctrica del AT con la entrada *LINE 1* del altavoz auto-amplificado mediante el cable *Jack-Jack*. Ahora, al activar las señales acústicas del AT, éstas se reproducirán mediante el altavoz auto-amplificado. Sin embargo, no dejan de reproducirse en el altavoz interno mientras éste no sea deshabilitado.

Es importante, antes de comenzar a utilizar el altavoz auto-amplificado, situar el mando TONE en el punto medio y los mandos MIC y MASTER en la posición MIN. Cundo así sea necesario, el mando MASTER se moverá con cuidado. Además, el generador de señales del AT sólo debe permanecer encendido el tiempo necesario para las mediciones, apagándolo cuando no se esté utilizando (al cambiar de tipo de señal o frecuencia por ejemplo).

3.3. El medidor de SPL

Se pide medir el nivel de presión sonora para diferentes señales acústicas que se generan con el AT, y se reproducen mediante el altavoz auto-amplificado.

3.3.1. Procedimiento de medida

Las mediciones se realizarán desde la pantalla del medidor de nivel de presión sonora del AT; enfocando el micrófono interno del aparato directamente al centro del diafragma del altavoz auto-amplificado, lo más próximo posible sin llegar a tocarlo.

Por tratarse de un altavoz auto-amplificado, los resultados que se obtienen en las mediciones dependen completamente de la ganancia que se aplica en cada momento; la cual se controla mediante el mando *MASTER* del altavoz. Para poder comparar las mediciones que se van a realizar, es necesario fijar con anterioridad la posición de este mando. Para ello se deben seguir los pasos que se indican a continuación:

- En primer lugar, desde la pantalla del medidor de nivel de presión sonora, se selecciona generar una señal sinusoidal de 1 kHz. El atenuador/amplificador de la señal se sitúa en 0 dB.
- Se comienza a generar la señal con los mandos del altavoz auto-amplificado en su posición inicial.

- Se va subiendo con cuidado el mando *MASTER* del altavoz, hasta alcanzar una medición a la salida del altavoz auto-amplificado de 85 dB aproximadamente. Esta medición debe realizarse seleccionando el filtro de ponderación en frecuencia *FLAT*.
- Se toma nota del valor concreto que se obtiene en la medición del nivel de presión sonora, y se deja fijo el mando *MASTER* en la posición que se ha alcanzado.

La atenuación/amplificación de la señal en la pantalla del medidor de nivel de presión sonora, debe mantenerse en 0 dB para las siguientes mediciones, mientras no se indique expresamente lo contrario.

3.3.2. Medición de señales

Señales sinusoidales

Se pide medir y anotar el nivel de presión sonora que se obtiene para señales sinusoidales de diferentes frecuencias. De manera concreta se pide:

- Moverse entre 125 Hz y 8 kHz por bandas de octavas.
- Repetir las mediciones para dos filtros de ponderación en frecuencia distintos: A y C.

También se pide contestar, a la vista de los resultados que se obtengan, a las siguientes cuestiones

- ¿A qué se deben las diferencias que se obtienen en las mediciones cuando se varía la frecuencia?
- ¿A qué se deben las diferencias que se obtienen cuando se cambia de filtro de ponderación en frecuencia?

Señales cuadradas

Se pide medir y anotar el nivel de presión sonora que se obtiene para señales cuadradas de diferentes frecuencias. De manera concreta se pide:

- Moverse entre 125 Hz y 1 kHz por bandas de octavas.
- Repetir las mediciones para dos filtros de ponderación en frecuencia distintos: A y C.

También se pide responder a la siguiente cuestión:

- ¿A qué se deben las diferencias que se observan respecto a las señales sinusoidales de igual frecuencia?

Magnitud de la señal generada

Se pide medir y anotar el nivel de presión sonora que se obtiene para una señal sinusoidal de 1 kHz, cuando se varía la atenuación/amplificación que se le aplica. De manera concreta se pide:

- Considerar los valores de atenuación para la señal que se genera: 0 dB, -1 dB, -3 dB y -4 dB.

También se pide responder a la siguiente cuestión:

- ¿Cual es la relación que se observa entre la atenuación a la señal que se genera y el nivel de presión sonora que se mide en cada caso?

3.4. El analizador de tiempo real

Se pide en este apartado generar ruido rosa mediante el altavoz auto-amplificado y medirlo con el analizador de tiempo real¹. De manera concreta se pide:

- Promediar la medición que se realiza del ruido rosa durante al menos un minuto
- Anotar los resultados de la medición que se han obtenido para cada banda de octavas

Entonces, teniendo en cuenta que el ruido rosa es aquel cuyo espectro de frecuencias presenta una distribución constante por banda de octava, se pide responder a las siguientes cuestiones:

- ¿Se obtiene el resultado que se esperaba para ruido rosa?
- ¿Cuál es la explicación para los resultados que se obtienen?

¹Para realizar este apartado de la práctica ya se puede mover el mando *MASTER*, que debe permanecer fijo para las mediciones de nivel de presión sonora

Práctica III

El osciloscopio digital

1 INTRODUCCIÓN

En esta práctica se pretende que los alumnos se familiaricen con los osciloscopios de que se dispone en el laboratorio de *Electroacústica* (TDS-200 y TDS-3000 de *Tektronix*) así como con los generadores de funciones HM8030-5. Los primeros permiten el análisis de señales eléctricas de interés electroacústico, mientras con los segundos es posible generar estas señales. Estos dispositivos se deberán utilizar en varias de las prácticas de la asignatura. El trabajo a realizar en la práctica presente consiste en realizar diferentes mediciones, con los osciloscopios, de señales que se obtienen con el generador de funciones.

2 OSCILOSCOPIOS DIGITALES

Los osciloscopios se utilizan para analizar señales eléctricas que captan mediante alguno de sus canales (*CH1* o *CH2*) donde es posible acoplar sondas de captación. Con los osciloscopios digitales, lo primero que se hace con las señales que se captan es digitalizarlas. A continuación, se pueden realizar diversas operaciones sobre las señales digitalizadas, mostrándose los resultados por pantalla.

El interfaz de usuario de los osciloscopios digitales se basa en un sistema de menús bastante intuitivos, a los que se accede desde los botones de menú en el panel frontal. Para usar los osciloscopios digitales de una manera eficaz es importante que antes se tengan claros ciertos conceptos básicos que se tratan a continuación. Para obtener más información sobre el funcionamiento de los osciloscopios se pueden consultar los manuales de usuario.

2.1. Disparo

El disparo es la condición que determina el momento en el cual el osciloscopio muestra una forma de onda por pantalla. Uno de los posibles tipos de disparo (y el que se utilizará en estas prácticas) es el disparo por flanco, que consiste en la detección de un nivel y una pendiente particulares en la señal de entrada al osciloscopio. El osciloscopio se encuentra constantemente adquiriendo datos a la espera de que se produzca la condición de disparo. Los datos que se adquieren antes de que se produzca la condición, se utilizan para representar la parte izquierda de la forma de onda que se muestra por pantalla. Cuando se detecta un disparo, todavía se siguen adquiriendo datos

por un tiempo, para dibujar la forma de onda a la derecha del punto de disparo (que se señala en la pantalla mediante una T).

Después de que se detecte un suceso de disparo, por un tiempo, los siguientes sucesos de disparo que se detectan no tienen efecto alguno sobre el osciloscopio. Este tiempo, que se denomina tiempo de retención del osciloscopio, determina el tiempo mínimo que debe transcurrir antes de que la pantalla del osciloscopio se actualice.

El modo de disparo determina cómo se comporta el osciloscopio en ausencia de un suceso de disparo. Si el modo de disparo es *Auto*, transcurrido un cierto tiempo en el cual no se ha detectado condición de disparo alguna, la pantalla del osciloscopio se actualiza automáticamente. Cuando el modo de disparo es *Normal* el osciloscopio sólo se actualiza al detectar un disparo. Por último, en el modo *Único*, cuando el osciloscopio detecta el primer disparo dibuja la forma de onda; pero entonces, esta forma de onda ya no se vuelve a actualizar aunque se produzcan disparos posteriores (hasta que se presione el botón correspondiente).

2.2. Adquisición de datos

La adquisición de datos determina la forma en la cual los osciloscopios convierten las señales analógicas en digitales. Se dispone de tres modos de adquisición de datos diferentes. Con *Muestreo* los osciloscopios muestrean la señal a intervalos regulares. En el modo de *Detección de picos*, los osciloscopios buscan los valores superior e inferior de la señal de entrada en un intervalo de muestreo. Por último, estando en el modo de adquisición de datos *Promedio*, los osciloscopios adquieren varias formas de onda y calculan el promedio.

Los osciloscopios digitales digitalizan la forma de onda adquiriendo el valor de una señal de entrada en puntos discretos. La base de tiempos (mando *SEC/DIV*) permite controlar con que frecuencia se digitalizan los valores.

2.3. Realizar medidas

Los osciloscopios muestran gráficas de tensión frente a tiempo, que ayudan a medir las formas de onda. Empleando la cuadrícula se puede realizar una estimación visual rápida; y realizar medidas sencillas, contando las divisiones de la cuadrícula implicadas, y multiplicando por el factor de escala.

Otra manera de realizar medidas es moviendo los cursores, que aparecen siempre a pares, y leer sus valores numéricos en las lecturas de la pantalla.

Los cursores de voltaje aparecen como líneas horizontales en la pantalla, y miden los parámetros verticales. Los cursores de tiempo aparecen como líneas verticales en la pantalla, y miden los parámetros horizontales

Una posibilidad más para hacer mediciones es con la opción de medidas automáticas, donde quien realiza las medidas es el propio osciloscopio. Entonces sólo queda leer el resultado de estas mediciones. Sin embargo, en esta opción uno debe ser muy cuidadoso en controlar lo que se está haciendo.

2.4. Autoconfigurar

La función *Autoconfigurar* obtiene una representación estable de una forma de onda. Para ello se ajustan automáticamente la escala vertical y horizontal; y también el acoplamiento, tipo, posición, pendiente, nivel y modo del disparo. Sirve para obtener un buen punto de comienzo para la correcta configuración del dispositivo en la mayoría de los casos.

2.5. Almacenar/Recuperar

El menú de *ALM/REC* permite almacenar o recuperar configuraciones del instrumento y/o formas de onda. Se pueden mostrar las formas de onda guardadas en memoria al mismo tiempo que las nuevas adquisiciones de formas de onda. Sin embargo, estas formas de onda recuperadas no son ajustables.

2.6. FFT

Los osciloscopios digitales también disponen de un menú matemático que permite, por ejemplo, realizar una *FFT* de una forma de onda de entrada. Cuando se utiliza esta opción, en la gráfica que se muestra por pantalla se representa tensión frente a frecuencia.

3 GENERADOR DE FUNCIONES HM8030-5

El generador de funciones permite generar diversas formas de onda: sinusoidal, triangular y cuadrada. En ellas se puede controlar fácilmente su

frecuencia y su amplitud en un amplio margen, usando los mandos correspondientes. La salida se proporciona como si se tuviese un generador ideal en serie con una resistencia de 50Ω

4 TRABAJO A REALIZAR

En esta práctica se pide generar y medir varias señales distintas de acuerdo con las especificaciones que se dan. Las señales se producen con el generador de señales y se miden con el osciloscopio digital. Para ello es necesario conectar la salida del generador directamente a uno de los canales del osciloscopio, usando para ello un cable BNC-BNC. También se debe contestar a diversas cuestiones, para demostrar que se entienden los conceptos principales relacionados con el funcionamiento del osciloscopio.

