

# Medir la distorsión de un

En este artículo exponemos un método completamente novedoso para medir la distorsión de un amplificador de audio. Con un ordenador personal, la Interfaz USB LX.1690 presentada en la revistas N°272-273 y con la nueva versión del programa Visual Analyser se puede medir la distorsión armónica de un amplificador en toda la banda incluida entre 10 y 20.000 Hz. A diferencia de los tradicionales Medidores de Distorsión con Visual Analyser se puede ver el espectro generado por la distorsión y analizar cada una de las armónicas que contribuyen a este fenómeno.

Aunque no nos damos cuenta cuando escuchamos una pieza musical cómodamente instalados en un sillón nuestro oído no se limita a percibir los diferentes **niveles** de las ondas acústicas procedentes de la fuente sonora, también realiza un profundo análisis de todas las **frecuencias** que llegan en rápida sucesión a nuestro pabellón auditivo.

Esta inconsciente actividad es para quien escucha un manantial de placer, pero puede volverse, en determinadas condiciones, en causa de **irritación** y **fatiga cerebral**. Esto es lo que sucede, por ejemplo, cuando el sonido resulta afectado por el molesto fenómeno de la **distorsión**, que consiste en la aparición, junto a las frecuencias originales, de frecuencias

**anómalas** que son interpretadas por nuestros sentidos como una **molestia**.

El oído humano puede percibir valores muy **bajos** de **distorsión**, superado el umbral fisiológico una **agradable escucha** se transforma en un **desagradable cansancio**.

Este fenómeno es tratado por una rama de la física del sonido, la **psicofonía**, que se ocupa de los efectos producidos por las frecuencias sonoras sobre nuestra psique.

También es muy conocido por apasionados de la **alta fidelidad**, que buscan instrumentos en los que este efecto sea mínimo.

A este resultado contribuye bastante la **calidad** de los componentes, entre los que destaca la **etapa de amplificación**, si bien, como todos los profesionales saben, no existe ningún amplificador que no esté afectado, en mayor o menor medida, por este fenómeno.

Sabiendo que el **porcentaje de distorsión** es un **parámetro importante** en la elección de un **amplificador** hay muchas personas que quieren tener la posibilidad de **medirla**.

Desafortunadamente es **muy difícil** para un **aficionado** disponer de un **oscilador BF** de **baja distorsión** y de un **Medidor de Distorsión**, ya que están al alcance de pocos bolsillos.

Como respuesta a esta demanda nos hemos propuesto el diseño de un **método fácil y económico** para realizar esta medida.

Así, para realizar este proyecto, hemos decidido utilizar el programa **Visual Analyser** junto a la **Interfaz USB LX.1690**, dispositivo que permite transformar el **ordenador personal** en un **laboratorio** que incluye un **osciloscopio** y un **analizador de espectro BF**.

Hemos planteado al autor del programa, el **Ingeniero Alfredo Accattatis**, la posibilidad

# Amplificador con el PC (I)

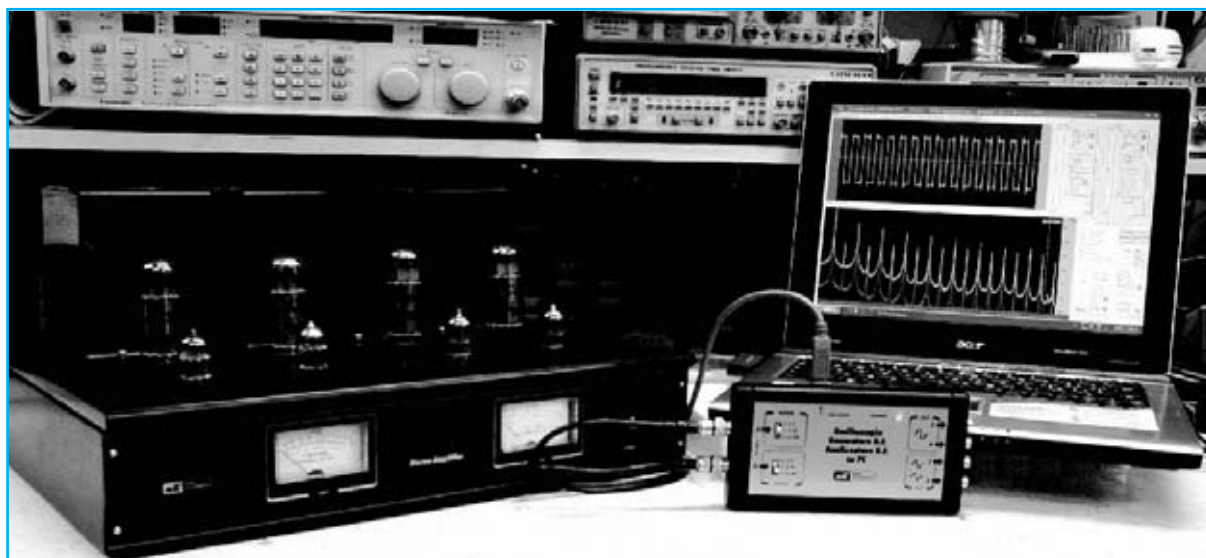


Fig.1 Medir la distorsión armónica de un amplificador de audio es sencillo, barato y preciso utilizando un ordenador personal, la nueva versión del programa Visual Analyser (Visual Analyser 2009 HR) y nuestra Interfaz LX.1690. Con este sistema, además de medir la THD del amplificador, se pueden observar en la pantalla todas las armónicas que contribuyen a la distorsión.

de desarrollar para nosotros una nueva versión que pudiera satisfacer esta demanda. Así ha nacido la última versión de Visual Analyser, **Visual Analyser 2009 HR**.

Instalándola en un **ordenador personal** y conectando a un puerto **USB** del **PC** la Interfaz **LX.1690** es posible medir la **distorsión armónica total (THD)** de cualquier **amplificador** y **preamplificador** de **audio**, de forma **eficaz** y con una **inversión económica** pequeña.

Además, al disponer de un **osciloscopio** y de un **analizador** de **espectro**, se puede observar en la pantalla el **espectro** de las **armónicas no deseadas** y medir su **amplitud** y **fase**, localizando fácilmente las componentes armónicas que contribuyen principalmente a la distorsión.

Como se puede comprobar gracias a **Visual Analyser** esta medida ya no es monopolio de los laboratorios especializados, es tan sencillo que está al **alcance** de **todo el mundo**.

## **DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)**

Una definición de fácil comprensión para la **distorsión armónica** es que consiste en la **modificación** de la **forma de onda** que sufre una señal eléctrica cuando atraviesa un dispositivo de comportamiento **no lineal**.

En el caso de un amplificador la distorsión se mide aplicando a su **entrada** una señal perfectamente **sinusoidal** y **analizando** la señal obtenida en la **salida**.

Cuando se produce una **distorsión armónica** aparece, junto a la frecuencia **fundamental** aplicada a la entrada, una serie de **armónicas** con valores de frecuencia **múltiplo** de la fundamental.

Por ejemplo, si aplicamos a un amplificador una señal sinusoidal con una frecuencia de **1.000 Hz**, deberíamos esperar obtener en la salida la misma señal debidamente amplificada.

Si se produce **distorsión armónica** además de la señal original en la salida aparecerán también una serie de componentes **armónicas**, en este caso de **2.000 Hz**, **3.000 Hz**, **4.000 Hz**, etc. (ver Fig.2).

La armónica de frecuencia **doble** de la fundamental, **2.000 Hz** en nuestro ejemplo, se denomina **segunda armónica**, la de frecuencia **triple**, **3.000 Hz** en el ejemplo, **tercera armónica** y así sucesivamente.

Según su amplitud cada una de estas armónicas contribuye a la **distorsión armónica total**, conocida con el acrónimo anglosajón **THD** (**Total Harmonic Distortion**).

La distorsión armónica es un **fenómeno muy molesto** ya que al alterar la reproducción del **sonido** introduciendo una serie de armónicas no deseadas, la **desnaturaliza**.

Por este motivo la medida de la **THD** es muy importante para valorar la calidad de un amplificador de audio.

Para medir la **THD** se parte de la **relación** entre la medida del valor eficaz de **cada armónica** y el valor eficaz de la **fundamental**.