Para cada tipo de señal, se pide guardar una forma de onda en la memoria del osciloscopio. En los osciloscopios de la serie TDS-3000 se dispone de espacio suficiente, pero en aquellos de la serie TDS-200 sólo se dispone de dos posiciones de memoria. En este último caso, las formas de onda se deben mostrar al profesor para que las evalúe en el momento.

4.1. Señal sinusoidal

Se pide en primer lugar generar una onda sinusoidal de frecuencia 1 kHz y amplitud 1 V, y grabar esta onda en la posición 1 de la memoria del osciloscopio. Entonces, para cada tipo de disparo, se pide responder a las siguientes cuestiones¹:

- ¿Qué se observa al situar el nivel de disparo en 0,5 V?
- ¿Y en 3 V?
- ¿Qué se observa al mover el nivel de disparo de 0,5 V a 3 V?
- ¿Y de 3 V a 0,5 V?
- ¿Qué se observa al desconectar de repente el generador de ondas?

Explicar en cada caso el porqué del comportamiento que se observa.

¹Dar respuestas separadas a las cuestiones para cada tipo de disparo.

4.2. Señal cuadrada

Ahora se pide generar una señal cuadrada de periodo 0,1 ms y de amplitud 0,4 V, y grabar esta onda en la posición 2 de la memoria. Se pide, además, medir el valor pico-pico de la señal con los cursores y con el medidor automático. Las medidas se deben repetir y anotar para cada uno de los tres modos de adquisición que se han comentado anteriormente. Responder entonces a las siguientes cuestiones:

- ¿A qué se pueden deber las diferencias que se observan en las mediciones?
- ¿En qué modo de adquisición se observa con mayor claridad la señal en la pantalla del osciloscopio?

4.3. Señal triangular

A continuación se pide generar una señal triangular de frecuencia 10 kHz, y una pendiente de subida de tensión de 1000 V/s; y guardar esta onda en la posición 3 de la memoria.

4.4. FFT

Finalmente, en la posición 4 de la memoria se pide grabar la forma de la *FFT* de una señal cuadrada de frecuencia 20 kHz y tensión pico-pico de 3 V; donde se observen con claridad cuando menos los cuatro primeros armónicos.

Práctica IV

Distorsión armónica

1 INTRODUCCIÓN

Idealmente, altavoces y micrófonos son dispositivos que presentan una respuesta de tipo lineal. Esto es, su salida mantiene la forma de la señal de entrada, sólo multiplicada por un factor de escala y sumada a un valor constante:

$$salida = Cte + \alpha entrada$$

Sin embargo, como en todo sistema físico siempre existe una cierta componente de no linealidad:

$$salida = Cte + \alpha entrada + \beta entrada^2 + \gamma entrada^3 + \dots$$

que causa cierta distorsión en la señal de salida: la señal de salida no mantiene la forma de la de entrada.

En esta práctica se pretende que los alumnos se familiaricen con las mediciones del grado de no linealidad de un dispositivo. Para hacer esta medición, se aplica al dispositivo objeto de la medición una señal armónica pura. Entonces, se determina la distorsión armónica (medida cuantitativa del grado de no linealidad) que tiene la señal de salida del dispositivo. La mayor parte del trabajo a realizar en la práctica, consiste en determinar la distorsión armónica de diferentes señales, que se supondrá son la salida de un dispositivo bajo estudio, usando diferentes técnicas.

2 DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

Cuando la señal de entrada a un dispositivo es una señal armónica pura, por ejemplo $\cos \omega t$, la señal de salida se puede expresar como:

$$salida = Cte + \alpha \cos \omega t + \beta \cos^2 \omega t + \gamma \cos^3 \omega t + \dots$$

donde α es la constante de proporcionalidad lineal, y β, γ, \dots son constantes de proporcionalidad no lineales. Esta ecuación, teniendo en cuenta las relaciones:

$$\begin{aligned} \cos^2 \alpha &= \frac{1 + \cos 2\alpha}{2} \\ \cos^3 \alpha &= \frac{\cos 3\alpha + 3 \cos \alpha}{4} \\ &\dots \end{aligned}$$

se puede reescribir en la forma:

$$salida = \bar{C}te + \bar{\alpha} \cos \omega t + \bar{\beta} \cos 2\omega t + \bar{\gamma} \cos 3\omega t + \dots$$

donde ahora $\bar{\alpha}$ se puede ver como una nueva constante de linealidad, y $\bar{\beta}$, $\bar{\gamma}$, \dots como nuevas constantes de no linealidad. Se deduce de este resultado que el grado de no linealidad de un dispositivo, es proporcional al peso relativo que tienen en la señal de salida los armónicos superiores.

La distorsión armónica total (THD) se define como una medida cuantitativa de la potencia que una señal lleva en los armónicos superiores, respecto a la potencia que lleva en el armónico fundamental. Por consiguiente, determinando la THD a la salida de un dispositivo electroacústico sobre el que incide una señal armónica pura, se está realizando una medición de la no linealidad del dispositivo. No existe una definición más precisa de la THD que la que se ha dado, lo cual permite el uso de diferentes fórmulas a la hora de determinar esta magnitud. Aquí se ofrece la expresión de dos fórmulas distintas que son ampliamente utilizadas:

$$THD_1 = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1}$$

$$THD_2 = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_T}$$

donde V_i es la tensión (peso) correspondiente al armónico número i , y V_T la tensión (peso) de la señal total de salida distorsionada.

$$V_T^2 = V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots$$

3 APARATOS DE MEDICIÓN

3.1. Medidor de distorsión HM8027

Éste es un aparato que calcula la THD más el ruido (THD+N) de una señal de salida de otro dispositivo. Normalmente el ruido de una señal es difícil de eliminar, y si es bajo no interfiere mucho en la medición de THD. Para determinar la THD, el medidor calcula por separado la tensión eficaz de la señal total, y la tensión eficaz de la señal total después de pasar por un filtro de hendidura, que elimina la frecuencia fundamental de la señal y deja

pasar el resto. Luego calcula el cociente entre ambos resultados y muestra el resultado.

Para poder medir la THD+N de una señal, primero es necesario calibrar el nivel de la señal que se va a medir, porque este medidor solo trabaja correctamente con señales de una determinada magnitud. El calibrado se realiza aplicando una serie de atenadores, que vienen con el medidor, los cuales se supone apenas producen distorsión. Pulsando la tecla *100 % CAL* se pone en funcionamiento el modo de calibración del aparato. Entonces se procede a la calibración del nivel de la señal hasta el 100 % (debe aparecer *100* en pantalla) con los mandos de *LEVEL* y *ATTENUATOR*.

A continuación, es necesario ajustar la posición del filtro de hendidura a la frecuencia fundamental para poder hacer la medición. Ésto se realiza seleccionando el rango de frecuencias (*FREQUENCY RANGE*) y ajustando ésta hasta que los dos LEDs en forma de flechas se apaguen (cuando está encendido uno de ellos es necesario girar el mando de ajuste en el sentido contrario).

A la hora de visualizar las mediciones, en *DISTORTION* se puede conmutar entre dos márgenes de mediciones. Lo normal es comenzar con la opción de *100 %* porque no se sabe el valor que se va a obtener. Con esta opción se pueden medir distorsiones de hasta el 100 %. Si la medición que se realiza es inferior al 10 %, se puede pasar a la opción de *10 %*, que permite una mayor precisión en la medida, pero que no acepta distorsiones superiores a este valor.

3.2. Osciloscopio digital

Una manera diferente de medir la THD es con la ayuda de un osciloscopio digital que realice FFTs. Realizando una FFT de una señal se pueden medir, a través de los cursores, los niveles de la frecuencia fundamental (V_1) y de sus armónicos (V_2, V_3, \dots). Con estos resultados ya se puede calcular la THD, sin más que aplicar la fórmula correcta que se considere oportuna.

3.3. Audio Toolbox

El medidor de distorsión del AT, se basa en un sistema de análisis FFT que compara el nivel de la frecuencia fundamental, con el de sus armónicos superiores. Para usarlo se debe entrar en la opción correspondiente del menú *Test Functions* y seleccionar una onda sinusoidal de 63, 125, 250, 500, 1000 ó 2000 Hz. Entonces el AT contabiliza la energía de los armónicos superiores (y el ruido residual) para calcular la THD+N. El nivel de entrada al AT debe estar

enmarcado dentro de la ventana que indica un pequeño medidor en forma de barra gráfica, para que la medición que se realiza sea correcta. Si el nivel de la señal se encuentra fuera de estos límites deberá ser ajustado.

En el AT se puede seleccionar medir una señal que llegue a éste por línea, o una señal captada con el micrófono interno. Además, una vez que se ha elegido la frecuencia adecuada, la señal a medir puede provenir tanto de un oscilador externo, como tener su origen en el propio AT. Para más información sobre el funcionamiento de esta opción se pueden consultar los manuales de usuario de que se dispone.

4 TRABAJO A REALIZAR

Se pide en esta práctica medir y anotar la distorsión armónica de diferentes señales, utilizando el medidor de distorsión HM8027 y el osciloscopio digital. También se pide medir la distorsión armónica del altavoz autoamplificado de que se dispone, usando el AT.

4.1. Medidor de distorsión HM8027

Se pide medir la distorsión armónica de diferentes señales generadas por el generador de funciones HM8030-5. Para ello será necesario conectar la salida del generador de funciones con la entrada del medidor de distorsión, mediante un cable BNC-BNC. Las señales de las que se pide medir la distorsión son:

- Considerar los tres tipos de señal: sinusoidal, cuadrada y triangular
- Para cada tipo de señal, considerar dos frecuencias distintas: 1 kHz y 10 kHz
- En cada caso, fijar siempre la amplitud de la señal que se genera en los 5 V.

4.2. Osciloscopio digital

Se pide ahora repetir las mediciones que se han realizado con el medidor de distorsión, usando el osciloscopio digital¹. Para ello será necesario conectar

¹Las señales a medir son las mismas que las que se han medido anteriormente

la salida del generador de funciones con uno de los canales del osciloscopio, mediante el cable BNC-BNC. Se recomienda utilizar la opción de disparo único para hacer las mediciones.

4.3. Audio Toolbox

Con el AT se pide medir y anotar la distorsión armónica del altavoz autoamplificado. Para ello se alimentará el altavoz utilizando el propio AT. La distorsión se medirá entonces en la señal acústica que produce el altavoz, la cual el AT captará mediante su propio micrófono interno. La THD+N se debe determinar para las frecuencias de 500 Hz y 1 kHz.

Para realizar las mediciones, se conecta la salida del AT con la entrada del altavoz autoamplificado (*LINE 1*) usando el cable *Jack-Jack*. El volumen del altavoz debe estar al mínimo al principio. Entonces se enfoca el micrófono del AT hacia el centro del diafragma principal del altavoz, lo más cerca que se pueda sin que se lleguen a tocar. A continuación se ajusta el volumen hasta que el nivel se encuentre entre los límites oportunos que pide el AT. En ese momento, se anota la lectura que aparece en la pantalla del aparato.

Práctica V

Sensibilidad y ganancia

1 INTRODUCCIÓN

En esta práctica se pretende que el alumno se familiarice con la determinación de las respuestas en frecuencia, tanto de un micrófono como de un altavoz. La respuesta en frecuencia de un micrófono queda determinada por su sensibilidad; la cual, normalmente, se determina para ondas planas incidentes en el eje del micrófono. En laboratorio, sin embargo, por cuestiones prácticas, será necesario considerar ondas incidentes que no son planas. Por su parte, la respuesta en frecuencia del altavoz queda determinada por su ganancia; la cual, normalmente, se determina teniendo en cuenta el SPL que el altavoz genera a un metro de distancia en el eje. En el laboratorio, también en este caso por cuestiones prácticas, se considerará el SPL generado por el altavoz a una distancia mucho menor que un metro.

2 SENSIBILIDAD

La sensibilidad de un micrófono S es

$$S = \frac{E}{p}$$

donde E es la salida eléctrica del micrófono y p es la presión sonora que incide sobre su diafragma. Es una característica del micrófono que varía con la frecuencia ($S = S(f)$); y su curva de variación es la curva de respuesta en frecuencia del micrófono. Es decir, determinar la curva de respuesta en frecuencia de un micrófono consiste, simplemente, en determinar su sensibilidad a diferentes frecuencias y en representar luego estos datos gráficamente.

Además de con la frecuencia, la sensibilidad de un micrófono también varía con el ángulo de incidencia de las ondas; con la impedancia de carga a la salida del micrófono; y, en menor medida, con las características de estas ondas incidentes. No existe un estándar único para definir la sensibilidad, aunque tal vez el más utilizado sea considerar ondas planas incidentes en el eje, de diferentes frecuencias y presión eficaz 1 Pa, con el lado eléctrico del micrófono en circuito abierto. En el laboratorio de prácticas, sin embargo, será necesario considerar, por cuestiones prácticas, una definición diferente.

3 GANANCIA

La ganancia de un altavoz G es

$$G = \frac{p}{E}$$

donde p es la presión sonora que produce el altavoz y E es la tensión eléctrica aplicada a su entrada. Es una característica del altavoz que varía con la frecuencia ($G = G(f)$); y su curva de variación es la curva de respuesta en frecuencia del altavoz. Es decir, determinar la curva de respuesta en frecuencia de un altavoz consiste, simplemente, en determinar su ganancia a diferentes frecuencias y en representar luego estos datos gráficamente

Además de con la frecuencia, la ganancia de un altavoz también varía con el ángulo y la distancia del punto de campo que se considere. No existe un estándar único para definir la ganancia, aunque normalmente se considera un punto de campo situado en el eje del altavoz y a un metro de distancia. En el laboratorio de prácticas, sin embargo, será necesario considerar, por cuestiones prácticas, un punto campo muy próximo al altavoz.

4 TRABAJO A REALIZAR

Se pide determinar las respuestas en frecuencia de dos sistemas distintos:

- Determinar la respuesta en frecuencia del micrófono que se proporciona, entre 125 Hz y 8 kHz.
- Determinar la respuesta en frecuencia del altavoz auto-amplificado, entre 250 Hz y 8 kHz.

A continuación se da información más detallada del procedimiento a seguir en cada caso, para obtener los resultados que se piden

4.1. Micrófono

Para determinar la sensibilidad del micrófono, en primer lugar, se conecta la salida eléctrica del micrófono a uno de los canales de un osciloscopio digital, usando los cables y el adaptador que se proporcionan. La señal de salida del micrófono se puede visualizar y medir entonces en la pantalla del

osciloscopio. Es necesario para ello ajustar el osciloscopio adecuadamente: escalas de tiempo y tensión correctas, rechazar ruido de alta frecuencia, limitar la banda de frecuencias a 20 MHz, ... También, cabe señalar que, para simular que se mide la señal de salida del micrófono en circuito abierto, se debe situar la impedancia de entrada al osciloscopio digital en la opción de mayor valor posible.

En el laboratorio, las señales acústicas se generan empleando el generador de funciones del AT y el altavoz auto-amplificado de que se dispone. El funcionamiento de estos dispositivos ya se ha discutido en prácticas anteriores. Las características de las señales que en cada caso inciden sobre el diafragma del micrófono se determinarán, sólo, de manera aproximada. La frecuencia de las señales se controla en el AT. Para saber el SPL de la onda sonora se sitúa el AT en la posición que luego va a ocupar el micrófono, y se emplea el medidor de SPL de este aparato. Es muy importante, para que no se genere mucho ruido en el laboratorio, realizar las mediciones lo más próximos que se pueda al diafragma principal del altavoz auto-amplificado.

Se deberán generar ondas sonoras sinusoidales de distintas frecuencias (entre 125 Hz y 8 kHz) y SPL de 85 dB¹. En cada caso, se determinará la sensibilidad del micrófono a partir de las medidas del SPL que incide sobre su diafragma y de la tensión que se genera a su salida (determinadas con la ayuda del AT y el osciloscopio digital respectivamente). Luego se representará en una gráfica de sensibilidad frente a frecuencia los resultados obtenidos.

4.2. Altavoz

La disposición de los aparatos y las conexiones a realizar son las mismas que en el apartado anterior. Sin embargo, las mediciones a realizar son distintas ahora. La tensión de entrada al altavoz auto-amplificado se mide y controla directamente en la pantalla del AT. Se deberán generar ondas sinusoidales de distintas frecuencias (entre 250 Hz y 8 kHz) y tensión eficaz 1 V. Para determinar el campo sonoro creado a la salida del altavoz, se emplea el micrófono cuya respuesta en frecuencia se ha determinado anteriormente. A partir de esos dos datos, tensión de entrada al altavoz auto-amplificado y SPL a su salida, se determina la ganancia del altavoz.

Normalmente, la respuesta en frecuencia de un altavoz se determina a partir del campo acústico que éste crea en su eje, a un metro de distancia y en campo libre. Sin embargo, en el presente caso, por motivos de generación

¹Éste es un valor orientativo. Si en el laboratorio se produce demasiado ruido será necesario bajar este valor. Si por el contrario apenas se produce ruido, se podrá subir ligeramente el valor.

de ruido, se medirá el campo acústico creado en el laboratorio justo a la salida del altavoz auto-amplificado.

Se tiene el problema de fijar la ganancia del altavoz (puesto que es auto-amplificado). La tensión eficaz a la salida del AT se fijará en 1 V; y, entonces, se fijará el mando *MASTER* para que, a la frecuencia de 1000 Hz, se obtenga una salida acústica de 85 dB aproximadamente.

Práctica VI

Frecuencia de resonancia

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta práctica es observar y medir oscilaciones armónicas amortiguadas, en el sistema de suspensión mecánica de un transductor de bobina móvil. A partir de la observación de estas oscilaciones, es posible extraer información muy valiosa sobre el sistema mecánico del transductor. En particular, es posible estimar con gran exactitud la frecuencia de resonancia mecánica, muy importante en la caracterización de un altavoz de bobina móvil.

2 OSCILACIONES AMORTIGUADAS

El sistema de suspensión mecánica de un transductor de bobina móvil se puede ver como un oscilador armónico amortiguado. En este sentido, cuando se perturba de su posición de equilibrio para luego dejarlo oscilar libremente, el diafragma realiza un movimiento de acuerdo con el movimiento armónico amortiguado:

$$u(t) = A \cos(\omega_\delta t + \Psi) e^{-\delta t}$$

donde u es la velocidad del diafragma, δ es el *coeficiente de amortiguamiento* y ω_δ la *frecuencia natural amortiguada*, que se relaciona con la *frecuencia de resonancia* del sistema, ω_0 , como

$$\omega_\delta^2 = \omega_0^2 - \delta^2$$

En el transductor de bobina móvil, esta oscilación se convierte en una caída de tensión en el lado eléctrico

$$V(t) = Bl u(t)$$

la cual se puede observar en la pantalla de un osciloscopio. La estimación del valor de ω_δ se puede realizar a partir de la medición del pseudo-periodo ($T = 2\pi/\omega_\delta$) del transitorio que se observa en la pantalla del osciloscopio. Para estimar el valor del *coeficiente de amortiguamiento*, se puede medir la amplitud de dos picos consecutivos en el transitorio (A_1 y A_2) para luego determinar el valor de δ como

$$\delta = \frac{\omega_\delta}{2\pi} \ln \frac{A_1}{A_2}$$

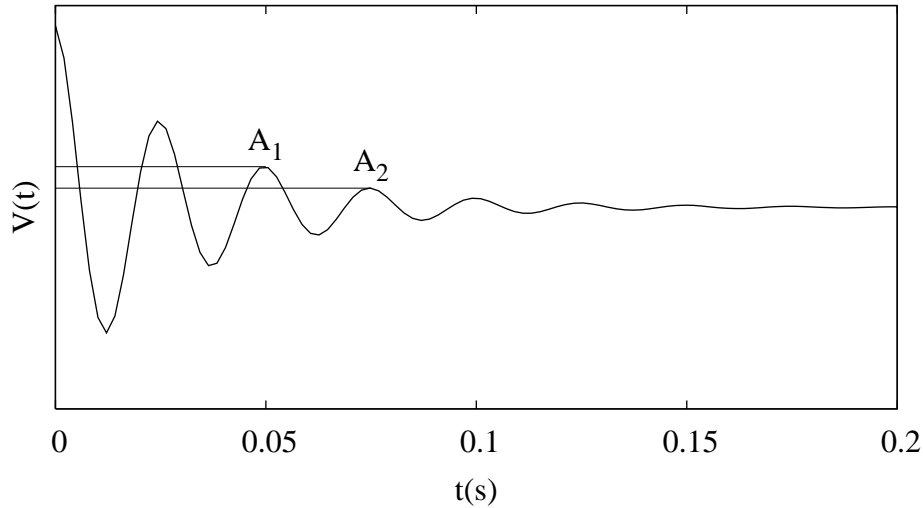


Figura 2.1: Movimiento oscilatorio armónico amortiguado.

3 TRABAJO A REALIZAR

En esta práctica se pide determinar las *frecuencias de resonancia* de un micrófono y dos altavoces, uno de graves y otro de frecuencias medias. Para ello será necesario observar en la pantalla del osciloscopio los transitorios que se producen, cuando se perturba el sistema mecánico de los transductores de estos dispositivos. Se recomienda para ello utilizar en el osciloscopio disparo normal; con un nivel de disparo lo suficientemente alto para no detectar el ruido de fondo, pero lo suficientemente bajo para detectar los transitorios que se quieren medir. Una vez detectado el transitorio, antes de medir con los cursores es aconsejable parar el osciloscopio, para que no se actualice la pantalla y se pierda la medida.

Para observar las oscilaciones del sistema mecánico en el caso de un micrófono, es necesario conectar, en primer lugar, su salida eléctrica a uno de los canales de entrada del osciloscopio digital, usando el cable que a tal efecto se proporciona. A continuación, se debe generar una pequeña perturbación en el sistema mecánico del micrófono, mediante un **pequeño golpe seco**. Como resultado, se observa en la pantalla del osciloscopio, estando éste correctamente ajustado para poder medir, el transitorio que se induce.

En el caso de los altavoces, para observar las oscilaciones es necesario invertir su funcionamiento normal. Se conecta, primeramente, una de las sondas del osciloscopio en la entrada eléctrica del altavoz. A continuación, se perturba el sistema mediante otro **pequeño golpe seco** y se observa el

transitorio en la pantalla del osciloscopio. *Se pide que los alumnos procuren realizar este **pequeño golpe seco** sobre la carcasa exterior del altavoz, y no sobre el diafragma, que es mucho más frágil.*

Seguramente, será necesario probar con diversos tipos de **pequeños golpes** hasta alcanzar un transitorio de buena calidad. Es decir, un transitorio donde se observe con claridad la oscilación amortiguada libre del sistema mecánico, sin estar sometida a la acción de fuerzas externas. Además, para que las determinaciones de las *frecuencias de resonancia* sean buenas, éstas se deben hacer en la parte final del movimiento amortiguado que se observa en la pantalla del osciloscopio; porque ésta es la parte más alejada de la perturbación que ha originado el movimiento y, por lo tanto, donde el movimiento es más libre. Se pide repetir cuando menos una vez las mediciones que se realizan para poder comprobar que los resultados se repiten, dentro de un margen de error aceptable.