Por ejemplo, para valorar la distorsión introducida por la **segunda armónica** se utiliza la siguiente fórmula:

$$D_2 = V_2 / V_1$$

Donde **D<sub>2</sub>** es la **distorsión** de la **segunda armónica**

**V<sub>2</sub>** es el **valor eficaz** de la **segunda armónica**  
**V<sub>1</sub>** es el **valor eficaz** de la **fundamental**

Por ejemplo, si el valor eficaz de la segunda armónica fuera igual a **0,018 voltios** y el de la fundamental fuera de **1,5 voltios**, la **distorsión** de la **segunda armónica** sería:

$$D_2 = 0,018 / 1,5 = 0,012$$

El mismo procedimiento es aplicable para la distorsión de la **tercera armónica**, utilizando la fórmula:

$$D_3 = V_3 / V_1$$

Donde **D<sub>3</sub>** es la **distorsión** de la **tercera armónica**

**V<sub>3</sub>** es el **valor eficaz** de la **tercera armónica**  
**V<sub>1</sub>** es el **valor eficaz** de la **fundamental**

Por tanto, si el valor eficaz de la tercera armónica fuese de **0,010 voltios** con respecto a la misma fundamental (**1,5 voltios**), se obtendría:

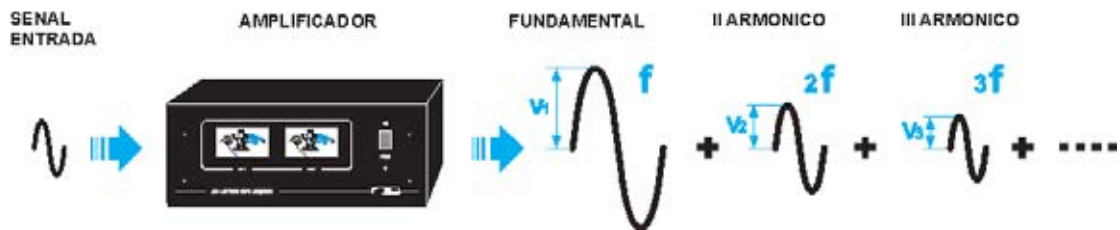


Fig.2 Aplicando a la entrada de un amplificador una señal perfectamente sinusoidal con una frecuencia conocida, por ejemplo 1.000 Hz, se obtiene en la salida una señal compuesta por la frecuencia fundamental de 1.000 Hz, oportunamente amplificada, más una serie de armónicas, señales con una frecuencia múltiplo de la fundamental y con amplitudes decrecientes progresivamente. La relación entre la amplitud de cada armónica y la amplitud de la fundamental permite determinar el valor de la Distorsión Armónica Total (THD) del amplificador.

$$D_3 = 0,010 / 1,5 = 0,0066$$

El proceso con el resto de armónicas es análogo.

Puesto que se han calculado los valores de la distorsión relativos a cada armónica ( $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  ...) hay que obtener el valor de la **distorsión armónica total** a través de la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{(D_2)^2 + (D_3)^2 + (D_4)^2 + \dots}$$

Donde **D** representa la **distorsión armónica total**. Generalmente se expresa en porcentaje, multiplicándola por 100.

La suma de los términos bajo la raíz cuadrada sería teóricamente una suma de **infinitos términos**. En realidad, puesto que la **amplitud** de las armónicas **decrece** rápidamente al **aumentar** su **frecuencia**, llega un momento en que las armónicas son irrelevantes para el cálculo.

Siguiendo el ejemplo anterior, la distorsión armónica total de las armónicas  $D_2$  y  $D_3$  es:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{(D_2)^2 + (D_3)^2} = \sqrt{(0,012)^2 + (0,0066)^2} \\ &= \sqrt{0,000144 + 0,00004356} = \sqrt{0,00018756} = \\ &0,0136 \times 100 = 1,36\% \end{aligned}$$

También es necesario tener presente que no todas las componentes armónicas influyen del mismo modo sobre nuestro oído.

Está muy constatado que la sensibilidad del oído humano es diferente para las armónicas **pares** y para las **impares**.

También depende, en cierta manera, del **tipo** de las armónicas que contribuyen a la distorsión. Por ejemplo, cierto porcentaje de distorsión de la **tercera armónica** es mucho más molesto para nuestro oído que el mismo porcentaje de distorsión producido por la **segunda armónica**.

Por estos motivos para realizar una valoración precisa de la distorsión de un amplificador no es suficiente la determinación del valor **porcentual** de la **THD**, también es muy importante conocer la composición de **todo el espectro**, es decir de las **armónicas individuales**.

### Medida tradicional de la THD

Para entender como funciona **Visual Analyser** es necesario conocer como se mide la **THD** de un amplificador.

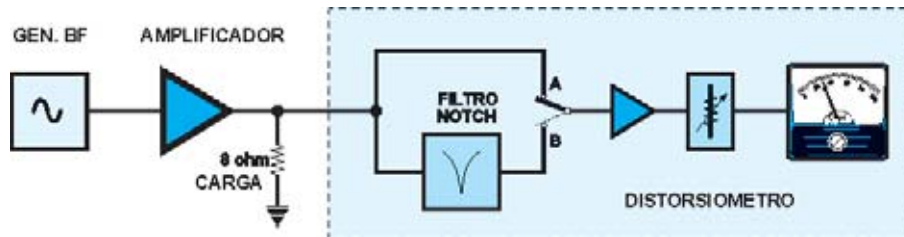


Fig.3 Esquema de bloques de un Medidor de Distorsión clásico. Con el conmutador en posición A la señal procedente de la salida del amplificador a medir se manda directamente al voltímetro, regulando la amplitud para llevar la medida al fondo de escala (100%). Cuando el conmutador está en la posición B la señal atraviesa un filtro notch de frecuencia variable. Ajustando adecuadamente la frecuencia del filtro se puede eliminar completamente la fundamental, condición alcanzada cuando el voltímetro indica el valor mínimo. Este valor, en porcentaje sobre el 100% del fondo de escala, corresponde a la THD del amplificador.

En la Fig.3 se muestra el esquema utilizado para efectuar la medida utilizando un **generador BF** y un **Medidor de Distorsión**, instrumento compuesto esencialmente por un **filtro notch** cuya frecuencia de corte puede sintonizarse a la misma frecuencia a la que se realiza la medida.

El principio fundamental es bastante simple, consiste en conectar un **filtro** a la salida del aparato del que se quiere medir la distorsión cuya función es **eliminar** completamente la **fundamental**, también denominada **primera armónica**. De esta forma la señal que queda corresponde sólo a las armónicas introducidas por la distorsión.

El procedimiento se utiliza generalmente realizando la medida a una **frecuencia** de **1.000 Hz** y a una potencia correspondiente al **50%** de la **potencia máxima**.

La medida se efectúa tal como se detalla seguidamente para obtener la **distorsión total** de una etapa **final** de **potencia**.

El **generador BF** se conecta a la **entrada** del amplificador y a la **salida** de este último se aplica una **carga resistiva** con una impedancia igual a la de los altavoces utilizados (ver Fig.3).

En paralelo a la carga se conecta un **voltímetro** para medir el valor de la **tensión eficaz** presente en los contactos de la carga.

Una vez encendido el generador **BF** hay que ajustarlo para que genere la **frecuencia** de medida, por ejemplo **1.000 Hz**, con una amplitud adecuada para que el amplificador proporcione sobre la carga una tensión correspondiente a la **potencia** deseada, normalmente la **mitad** de la **potencia máxima**.

En la Fig.3 se muestra un esquema que resume el funcionamiento de un **Medidor de Distorsión**. En un primer momento, con el conmutador en posición **A**, se manda la señal obtenida de la salida del amplificador al **Medidor de Distorsión**, que incluye un **voltímetro**.

Luego se regula la amplificación del medidor de forma que la medida del instrumento llegue al **fondo de escala**.

Llegado este punto se pone el conmutador en la posición **B**. De esta forma la señal proveniente del amplificador atraviesa el **filtro notch** que procede a eliminar la **fundamental** de **1.000 Hz**.

Ahora se varía lentamente la **sintonía** del **filtro notch** hasta conseguir en el instrumento el valor **mínimo**, asegurando así la **eliminación completa** de la **fundamental (primera armónica)**.

Para tener más precisión se aumenta progresivamente la **sensibilidad** del instrumento hasta conseguir de nuevo el valor **mínimo**,



## La fórmula adecuada

Si se consultan varios textos de electrónica se pueden descubrir varias fórmulas diferentes utilizadas para **calcular** la **distorsión**.

En algunas publicaciones se utiliza la fórmula:

$$\text{THDf} = \frac{\sqrt{(V_2)^2 + (V_3)^2 + (V_4)^2 + \dots + V_n)^2}}{V_1}$$

Donde **V1** es el **valor eficaz** de la **fundamental** y **V2, V3, V4 ... Vn** son los **valores eficaces** de las **armónicas**.