Práctica VII

Redes de cruce

1 INTRODUCCIÓN

Un altavoz, por si sólo, difícilmente es capaz de recrear todas las frecuencias del rango audible. Lo normal es que cada altavoz se diseñe para trabajar únicamente en una determinada banda de frecuencias; y que luego se combinen varios altavoces para abarcar todo el espectro, trabajando cada altavoz en una banda de frecuencias diferente.

Una red de cruce (*crossover network* en inglés) es un sistema diseñado para dividir la información de audio en bandas de frecuencia. Lo que hace es, simplemente, hacer pasar la señal de audio por una serie de filtros. De esta manera se consigue que cada altavoz funcione únicamente, dentro del rango de frecuencias para el cual ha sido diseñado.

Las redes de cruce de que se dispone en el laboratorio son del tipo pasivo y no necesitan alimentación externa para funcionar. Consisten únicamente en unos circuitos muy sencillos formados a base de condensadores y de bobinas. En esta práctica se pretende que los alumnos observen y determinen el funcionamiento de alguno de estos sistemas.

2 RESPUESTA DE LA RED DE CRUCE

Una red de cruce tiene una única entrada y una o varias salidas. La respuesta de la red de cruce determina cómo son las señales en los canales de salida, cuando se conoce la señal de entrada. Normalmente, se expresa mediante gráficas donde se determina cómo es la respuesta, en amplitud y en fase, de cada uno de los canales de salida, cuando en la entrada se tienen ondas armónicas de diferentes frecuencias. Si V_1 es la amplitud de una señal armónica de entrada, y V_2 la amplitud de la señal de salida que entonces se produce en uno de los canales; la respuesta en amplitud a la frecuencia de la onda armónica para este canal es:

$$R = \frac{V_2}{V_1}$$

La respuesta en fase se determina midiendo el desfase ϕ entre las señales de entrada y salida, como se indica en la figura 2.2. Aquí, debido a la periodicidad existe una indeterminación de $\pm 2n\pi$ ($n = 0, 1, \dots$) en el valor del desfase.

Cada canal de salida de una red de cruce presenta, típicamente, una banda de frecuencias de funcionamiento; donde la respuesta en amplitud es próxima

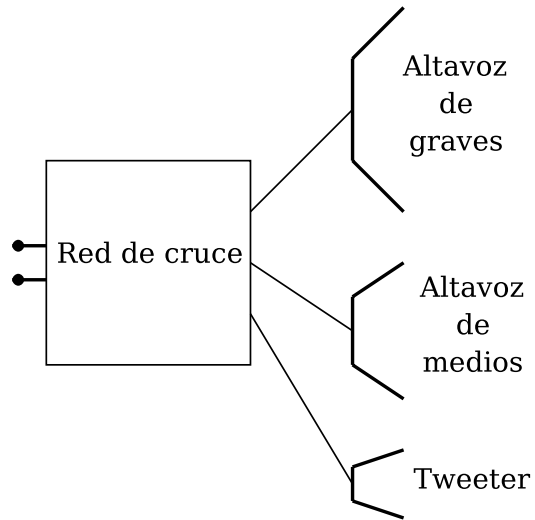


Figura 2.1: Utilización de una red de cruce.

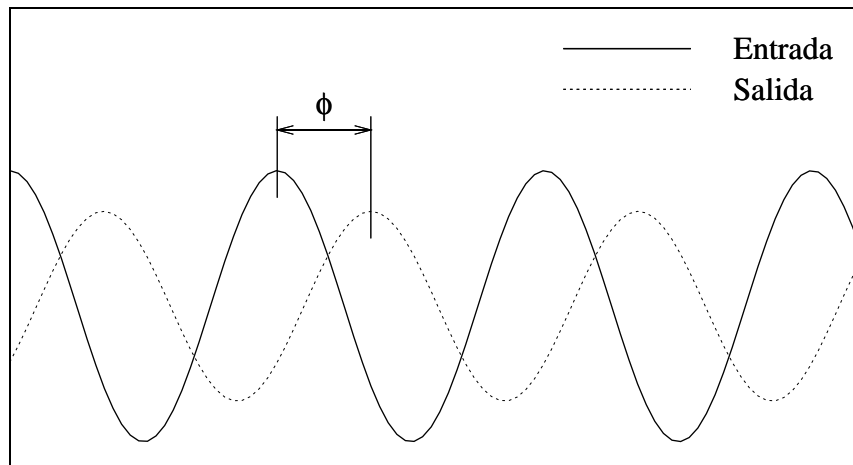


Figura 2.2: Retardo entre la salida de un canal y la entrada de una red de cruce.

a 1 y la respuesta en fase casi constante. Una respuesta en amplitud próxima a 1 significa que la señal de salida es en magnitud muy próxima a la señal de entrada. Una respuesta en fase constante es deseable, para que las señales composición de diversos armónicos, no se deformen a la salida. Fuera de la banda de funcionamiento, la respuesta en amplitud tiende a 0 y, entonces, la respuesta en fase pierde importancia.

3 TRABAJO A REALIZAR

3.1. Conexiones

El objetivo de esta práctica es observar y medir el funcionamiento de las redes de cruce disponibles en el laboratorio. Para ello se deben realizar las conexiones que se indican a continuación. Como fuente de alimentación se empleará el generador de funciones, la salida del cual se conectará a la entrada de la red de cruce usando los cables con pinzas. Para que las redes de cruce funcionen propiamente, es necesario que se encuentren cargadas con un altavoz ($\approx 8 \Omega$). Por ello, se cargará la salida de cada red de cruce, con la entrada al sistema de altavoces que se encuentra en el puesto de trabajo. Para determinar el funcionamiento de la red de cruce, se empleará el osciloscopio digital; conectando una de sus sondas en el puerto de entrada a la red, y la otra sonda en el puerto de salida. Entonces, las amplitudes de las señales de entrada y salida, se pueden medir con los cursores horizontales en la pantalla del osciloscopio. El desfase se puede medir con los cursores verticales, porque en la pantalla del osciloscopio el eje horizontal es común a todos los canales del dispositivo.

3.2. Mediciones

Se pide determinar la respuesta en frecuencia de un canal de una red de cruce, tanto en amplitud como en fase. Se realizará un barrido en frecuencia, determinando en cada caso la respuesta en amplitud y en fase. Se pide buscar, especialmente, las frecuencias en las que la atenuación es de -3 dB. Además, se pide extraer de la observación de la red de cruce el esquema del circuito eléctrico del sistema.

Práctica VIII

El Audio Toolbox (3)

1 INTRODUCCIÓN

En esta práctica se pretende que el alumno se familiarice con más opciones de interés acústico que ofrece el AT: gráfica de energía-tiempo, osciloscopio y medidor de niveles/frecuencias. Usando la gráfica de energía-tiempo se puede determinar el retardo existente entre dos sistemas de altavoces en un punto del espacio. Con la opción de osciloscopio el AT permite visualizar una gráfica de presión acústica frente a tiempo. Su funcionamiento es muy parecido al de un osciloscopio digital, pero con menos opciones. El medidor de niveles/frecuencia, por su parte, permite determinar los niveles de tensión y la frecuencia de señales arbitrarias de línea que llegan al AT. Información suplementaria sobre el funcionamiento de las distintas opciones se puede consultar en los manuales de usuario del AT.

2 GRÁFICO DE ENERGÍA-TIEMPO

Esta opción (*Energy-Time Graph*) muestra la energía del sonido que va llegando al micrófono interno del AT en cada instante de tiempo. Ésto se visualiza mediante una gráfica de energía frente a tiempo: en la pantalla del AT se va dibujando una gráfica donde se muestra la cantidad de energía acústica que va llegando al AT. Esta gráfica se reinicializa transcurrido un cierto intervalo de tiempo.

Al mismo tiempo que realiza las mediciones de energía, el AT está generando un pulso de señal eléctrica; el cual se reinicia cada vez que lo hace la gráfica en la pantalla del AT. Ésto permite determinar el retardo existente entre dos sistemas de altavoces. El pulso generado por el AT se debe utilizar para alimentar cada uno de los sistemas por separado. El pulso generado viaja primero por un cable desde el AT al sistema de altavoces, y a continuación por el aire hasta el micrófono interno del AT. En la pantalla del AT se puede determinar el tiempo que necesita el pulso para hacer todo este recorrido. Comparando entonces los tiempo necesitados por ambos sistemas de altavoces, es posible determinar el retardo existente entre ellos.

3 OSCILOSCOPIO

Esta opción del AT (*Sample Scope*) emula a un osciloscopio, mostrando en pantalla la forma de la señal acústica que alcanza su micrófono interno. Las opciones de control que se permiten incluyen variar las escalas de los ejes horizontal (tiempo) y vertical (presión). Estas opciones permiten ajustar para visualizar la forma de onda en pantalla de manera adecuada. También es posible parar en un momento dado la pantalla del AT para observar la forma de onda en un momento concreto. Sin embargo, no es posible modificar las opciones de disparo ni de adquisición de datos.

4 MEDIDOR DE NIVELES/FRECUENCIAS

Esta opción (*Level/Frequency Counter*) permite medir la frecuencia y el nivel de señales de línea tanto mono como estéreo. Su funcionamiento es muy sencillo. Se conecta la señal a medir por el canal correcto y se selecciona en el menú del AT la opción de medición que se quiere realizar. Entonces, el resultado se muestra por pantalla. Es posible realizar una visualización tanto numérica como gráfica en forma de barra, cuya longitud es proporcional al valor que se está midiendo.

5 TRABAJO A REALIZAR

5.1. Gráfico de energía-tiempo

Se pide estimar la distancia entre la posición normal del altavoz auto-amplificado y el borde de la mesa de prácticas, utilizando para ellos la opción gráfico de energía-tiempo del AT. Para ello, primero es necesario determinar la gráfica energía-tiempo que se produce, cuando el altavoz auto-amplificado se sitúa en su posición normal y el AT se sitúa enfrente, lo más alejado que permitan los cables de conexión. A continuación se debe determinar de nuevo la gráfica energía-tiempo, con el AT en la misma posición que antes, pero ahora con el altavoz auto-amplificado situado en el borde de la mesa de prácticas. Entonces, comparando los resultados de las dos mediciones, es posible determinar la distancia entre las dos posiciones que se pide.

Se recuerda que la conexión en el altavoz auto-amplificado se realiza en LINE 1. También, se pide que al inicio de las mediciones el mando MASTER se sitúe en su posición de mínimo, para luego irlo subiendo con cuidado en función de las necesidades. La medición se debe realizar con el laboratorio lo más silencioso que se pueda. El altavoz auto-amplificado no debe estar funcionando más que el tiempo estrictamente necesario.

5.2. Osciloscopio

Se pide que el alumno se familiarice en primer lugar con el funcionamiento de esta opción. Para ello es necesario antes conectar la salida del AT al altavoz auto-amplificado. Se generarán entonces diversas señales sinusoidales (desde la pantalla de *Sample Scope*) que se deben observar en la pantalla del AT.

A continuación, se dispondrá de un segundo AT conectado a un segundo altavoz auto-amplificado. Se procederá entonces a fijar los mandos *MASTER* de ambos altavoces autoamplificados. Cada mando se fijará para que, justo enfrente del diafragma del altavoz, se generen $85 \text{ dB}_{\text{SPL}}$; a la frecuencia de 1 kHz, y con una tensión pico-pico de 1 V a la entrada del altavoz auto-amplificado.