En este caso la distorsión se calcula como la relación entre la raíz de la suma de los cuadrados de los **valores eficaces individuales** de todas las **armónicas**, es decir su **valor eficaz total**, y el valor **eficaz** de la **fundamental**. La distorsión calculada de este modo se referencia a la **fundamental**, por esta razón aparece **V1** en el cálculo y la letra **f** detrás de **THD**.

En otros textos aparece la siguiente fórmula:

$$\text{THDr} = \frac{\sqrt{(V_2)^2 + (V_3)^2 + (V_4)^2 + \dots + V_n)^2}}{\sqrt{(V_1)^2 + (V_2)^2 + (V_3)^2 + (V_4)^2 + \dots + V_n)^2}}$$

En esta fórmula el numerador es igual al de la fórmula anterior mientras que el denominador está constituido por la raíz **cuadrada** del valor eficaz de la **fundamental** sumado a los valores eficaces de las armónicas. Para diferenciarla de la anterior la distorsión calculada de este modo se denomina **THDr**.

Ahora bien ... ¿Cuál es la diferencia entre estas dos fórmulas? ¿Por qué coexisten?

La **segunda fórmula** se ha utilizado principalmente en el **pasado** ya que concuerda con las medidas realizadas por los tradicionales **Medidores de Distorsión**. En este caso la distorsión se toma como la relación entre el valor eficaz de las armónicas que quedan una vez suprimida la fundamental (con un filtro) y el valor eficaz de la señal total.

**Hoy día** se prefiere utilizar la **primera fórmula** y definir la distorsión como la relación entre el valor eficaz de las armónicas con relación al valor eficaz de la fundamental.

Esta dualidad tiene un interés predominantemente teórico, ya que en los **sistemas Hi-Fi**, en los que los porcentajes de distorsión tienen valores **muy bajos**, los valores calculados con los **dos sistemas coinciden**.

asegurando de esta forma que el valor corresponde únicamente a las **componentes armónicas** que producen **distorsión**.

Si el instrumento está escalado en % la posición de la aguja indica directamente el **valor porcentual** de la **distorsión total** o **THD**.

Este valor **no** corresponde todavía a la distorsión producida por el amplificador sino a la **suma** de ésta y la distorsión producida por el **generador BF**. Para conseguir la distorsión efectiva del amplificador hay que repetir la medida sobre el **generador BF** y **restar** el valor obtenido al valor medido anteriormente.

Como se puede apreciar esta medida precisa **tres instrumentos** para obtener únicamente el **valor numérico total** de la **distorsión**, pero **no** proporciona ninguna información sobre la amplitud de las **armónicas individuales**.

### Medida con VISUAL ANALYSER

La medida de la **THD** con **Visual Analyser** es muy simple. Como expusimos en las revistas **Nº272-273**, **Visual Analyser**, entre otras muchas cosas, es capaz de obtener el **espectro completo** de una señal **descomponiéndola** en sus **componentes armónicas**.

Utilizando un potente algoritmo basado en el **Teorema de Fourier (FFT)** el programa permite ver en pantalla la **amplitud** y la **fase** de **cada una** de las **armónicas** que componen una señal. Esta función permite obtener con **enorme precisión** el valor de la **distorsión armónica** producido por un amplificador.

Así, a diferencia de la medida tradicional que proporciona únicamente un **valor porcentual**, se puede ver el **espectro** producido por la **distorsión** y cuales son las **armónicas** que la **causan**.

El principio de medida es el siguiente. El programa **Visual Analyser** genera una señal **sinusoidal digitalizada**, de frecuencia igual a utilizada para la medida, que es aplicada mediante un **puerto USB** del **PC** a la **Interfaz LX.1690**.

La interfaz transforma la señal digital en una **onda sinusoidal (analógica)** de amplitud

ajustable entre **0** y **14 voltios pico/pico** (corresponde a la señal producida por un **generador BF**).

La interfaz dispone de dos **entradas** provistas de un **atenuador** con tres posiciones, **x1**, **x10**, **x100** (ver Fig.9), que con **Visual Analyser** permite ver en la pantalla del PC la señal a lo largo del **tiempo**, como en un osciloscopio, es decir su **espectro**.

La medida se efectúa tal como se detalla seguidamente.

Se conecta la salida de la tarjeta **LX.1690** a la entrada del circuito **LX.1729** y la salida de este último a la entrada del amplificador a medir (ver Fig.4).

La salida del amplificador se conecta a una adecuada carga resistiva. Con el conmutador de la tarjeta **LX.1729** en posición **B (medida)** se regula la amplitud de la señal producida por el **generador BF** de **Visual Analyser** de forma que la tensión en la **salida** del amplificador corresponda a la **potencia** a la que se quiere efectuar la medida.

Luego hay que poner el conmutador en la posición **A (calibración)**. **Visual Analyser** toma el **espectro** de la señal producida por el **generador**.

Puesto que siempre hay alguna distorsión en cualquier **generador BF** se visualizan en la pantalla del PC las **armónicas** presentes en la **señal BF**. Llegado este punto, mediante la función de **calibrado**, el programa es capaz de **almacenar** el **espectro completo** de la señal **BF**.

Si se pone de nuevo el conmutador en la posición **B (medida)** se visualiza en pantalla el espectro de la señal en la salida del amplificador. **Visual Analyser** **sustra** automáticamente al espectro producido por el amplificador el espectro de la **señal BF** anteriormente almacenado.

De esta forma, habiendo **eliminado** las **interferencias** producidas por la **fuentes**, se obtiene en pantalla el espectro de la **distorsión** producida por el **amplificador**, mostrando la amplitud de las diferentes **armónicas** que contribuyen a la distorsión.

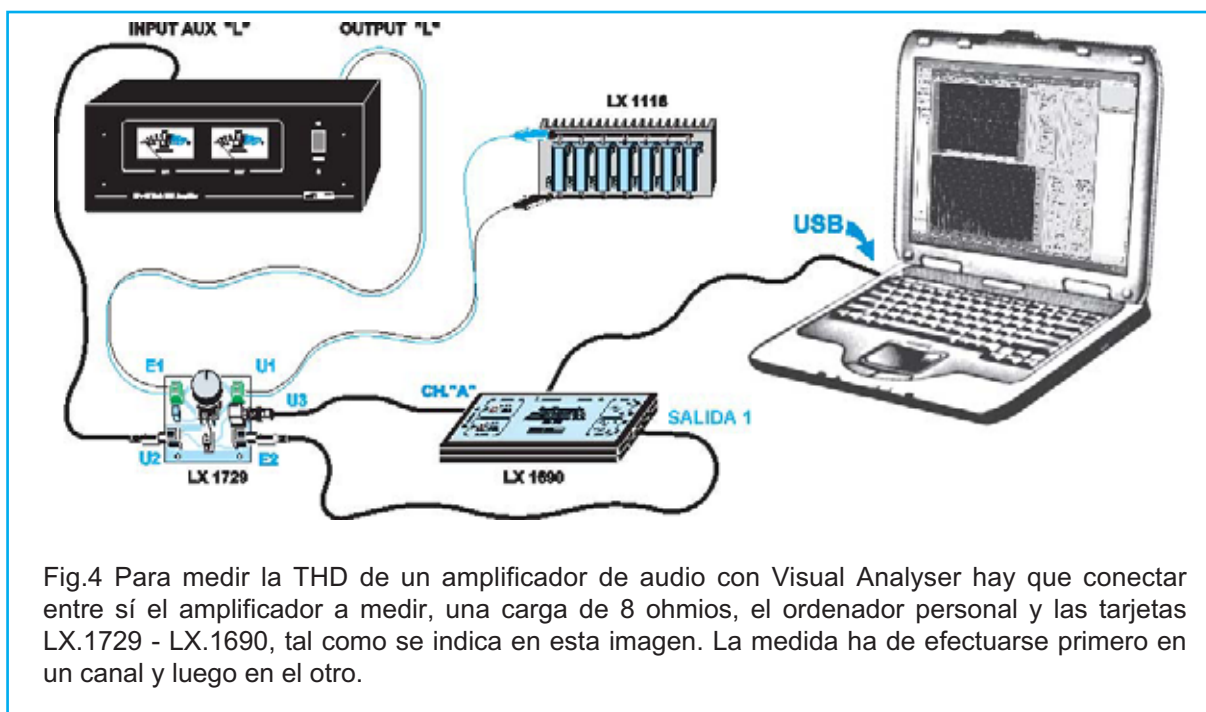


Fig.4 Para medir la THD de un amplificador de audio con Visual Analyser hay que conectar entre sí el amplificador a medir, una carga de 8 ohmios, el ordenador personal y las tarjetas LX.1729 - LX.1690, tal como se indica en esta imagen. La medida ha de efectuarse primero en un canal y luego en el otro.