Llegados a este punto, los altavoces se deben disponer con sus diafragmas enfrentados, dejando sólo un pequeño espacio entre ellos. Se procederá entonces a alimentar uno de los altavoces con una onda sinusoidal de 1 kHz y 1 V_{pp} ; midiendo en la pantalla de osciloscopio de un AT el campo que se crea en el espacio entre los altavoces. Luego se pondrán a funcionar los dos altavoces simultáneamente, alimentando cada uno de ellos con una onda sinusoidal de 1 kHz y 1 V_{pp} ; y se repetirá la medición. Realizar un dibujo de lo que se observa en la pantalla del AT. Se pide también comentar e interpretar el resultado obtenido.

A continuación se considerarán dos casos diferentes, manteniendo los altavoces auto-amplificados en su posición de enfrentados. En ambos casos se alimentarán simultáneamente los dos altavoces auto-amplificados con ondas sinusoidales de 1 V_{pp} . En el primero de los casos la frecuencia de la señal aplicada a uno de los altavoces será de 1 kHz, y de 999 Hz la señal aplicada al otro altavoz. En el segundo caso, las frecuencias de las señales que se aplican serán de 1 kHz y 500 Hz respectivamente. Se pide medir el campo que se genera entre los altavoces para los dos casos con el osciloscopio del AT. Realizar en cada caso un dibujo esquemático de lo que se observa en la pantalla del AT. Se pide también comentar e interpretar los resultados obtenidos.

Señalar que, debido al ruido que normalmente existe en el laboratorio, es posible observar como la señal en la pantalla del AT realiza como saltos. Esto

es debido a que a veces el ruido en el laboratorio hace saltar la condición de disparo. Se pide en este apartado de la práctica que los alumnos sean muy cuidadosos con los niveles de sonido que se generan. De nuevo, no se debe tener los altavoces auto-amplificados funcionando más tiempo del estrictamente necesario para hacer las mediciones. Las conexiones a los altavoces auto-amplificados se realizan en LINE 1.

5.3. Medidor de niveles/frecuencia

Se empleará esta opción del AT para comprobar el correcto funcionamiento de un cable *Jack-Jack*. Para realizar la práctica es preciso disponer de dos AT y de un cable *Jack-Jack*. Lo primero que se debe hacer es conectar la salida de línea del primer AT a la entrada de línea del segundo AT. De esta manera, con el primer AT se controla la señal de entrada al cable *Jack-Jack*, mientras con el segundo AT se controla la señal de salida.

Se pide que los alumnos generen señales sinusoidales de distintas frecuencias; y que controlen que a la salida del cable tienen la frecuencia correcta en cada caso. La misma operación se debe repetir empleando señales cuadradas.

A continuación se pide realizar un barrido en frecuencia hasta 1 kHz. A cada frecuencia, la señal de entrada al cable se debe ajustar a 0 dBu. Y, en cada caso, se debe tomar nota del nivel en la señal de salida. Se pide comentar los resultados e intentar explicarlos. ¿Cómo se explica el comportamiento que se observa? Repetir los pasos para una señal de entrada cuadrada.

Práctica IX

Impedancia de entrada a un altavoz

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta práctica es determinar la impedancia de entrada a un altavoz en el entorno de la frecuencia de resonancia del sistema. Para ello se aplicarán señales sinusoidales de distintas frecuencias, determinando en cada caso la tensión y la corriente a la entrada del altavoz. A partir de estos datos es sencillo obtener el valor de la impedancia de entrada en cada caso. A continuación, del análisis de la curva de la impedancia de entrada que se ha determinado, es sencillo obtener numerosos parámetros del altavoz: auto-inducción de la bobina móvil, frecuencia de resonancia mecánica, ...

2 IMPEDANCIA DE ENTRADA

Como es sabido, a bajas frecuencias, la impedancia eléctrica de entrada a un altavoz resulta

$$\hat{Z}_{ee}(\omega) = R_E + j\omega L_E + \frac{(Bl)^2}{R_{MS} + j\omega M_{MS} + \frac{1}{j\omega C_{MS}}}$$

Por consiguiente, determinando experimentalmente los valores de \hat{Z}_{ee} , es posible calcular los valores de numerosos parámetros del altavoz

El procedimiento a seguir para determinar experimentalmente los valores de \hat{Z}_{ee} , consiste en alimentar el altavoz a través de la resistencia conocida (R) que se sitúa en serie con el altavoz. Las señales a aplicar son ondas armónicas de distintas frecuencias. En el osciloscopio, se determina las tensiones, \hat{V}_1 y \hat{V}_2 , que se inducen a cada lado de esta resistencia conocida. De estos datos se deduce, en primer lugar, la corriente que circula por el sistema:

$$\hat{I} = \frac{\hat{V}_2 - \hat{V}_1}{R}$$

La impedancia de entrada al altavoz (valor experimental) se determina a continuación como:

$$\hat{Z}_{ee} = \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}}$$

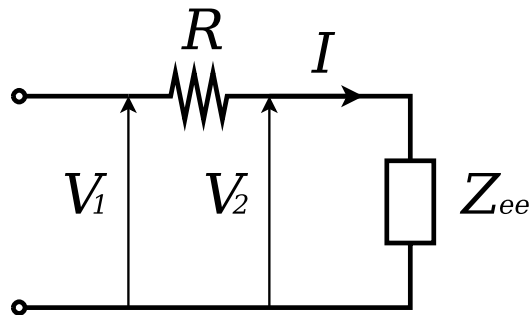


Figura 2.1: Determinación de la impedancia de entrada a un altavoz.

3 TRABAJO A REALIZAR

Se pide determinar la impedancia de entrada al altavoz (*driver*) de que se dispone en cada puesto de trabajo, en el entorno de la frecuencia de resonancia del sistema (baja frecuencia). Para ello será necesario alimentar el altavoz usando el generador de funciones, a través de la resistencia en serie de valor conocido de que se dispone. Las señales a aplicar deben ser ondas armónicas de distintas frecuencias, en torno a la frecuencia de resonancia del altavoz. A cada frecuencia que se considere, se deben determinar las tensiones en los extremos de la resistencia conocida; usando para ello el osciloscopio digital y las dos sondas. A partir de estos datos se puede determinar la impedancia de entrada, como se ha explicado anteriormente.

Es importante en esta práctica determinar suficientes puntos de frecuencia, sobre todo en las proximidades de la frecuencia de resonancia. Al alejarse de la frecuencia de resonancia el comportamiento que se observa varía poco con la frecuencia, así que aquí sólo será necesario considerar unos pocos puntos. La amplitud de tensión en las señales que se apliquen no debe influir en principio en los resultados que se obtengan. Por este motivo, se utilizarán amplitudes de señal lo más bajas posibles, pero que permitan discernir la señal a medir del ruido existente. *Es importante que los altavoces no estén funcionando más que el tiempo estrictamente necesario para la toma de medidas.*

Una vez obtenidos los valores de \hat{Z}_{ee} a distintas frecuencias, se pide representar estos resultados en gráficas: en una gráfica el módulo de \hat{Z}_{ee} y en otra gráfica su fase (o alternativamente las partes real e imaginaria por separado). A continuación, se pide estimar del análisis de estas gráficas los valores de: R_E , $(BL)^2 / R_{MS}$ y L_E .

Práctica X

WinISD

1 INTRODUCCIÓN

El programa *WinISD* permite simular el comportamiento de un altavoz (*driver*) cuando se sitúa en una caja acústica. Para simular el comportamiento el programa necesita conocer los parámetros tanto del altavoz como de la caja acústica en que se sitúa. A partir de un punto de partida inicial, resulta sencillo entonces modificar los parámetros de la caja acústica, e incluso algunos del altavoz, hasta alcanzar el comportamiento deseado. En esta práctica se pretende, por un lado, familiarizarse con el funcionamiento de este programa que se encuentra disponible de manera gratuita en internet. Y también se pretende, al mismo tiempo, que se observen las variaciones de comportamiento que se producen cuando se modifican diferentes parámetros de una caja acústica.

2 EL PROGRAMA *WINISD*

A continuación se ofrece un pequeño guión donde se ilustra brevemente el funcionamiento del programa *WinISD*, y en donde se ofrece la descripción de las principales opciones que ofrece el programa. Más información se puede obtener consultando la propia ayuda del propio *WinISD*.

2.1. Ejemplo de uso

A continuación se detallan los pasos de un ejemplo sencillo que ilustra el funcionamiento del programa *WinISD*.

- Seleccionar *New Project*.
- Seleccionar el *driver* (altavoz) *JL Audio 10W1-4*.
- Seleccionar *Show driver parameters* para ver los parámetros del altavoz.
- Seleccionar *Next* para continuar.
- Seleccionar usar un único *driver* en disposición normal.
- Seleccionar *Next* para continuar.
- Seleccionar *Vented* (caja abierta) como tipo de caja.

- Seleccionar *Next* para continuar.
- Seleccionar *C4/SC4* como tipo de ajuste.
- Seleccionar *Finish* para continuar.
- Seleccionar la etiqueta *Box*.
- Cambiar el volumen (V_{AB}) a 40 l y la frecuencia de ajuste (f_B) a 30 Hz.
- Observar como la respuesta ha variado. La respuesta es sólo un poco peor que antes; mientras que el volumen de la caja es menos de la mitad.
- Ajustar la respuesta del sistema cómo se desee, variando V_{AB} (volumen de la caja) y f_B (frecuencia de resonancia de la caja).
 - Situar el puntero del ratón encima del diagrama de la caja acústica.
 - Mover el ratón mientras se mantiene pulsado el botón izquierdo.
 - Observar como los movimientos verticales varían f_B y los horizontales V_{AB} .
 - Seleccionar *Volume* o *Tuning freq* para fijar o variar, respectivamente, los valores de V_{AB} o f_B por separado.

2.2. *Project Window*

Una vez creado un proyecto, todo lo que se necesita hacer para diseñar una caja acústica, se hace en la *Project Window*. A su vez, esta ventana se divide en, como mucho, siete fichas a las que se accede seleccionando la etiqueta correspondiente.

Driver: En esta ficha se muestran aspectos relacionados con el *driver* (altavoz).

Added mass to cone: Masa extra que se añade al diafragma.

Box: En esta ficha se controlan los aspectos que determinan la caja acústica actual.

Volume: Volumen en el interior de la caja acústica.

Tuning freq: Frecuencia de ajuste (f_B para caja abierta).

Advanced: Aquí se pueden controlar las pérdidas que se suponen en la caja acústica.

Vents: En esta ficha se controlan los aspectos relacionados con las aperturas.

Number: Número de aperturas.

Shape: Forma de la apertura.

Vent diameter: Diámetro de la apertura.

Vent length: Longitud de la apertura.

End Correction: Correcciones que se deben hacer a la longitud de la apertura.

Plot: En esta ficha se controlan las condiciones ambientales; así como el color y el grosor con que se representarán las gráficas relativas al proyecto.

Signal: En esta ficha se controla la señal eléctrica que se aplica y el punto de campo que se considera.

System input power: Potencia eléctrica consumida a las frecuencias medias de funcionamiento.

Series resistance: Impedancia de salida del generador.

Distance: Distancia a la que se sitúa el punto de campo.

EQ/Filter: En esta ficha se pueden incluir filtros eléctricos a situar entre el generador de señales y el altavoz.

Project: En esta ficha se puede introducir información referente a nuestro proyecto; así como proceder a salvarlo.

Además, seleccionando *Parameters* se tiene acceso a los parámetros del *driver* (altavoz) que se está considerando. El valor de estos parámetros se puede modificar temporalmente para observar los efectos que se producen. En la práctica, los *drivers* comerciales tienen unos parámetros definidos que no se pueden variar.

2.3. Tipos de gráficas

Los principales tipos de gráficas que se pueden observar con el *WinISD* se describen a continuación.

Transfer function magnitude: Magnitud de la función de transferencia en dB.

Transfer function phase: Fase de la función de transferencia.

Group delay: Retraso de grupo: menos la derivada de la fase de la función de transferencia, en radianes, respecto de la frecuencia angular.

Maximum power: Potencia eléctrica máxima que se puede suministrar al altavoz, teniendo en cuenta las limitaciones de $W_{E(max)}$ (potencia nominal máxima) y x_{max} (amplitud de desplazamiento máxima del diafragma).

Maximum SPL: SPL máximo, a 1 m, que se puede conseguir a cada frecuencia, teniendo en cuenta las limitaciones de $W_{E(max)}$ y x_{max} .

SPL: SPL a 1 m de distancia cuando se aplica la señal eléctrica especificada en la ficha *Signal* de la *Project Window*.

Cone excursion: Valor de la excursión que realiza el radiador (diafragma) cuando se aplica la señal eléctrica especificada en la ficha *Signal* de la *Project Window*.

Impedance: Módulo de la impedancia de entrada al altavoz situado en la caja acústica.

Impedance phase: fase de la impedancia de entrada al altavoz situado en la caja acústica.

Air velocity: Velocidad con la que se mueve el aire cuando se aplica la señal eléctrica especificada en la ficha *Signal* de la *Project Window*.

Gain: Ganancia de la apertura seleccionada, relativa a la eficiencia de referencia del sistema completo.

3 TRABAJO A REALIZAR

Una vez familiarizados con el programa *WinISD* se pide obtener diferentes diseños, para *drivers* (altavoces) situados en cajas acústicas de distintos tipos. Estos diseños deberán cumplir las condiciones que se piden, además de poder ser realizables en si mismos. Los diseños realizados se deben guardar en el disco duro del ordenador para su evaluación. El lugar para guardarlos es el escritorio, en la carpeta *electroacustica* (si la carpeta no existe se debe crear). Dentro de esta carpeta, cada grupo debe crear otra con el nombre de

su grupo. Aquí se guardarán los proyectos finalizados que se piden realizar en esta práctica. En cada proyecto guardado, los nombre de los componentes del grupo deben figurar en la ficha *Project* de la *Project Window*.

3.1. Primer sistema

Iniciar un nuevo proyecto seleccionando el *driver ACI SV10* y la caja acústica cerrada.

- Realizar un diseño donde se extienda la función de transferencia hasta los 20 Hz.
- Realizar un diseño donde se extienda la función de transferencia hasta los 30 Hz; y donde se pueda aplicar a todas las frecuencias la potencia eléctrica máxima que soporta el dispositivo: el desplazamiento del diafragma no debe superar su valor máximo permitido para ninguna frecuencia cuando se aplique la potencia eléctrica máxima.

Sólo se puede utilizar un único altavoz (*driver*) y el volumen de la caja no debe superar los 40 l.

3.2. Segundo sistema

Iniciar un nuevo proyecto seleccionando el *driver ACI SV18* y la caja acústica abierta.

1. Realizar un diseño donde se extienda la función de transferencia hasta los 30 Hz.
2. Realizar un diseño donde se extienda la función de transferencia hasta los 40 Hz; y donde se pueda aplicar a todas las frecuencias la potencia eléctrica máxima que soporta el dispositivo: el desplazamiento del diafragma no debe superar su valor máximo permitido para ninguna frecuencia cuando se aplique la potencia eléctrica máxima, y el ruido que se produce en la apertura debe estar controlado (la velocidad del aire en la apertura no debe superar los 19 m/s).

Sólo se puede utilizar un único altavoz (*driver*) y el volumen de la caja no debe superar los 80 l.

3.3. Tercer sistema

Se pide buscar en internet un *driver* (altavoz) y realizar el diseño de la caja acústica que se desee, justificando mínimamente lo que se desea obtener. Se debe buscar el mejor diseño que se pueda obtener con el sistema que se selecciona. El precio del *driver* que se seleccione no debe superar los 200 €.

XI

Anexo I

1 MEDIOS

A continuación se enumeran los medios materiales de que se dispone, para la realización de cada una de la prácticas de la asignatura

Práctica 1

Lugar: Laboratorio de Electroacústica

Número de puestos: 12

Alumnos por puesto: 2

Material en cada puesto:

- 1 Audio Toolbox.
- 1 Cargador del Audio Toolbox.
- 1 Manual de usuario del Audio Toolbox.
- 1 Altavoz auto-amplificado.
- 1 Cable *Jack-Jack*

Práctica 2 *Lugar:* Laboratorio de Electroacústica

Número de puestos: 12

Alumnos por puesto: 2

Material en cada puesto:

- 1 Audio Toolbox.
- 1 Cargador del Audio Toolbox.
- 1 Manual de usuario del Audio Toolbox.
- 1 Altavoz auto-amplificado.
- 1 Cable *Jack-Jack*.

Práctica 3 *Lugar:* Laboratorio de Electroacústica

Número de puestos: 12

Alumnos por puesto: 2

Material en cada puesto:

- 1 Osciloscopio digital (de las series TDS-200 o TDS-3000 de *Tektronix*).
- 1 Manual de usuario del osciloscopio en cada puesto.
- 1 Generador de funciones HM8030-5.
- 1 Cable BNC-BNC.

Práctica 4 *Lugar:* Laboratorio de Electroacústica

Número de puestos: 12

Alumnos por puesto: 2

Material en cada puesto:

- 1 Audio Toolbox.
- 1 Cargador del Audio Toolbox.
- 1 Manual de usuario del Audio Toolbox.
- 1 Osciloscopio digital (de las series TDS-200 o TDS-3000 de *Tektronix*).
- 1 Manual de usuario del osciloscopio en cada puesto.
- 1 Medidor de distorsión HM8027.
- 1 Generador de funciones HM8030-5.
- 1 Altavoz auto-amplificado.
- 1 Cable BNC-BNC
- 1 Cable *Jack-Jack*.

Práctica 5 *Lugar:* Laboratorio de Electroacústica

Número de puestos: 12

Alumnos por puesto: 2

Material en cada puesto:

- 1 Audio Toolbox.
- 1 Cargador del Audio Toolbox.
- 1 Manual de usuario del Audio Toolbox.
- 1 Osciloscopio digital (de las series TDS-200 o TDS-3000 de *Tektronix*).
- 1 Manual de usuario del osciloscopio en cada puesto.
- 1 Altavoz auto-amplificado.
- 1 Micrófono de bobina móvil.
- 1 Cable para conectar la salida del micrófono a uno de los canales del osciloscopio digital.
- 1 Cable *Jack-Jack*.

Práctica 6 *Lugar:* Laboratorio de Electroacústica

Número de puestos: 6

Alumnos por puesto: 2

Material general:

- 2 Altavoces (*drivers*) de baja frecuencia.
- 2 Altavoces (*drivers*) de frecuencias medias.

Material en cada puesto:

- 1 Osciloscopio digital (de las series TDS-200 o TDS-3000 de *Tektronix*).
- 1 Manual de usuario del osciloscopio en cada puesto.
- 2 Sondas para el osciloscopio.
- 1 Micrófono de bobina móvil.
- 1 Cable para conectar la salida del micrófono a uno de los canales del osciloscopio digital.

Práctica 7 *Lugar:* Laboratorio de Electroacústica

Número de puestos: 6

Alumnos por puesto: 2

Material en cada puesto:

- 1 Red de cruce.
- 1 Osciloscopio digital (de las series TDS-200 o TDS-3000 de *Tektronix*).
- 1 Manual de usuario del osciloscopio en cada puesto.
- 2 Sondas para el osciloscopio.
- 1 Cable BNC con pinzas.
- 1 Sistema de altavoces en caja acústica.

Práctica 8 *Lugar:* Laboratorio de Electroacústica

Número de puestos: 6

Alumnos por puesto: 2

Material en cada puesto:

- 2 Audio Toolbox.
- 2 Cargadores del Audio Toolbox.
- 1 Manual de usuario del Audio Toolbox.
- 2 Altavoces auto-amplificados.
- 2 Cables *Jack-Jack*

Práctica 9 *Lugar:* Laboratorio de Electroacústica

Número de puestos: 6

Alumnos por puesto: 2

Material en cada puesto:

- 1 Altavoz (*driver*) de baja o media frecuencia.
- 1 Osciloscopio digital (de las series TDS-200 o TDS-3000 de *Tektronix*).
- 1 Manual de usuario del osciloscopio en cada puesto.
- 2 Sondas para el osciloscopio.
- 1 Cable BNC con pinzas y una resistencia en serie de valor conocido.

Práctica 10 *Lugar:* Laboratorio de Audio Digital

Número de puestos: 12

Alumnos por puesto: 2

Material en cada puesto:

- 1 PC con el programa *WinISD* instalado.

2 CUESTIONES Y TAREAS

Para facilitar la realización del trabajo que se debe entregar para su evaluación, se resumen a continuación las cuestiones y tareas que es necesario satisfacer, en cada una de las prácticas.

Práctica 1

- Al medir el SPL con el AT, hablando al micrófono del AT de manera “monótona”
 - ¿Qué diferencias se observan al variar las opciones de promediado temporal en el AT? ¿Cómo se interpreta esto?
 - ¿Qué diferencias se observan al variar los filtros de ponderación en el AT? ¿Cómo se interpreta esto?
- Al medir con el AT el SPL de golpes secos y/o chasquidos
 - ¿Qué diferencias se observan al variar las opciones de promediado temporal en el AT? ¿Cómo se interpreta esto?
 - ¿Qué diferencias se observan al variar los filtros de ponderación en el AT? ¿Cómo se interpreta esto?
- En el RTA del AT ¿Qué ocurre cuando para una misma medición se estrecha el ancho de los filtros paso banda que se utilizan? ¿Cómo se interpreta esto?
- ¿Qué polaridad presenta, según el AT, el altavoz auto-amplificado de que se dispone en el puesto de trabajo?
- ¿Cuál es el nivel de ruido existente en la sala según el criterio del AT?
- Utilizar el RTA para medir el ruido existente en la sala en bandas de octava, promediando durante al menos 1 min. Luego usar estos datos para determinar el criterio de ruido en cada banda de octava según la gráfica de la figura 2.2.

Práctica 2

- Medir y anotar el nivel de presión sonora que se obtiene para señales sinusoidales de diferentes frecuencias.
 - Moverse entre 125 Hz y 8 kHz por bandas de octavas.
 - Repetir las mediciones para dos filtros de ponderación en frecuencia distintos: A y C.
 - ¿A qué se deben las diferencias que se obtienen en las mediciones cuando se varía la frecuencia?
 - ¿A qué se deben las diferencias que se obtienen cuando se cambia de filtro de ponderación en frecuencia?
- Medir y anotar el nivel de presión sonora que se obtiene para señales cuadradas de diferentes frecuencias.
 - Moverse entre 125 Hz y 1 kHz por bandas de octavas.
 - Repetir las mediciones para dos filtros de ponderación en frecuencia distintos: A y C.
 - ¿A qué se deben las diferencias que se observan respecto a las señales sinusoidales de igual frecuencia?
- Medir y anotar el nivel de presión sonora que se obtiene para una señal sinusoidal de 1 kHz, cuando se varía la atenuación/amplificación que se le aplica
 - Considerar los valores de atenuación para la señal que se genera: 0 dB, -1 dB, -3 dB y -4 dB.
 - ¿Cuál es la relación que se observa entre la atenuación a la señal que se genera y el nivel de presión sonora que se mide en cada caso?
- Generar ruido rosa mediante el altavoz auto-amplificado y medirlo con el analizador de tiempo real
 - Promediar la medición que se realiza del ruido rosa durante al menos un minuto
 - Anotar los resultados de la medición que se han obtenido para cada banda de octavas
 - ¿Se obtiene el resultado que se esperaba para ruido rosa?
 - ¿Cuál es la explicación para los resultados que se obtienen?

Práctica 3

- Generar una onda sinusoidal de frecuencia 1 kHz y amplitud 1 V, y grabar esta onda en la posición 1 de la memoria del osciloscopio.
 - ¿Qué se observa al situar el nivel de disparo en 0,5 V?
 - ¿Y en 3 V?
 - ¿Qué se observa al mover el nivel de disparo de 0,5 V a 3 V?
 - ¿Y de 3 V a 0,5 V?
 - ¿Qué se observa al desconectar de repente el generador de ondas?
 - Responder por separado a cada una de las cuestiones anteriores para cada uno de los tipos de disparo diferentes.
 - Explicar en cada caso el porqué del comportamiento que se observa.

- Generar una señal cuadrada de periodo 0,1 ms y de amplitud 0,4 V, y grabar esta onda en la posición 2 de la memoria.
 - Medir y anotar, para cada modo de adquisición, el valor pico-pico que se obtiene al medir la señal con los cursores y con el medidor automático.
 - ¿A qué se pueden deber las diferencias que se observan en las mediciones?
 - ¿En qué modo de adquisición se observa con mayor claridad la señal en la pantalla del osciloscopio?

- Generar una señal triangular de frecuencia 10 kHz y pendiente de subida de tensión de 1000 V/s, y guardar esta onda en la posición 3 de la memoria.

- Guardar en la posición 4 de la memoria la forma de la *FFT* de una señal cuadrada de frecuencia 20 kHz y tensión pico-pico de 3 V, donde se observen con claridad cuando menos los cuatro primeros armónicos.

Práctica 4

- Utilizando el medidor de distorsión HM8027, medir y anotar la distorsión armónica con de diferentes señales:
 - Considerar tres tipos de señal: sinusoidal, cuadrada y triangular
 - Para cada tipo de señal, considerar dos frecuencias distintas: 1 kHz y 10 kHz
 - En cada caso, fijar siempre la amplitud de la señal con que se trabaja en los 5 V.
- Repetir todas las mediciones anteriores, pero utilizando el osciloscopio digital para determinar la distorsión armónica.
- Medir y anotar la distorsión armónica del altavoz auto-amplificado, a las frecuencias de 500 Hz y 1 kHz, usando el AT.

Práctica 5

- Determinar la respuesta en frecuencia del micrófono que se proporciona, entre 125 Hz y 8 kHz.
- Determinar la respuesta en frecuencia del altavoz auto-amplificado, entre 250 Hz y 8 kHz.

Práctica 6

- Estimar la frecuencia de resonancia del micrófono que se proporciona.
- Estimar la frecuencia de resonancia del altavoz de graves que se proporciona.
- Estimar la frecuencia de resonancia del altavoz de medios que se proporciona.

Práctica 7

- Determinar la respuesta en amplitud de un canal de la red de cruce que se proporciona.
- Determinar la respuesta en fase de un canal de la red de cruce que se proporciona.
- Determinar el esquema del circuito eléctrico que forma la red de cruce que se proporciona.

Práctica 8

- Estimar la separación que existe entre la posición que normalmente ocupa el altavoz auto-amplificado, y el borde de la mesa de prácticas, utilizando la opción gráfico de energía-tiempo del AT.
- Fijar el mando MASTER de los dos altavoces autoamplificados como se ha indicado anteriormente y enfrentar sus diafragmas.
 - Alimentar uno de los altavoces auto-amplificados con una onda sinusoidal de 1 kHz y $1 V_{pp}$. Observar entonces en la pantalla del osciloscopio del AT el campo que se genera en el espacio entre los altavoces.
 - Alimentar los dos altavoces auto-amplificados simultaneamente con sendas ondas sinusoidales de 1 kHz y $1 V_{pp}$ cada una. Observar entonces en la pantalla del osciloscopio del AT el campo que se genera en el espacio entre los altavoces.
 - Realizar un dibujo esquemático de lo que se observa en la pantalla del AT.
 - Comentar e interpretar el resultado obtenido.
 - Alimentar uno de los altavoces auto-amplificados con una onda sinusoidal de 1 kHz y $1 V_{pp}$, y el otro altavoz con otra onda sinusoidal de 999 Hz y $1 V_{pp}$. Observar entonces en la pantalla del osciloscopio del AT el campo que se genera en el espacio entre los altavoces.
 - Realizar un dibujo esquemático de lo que se observa en la pantalla del AT.

- Comentar e interpretar el resultado obtenido.
- Alimentar uno de los altavoces auto-amplificados con una onda sinusoidal de 1 kHz y $1 V_{pp}$, y el otro altavoz con otra onda sinusoidal de 500 Hz y $1 V_{pp}$. Observar entonces en la pantalla del osciloscopio del AT el campo que se genera en el espacio entre los altavoces.
 - Realizar un dibujo esquemático de lo que se observa en la pantalla del AT.
 - Comentar e interpretar el resultado obtenido.
- Determina como varía con la frecuencia el nivel de señal eléctrica a la salida de un cable *Jack-Jack*, cuando a la entrada del cable se aplican 0 dBu.
 - Utilizar en primer lugar señales sinusoidales.
 - Repetir luego las mediciones utilizando señales cuadradas.
 - En cada caso, variar la frecuencia por bandas de octava y no pasar de 1 kHz.
 - Se pide comentar los resultados e intentar explicarlos. ¿Cómo se explica el comportamiento que se observa?

Práctica 9

- Determinar el comportamiento (sólo es necesario en la baja frecuencia) de la impedancia eléctrica de entrada a un altavoz.
- Dibujar dos gráficas con los datos obtenidos para cada altavoz. Representar en una el módulo de \hat{Z}_{ee} y en la otra su fase (o alternativamente en una gráfica la parte real y en la otra la parte imaginaria).
- Estimar a partir de las gráficas los valores de: R_E , $(BL)^2 / R_{MS}$ y L_E
- Si es posible repetir los cálculos para un altavoz diferente.

3 TABLAS DE DATOS A OBTENER

Para controlar y facilitar el trabajo de los alumnos, se resumen a continuación las tablas de datos que se deben rellenar y entregar en cada sesión de prácticas.

Práctica 1

Tabla para el análisis del ruido en el laboratorio con el RTA del AT, en bandas de octava y promediando durante al menos 1 minuto. La frecuencia de la banda de octava es la frecuencia central de la banda.

Banda de octava (Hz)	Nivel de Presión Sonora
250	
500	
1000	
2000	
4000	
8000	

Práctica 2

Tabla para las medidas del nivel de presión sonora de señales sinusoidales y cuadradas a distintas frecuencia.

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión Sonora			
	Señal sinusoidal		Señal cuadrada	
	Filtro A	Filtro C	Filtro A	Filtro C
125				
250				
500				
1000				
2000			██████	██████
4000			██████	██████
8000			██████	██████

Tabla para las medidas de una señal sinusoidal de 1 kHz aplicando distintas atenuaciones.

Atenuación (dB)	Nivel de Presión Sonora
0	
-1	
-3	
-4	

Tabla para las medidas del ruido rosa con el analizador de tiempo real

Banda de octava (Hz)	Nivel de Presión Sonora
63	
125	
250	
500	
1000	
2000	
4000	
8000	
16000	

Práctica 3

Tabla para las medidas del valor pico-pico de la señal cuadrada, con los cursores y con el medidor automático, para cada modo de adquisición diferente.

Modo de adquisición	Cursores	Automáticas
Muestreo		
Detección de picos		
Promedio		

Práctica 4

Tabla para las medidas de la distorsión armónica con el medidor de distorsión HM8027.

Frecuencia	Sinusoidal	Cuadrada	Triangular
1 kHz			
10 kHz			

Tabla para las medidas de la distorsión armónica con el osciloscopio digital.

Armónico	Señales					
	Sinusoidal		Cuadrada		Triangular	
	1 kHz	10 kHz	1 kHz	10 kHz	1 kHz	10 kHz
V_1						
V_2						
V_3						
V_4						
V_5						
V_6						
V_7						
V_8						
V_9						
V_{10}						
V_{11}						
V_{12}						
V_{13}						
V_{14}						
V_{15}						
V_{16}						
V_{17}						
V_{18}						
V_{19}						
V_{20}						

Práctica 5

Tabla para la determinación de la respuesta en frecuencia del micrófono que se proporciona.

Frecuencia	Presión eficaz de entrada	Tensión eficaz a la salida
125 Hz		
250 Hz		
500 Hz		
1 kHz		
2 kHz		
4 kHz		
8 kHz		

Tabla para la determinación de la respuesta en frecuencia del altavoz auto-amplificado.

Frecuencia	Tensión eficaz de entrada al altavoz	Tensión eficaz a la salida del micrófono
250 Hz		
500 Hz		
1 kHz		
2 kHz		
4 kHz		
8 kHz		

Práctica 8

Tabla para la determinación de la separación entre la posición normal del altavoz auto-amplificado y el borde de la mesa de prácticas.

Posición del altavoz	Retardo del pulso en alcanzar el AT
Normal	
Borde de la mesa	

Tabla para la determinación del nivel de señal eléctrica a la salida de un cable *Jack-Jack*, cuando a su entrada se aplica una señal eléctrica de 0 dBu a diferentes frecuencias.

Frecuencia (Hz)	Nivel de señal a la salida (dBu)	
	Señal sinusoidal	Señal cuadrada
31		
63		
125		
250		
500		
1000		

XII

Anexo II



Ingeniero Técnico en Telecomunicación
Esp. Sonido e Imagen.

Curso: 2007/2008
Electroacústica.

GRUPO:

ALUMNOS:

LABORATORIO DE ELECTROACÚSTICA

PRÁCTICA NUM. :		FECHA:		NÚM. DE PÁGINAS	
-----------------	--	--------	--	-----------------	--

TÍTULO AQUÍ

Cáceres, a **día** de **mes** de 2008

XIII

Normas para la realización de
documentos de trabajos

1 OBJETIVOS

Uno de los elementos importantes en un trabajo es la documentación que ha de acompañarle. Con vista a obtener el mejor resultado posible, es necesario que el desarrollo del documento sea el adecuado a la persona que ha de leerlo. Por ello en los apartados que siguen se pretende orientar al futuro Ingeniero Técnico de Telecomunicación hacia una correcta generación de documentos para la parte práctica de la asignatura de Electroacústica.

2 RANGO DE APLICACIÓN

Esta norma ha de aplicarse para generar los documentos correspondientes a los trabajos realizados para la asignatura de Electroacústica. Así mismo es recomendable su aplicación a cualquier otro trabajo docente o profesional.

3 ASPECTOS GENERALES

Lo que sigue son consideraciones a tener en cuenta que pueden influir notablemente en la decisión de la persona que ha de analizar el trabajo presentado. Si bien es cierto que la parte importante del trabajo es el fondo de éste, es igualmente cierto que con la documentación se ha de llegar al convencimiento de que éste es el mejor de los trabajos y/o que el trabajo está perfectamente realizado.

1. *Subjetividad.* Se ha de tener en cuenta que el criterio para la toma de decisión sobre un trabajo es relativo a la persona que lo analiza. Por ello es importante situarse en un plano "inocuo" que sea aceptado por cualquier persona.

2. *Presentación.* Cuando un Ingeniero presenta un proyecto, informe técnico, estudio de viabilidad, etc., es muy probable que sea para competir con otros para la obtención de un fin concreto; concesión económica, puesto de trabajo, adjudicación de proyecto, etc. Por ello a la hora de decidir sobre un proyecto u otro, el aspecto general de la documentación influye mucho en la decisión final. Si bien cada persona asigna un valor relativo al aspecto externo, no cabe la menor duda de que esta valoración será mejor cuanto mejor sea la presentación. Para conseguirlo se ha de tener en cuenta algunos detalles que si bien parecen triviales, en más ocasiones de las que se desearían, se olvidan. Son importantes aspectos como:

- Utilizar Papel de calidad.
- Una buena impresora.
- Un tipo de letra agradable a la vista.
- Encuadernación.

Estos son factores que afectan la decisión final a favor de un determinado trabajo. Hay que tener en cuenta que los trabajos a los que se aplican estas recomendaciones son de tipo técnico, por lo que habitualmente los excesos en la decoración tales como tipos de letras rebuscados o filigranas en las páginas son claramente perjudiciales.

3. *Estilo.* En general se ha de utilizar un estilo impersonal, esto significa no utilizar los verbos en primera ni segunda persona ni singular ni plural. Utilizando una personalización del contenido se corre el riesgo de dar una sensación de familiaridad que en la mayoría de las ocasiones es perjudicial para el autor del trabajo. Así mismo se han de utilizar los verbos en tiempo presente y no en futuro. En este aspecto se ha de recordar constantemente que se trata de la documentación de un trabajo ya realizado que no por realizar.

Otro punto a tener en cuenta es la reiteración. La repetición de palabras dentro de un mismo párrafo da información al lector sobre la pobre formación verbal del autor o la poca supervisión que éste ha realizado sobre el texto. Esta situación no favorece la opinión sobre el trabajo.

4. *Desarrollo.* Hay que tener en cuenta que las personas que van a leer la documentación del trabajo presentado son entendidos en la materia en cuestión. Esto significa que el documento debe de ir redactado con un nivel apropiado al contenido ya que un nivel bajo podría "ofender".^{al}

lector o, peor aún, aburrirlo (lo que podría llevar al abandono del trabajo), mientras que un nivel demasiado alto puede dejar huecos no controlados por el lector que si bien podría resultar interesante a éste, también podría resultar fuera de rango.

5. *Coordinación.* El desarrollo del documento debe de presentar el problema objeto del trabajo como base y justificación de éste. Sobre esta base se ha de edificar el resto de apartados de forma que el lector vaya introduciéndose progresivamente en complejidad. Para ello se realiza en primer lugar una descripción global en la que se plantea el tema dándose con ello una visión general de la situación y su entorno sin entrar en detalles y analizando el futuro desarrollo del documento. A continuación se organiza el trabajo en secciones que han de ser documentadas en detalle de la forma más independiente posible sin perder de vista las interrelaciones con las demás (si las hay). En la descripción detallada de las partes hay que incluir diferente tipos de presentaciones, típicamente son textos, tablas, dibujos, referencias y cualquier otro elemento que sea necesario para que el lector pueda seguir el desarrollo lo más fácilmente posible. En los apartados que siguen se habla de los formatos del texto, los dibujos, los planos, las listas, los anexos etc. que componen un documento técnico.
6. *Justificación y cálculos.* La realización de un desarrollo ha de estar fundamentado en razones justificables. Es responsabilidad del ingeniero que realiza el desarrollo realizar así mismo las justificaciones de cada uno de los elementos utilizados y de sus interacciones.
7. *Referencias.* Los trabajos están siempre basados en conocimientos ya establecidos. En caso de que sea necesario el uso de documentación externa, es muy importante que se documente las fuentes por medio de las referencias bibliográficas correspondientes a cada parte.

4 MEMORIAS

Típicamente, la memoria correspondiente a cada una de las prácticas de la asignatura que el alumno ha de presentar al profesor debe constar de las siguientes partes:

1. *Introducción.* En donde se describe la funcionalidad global de la práctica contextualizándola en el tema teórico de la asignatura. En esta parte se presenta y justifica cada una de los apartados sucesivos en relación con los conocimientos previos del alumno en base a las clases teóricas.
2. *Desarrollo.* El trabajo se secciona en las partes funcionalmente diferentes, estableciendo los enlaces existentes entre las distintas partes y describiendo cada una de éstas lo más independientemente posible. Normalmente esta división está dada en la descripción de cada una de las prácticas, y se ha de intentar seguir el orden establecido. Si el desarrollo requiere realizar referencias a esquemas o a parte de ellos, las figuras necesarias correspondientes que complementan el desarrollo se han de incluir en el texto lo más cerca posible del punto en el que se hace la referencia, independientemente de que exista un apartado específico para los esquemas. El trabajo a realizar en cada apartado será correctamente descrito, incluyendo toda la información (texto, gráficos, tablas...) como fuese necesario para una correcta comprensión. Así mismo, la justificación y los cálculos que atañen al desarrollo del trabajo han de ser incluido en este apartado. Finalmente, la ejecución del trabajo lleva a unos resultados que han de ser descritos adecuadamente.
3. *Documentación técnica.* En este apartado se incluye la documentación de la circuitería (esquemas de conexiones entre elementos) y otras consideraciones que el alumno considere necesaria. En este apartado no hay texto descriptivo, únicamente una breve descripción de la sección, pues ya se ha hecho en el desarrollo.
4. *Conclusiones.* En este apartado se incluyen las conclusiones del trabajo realizado, relacionándolas con la introducción de la memoria y los conocimientos previos del alumno.
5. *Anexos.* Este apartado contiene la información que, si bien es necesaria para el desarrollo, no pertenece a él. En este caso se encuentra una descripción a los dispositivos utilizados en el trabajo y cualquier otra referencia necesaria con las características descritas. En general se incluirán sólo la información que no sea de uso habitual.
6. *Referencias.* En esta parte se sitúan las referencias bibliográficas a otros documentos (libros, revistas, otros trabajos, ya sean propios o ajenos, páginas Web, etc.) a los que se han hecho referencia a lo largo del texto anterior.

4.1. Textos

Típicamente, la memoria correspondiente a cada una de las prácticas de la asignatura que el alumno ha de presentar al profesor debe constar de las siguientes partes:

1. Utilizar una ordenación articulada numerada (como se hace en el presente documento) de forma que las distintas partes queden claramente identificada en el índice de materias.
2. La redacción ha de ser correcta tanto sintáctica como morfológica y ortográficamente, para lo cual resulta muy útil las herramientas de supervisión sintácticas de los procesadores de textos actuales.
3. Para generar los documentos se ha de utilizar un procesador de textos. Es la herramienta más adecuada para obtener una buena presentación, siempre que se utilice de forma correcta. En ningún caso se presentará un documento no mecanografiado.
4. Elegir un tipo de letra que facilite la lectura. Una letra normal como "Time New Roman.º Arial". Para resaltar palabras o frases se pueden utilizar subrayado, negrita, inclinada, etc.
5. Establecer una cabecera y pié en los documentos ayudan a una decoración simple que personaliza el trabajo.
6. Las distintas páginas del documento han de estar numeradas al pié de página y a la derecha.
7. Establecer márgenes laterales (del papel) adecuados para que el aspecto del texto sea cómodo para leer. Los siguientes valores son adecuados:

Margen Tamaño (mm)

- Superior 20
 - Inferior 20
 - Izquierdo 25
 - Derecho 20
8. La separación entre líneas siempre es simple.

9. Encuadernación. Los documentos nunca se entregarán en hojas sueltas. La encuadernación será más o menos sofisticada dependiendo del tipo y la envergadura del trabajo. En la mayoría de los casos es suficiente una encuadernación simple en carpeta de plástico o cartulina siempre que se lea claramente el título del trabajo y el autor (o autores) del mismo y la fecha.
10. La orientación del papel es siempre vertical para el texto. Para los planos, dibujos de páginas enteras, croquis, tablas, etc., está permitida su orientación apaisada (en el tamaño A4) siempre que el pie de la página quede a la derecha de la hoja según la orientación vertical normal. Cuando la hoja de papel es mayor del tamaño A4, se ha de plegar adecuadamente.
11. Original. Los documentos que se entregan son siempre originales. Si hay que entregar varios ejemplares todos serán originales. Conviene que al menos una copia quede en poder de los autores.
12. Nivel. El texto ha de reflejar un nivel de conocimiento por parte del autor que no deje lugar a dudas sobre este aspecto al lector. Sin embargo, esto no debe impedir que el documento sea detallado y simple.
13. El documento a entregar llevará una carátula como la que se muestra en el Anexo II.

4.2. Imágenes

En las sucesivas prácticas se precisa por parte del alumno la inclusión de gráficas y la representación de los datos. Siempre que ésta fuera posible, las figuras han de presentarse como gráficos realizados por ordenador, limitando la presentación a mano alzada para aquellos casos concretos que el propio enunciado de la práctica lo especifique. Las figuras han de ser etiquetadas con el número de figura, así como con una breve descripción de la misma. Esta descripción irá incluida en la parte posterior del mismo. Los ejes han de ser correctamente etiquetados, con un tamaño de impresión legible para el profesor. La Fig. 1 presenta un ejemplo de una figura en un documento.

4.3. Ecuaciones

Las ecuaciones necesarias para la descripción del trabajo han de ser elaboradas e incluidas en el trabajo presentado. Para ello, la mayoría de los

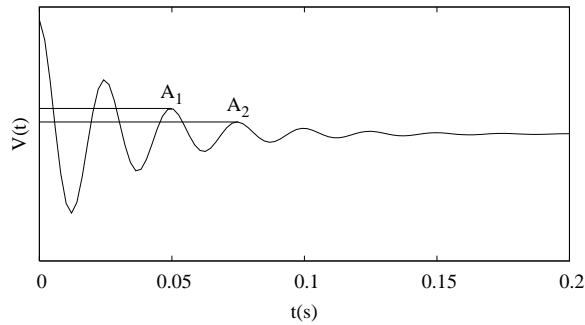


Figura 4.1: Texto referente a la figura en cuestión.

editores de textos incluyen a su vez un editor de ecuaciones que el alumno debe utilizar para su inserción en el documento. Las ecuaciones introducidas será enumeradas sucesivamente según el ejemplo siguiente

$$E(R_{\Delta\theta}, \Delta t) = \sum_{i=1}^{N_t} \left\| R_{\Delta\theta} P_i + \Delta t - P_i' \right\|^2 \quad (4.1)$$

4.4. Tablas

Igual que con las figuras, el alumno debe incluir todas las tablas necesarias para la presentación de los datos y medidas obtenidas. A nivel de lectura, las fuentes utilizadas han de permitir una visualización correcta para la misma. Las tablas introducidas han de ser etiquetadas y enumeradas sucesivamente. La etiqueta ha de aparecer en la parte superior de la misma. La tabla 1 muestra un ejemplo de utilización de las tablas.

5 DESARROLLO DE LA NORMATIVA

Como se ha citado anteriormente, esta norma es de obligado cumplimiento para toda la documentación correspondiente a la materia indicada en la introducción. El desarrollo detallado de esta normativa y la interpretación de la misma la harán los profesores correspondientes a la materia implicada.

Cuadro 4.1: Texto referente a la tabla en cuestión

Frecuencia	Presión eficaz de entrada	Tensión eficaz a la salida
125 Hz		
250 Hz		
500 Hz		
1 kHz		
2 kHz		
4 kHz		
8 kHz		