Después de esta breve exposición pasamos a explicar como se realiza la **medida real** y la utilización de las diferentes **funciones** del programa.

### Medimos un AMPLIFICADOR de AUDIO

Antes de comenzar aconsejamos la lectura del artículo publicado en las revistas **Nº272** y **273**, donde se detallan pormenorizadamente todas las **instrucciones** para utilizar el **osciloscopio** y el **analizador de espectro**, así como la **configuración** del programa.

En primer lugar hay que **instalar** la versión del programa **Visual Analyser** denominada "**VA THD**" en un ordenador personal dotado de los requisitos expuesto en el cuadro adjunto.

### REQUISITOS mínimos del ORDENADOR

- Sistema operativo: **Windows XP, Vista 32.**
- Procesador: **Pentium 3** o compatible.
- RAM: **128 MB.**
- Disco duro libre: **20 MB.**
- Unidad **CDROM 8x** o **DVD 2x.**
- Tarjeta gráfica **800x600 color 16 bits**
- Puerto **USB**

Para realizar la instalación del programa basta con seguir las sencillas instrucciones indicadas en sección "**Instalación de Visual Analyser**".

Una vez completada la instalación hay que efectuar la **calibración** del **osciloscopio** y del **voltímetro** tal como se indicó en el artículo de las revistas N°272-273, utilizando el circuito de calibración **LX.1691**.

La medida se articula en **tres fases**:

1. Regulación de la **amplitud** de la **señal BF**.
2. Medida de la **distorsión** del **generador BF**.
3. Medida de la **distorsión** del **amplificador**.

Antes de proceder a realizar las conexiones necesarias para efectuar la medida hay que realizar una **verificación muy importante**: Si la etapa final del amplificador dispone de una **toma de masa** en la **salida del altavoz** o no.

Para comprender mejor este aspecto en conveniente consultar las Figs.5-6.

En salida de un amplificador suele haber por cada canal un terminal de conexión de color **rojo**, marcado con un **signo +**, y otro de color **negro**, marcado con un **signo -**.



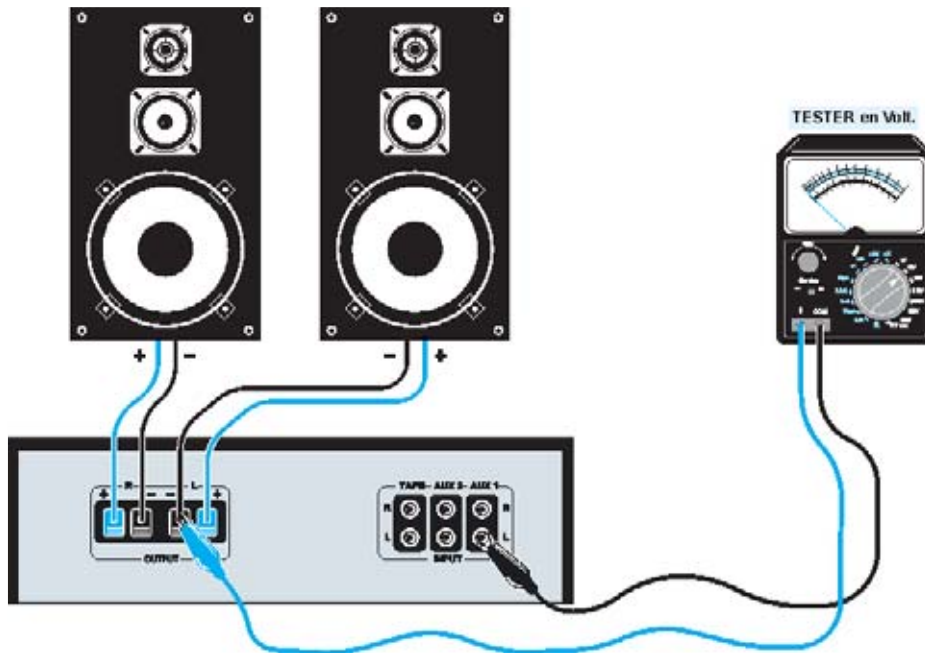


Fig.5 Si después de haber conectado un téster para medida de tensión continua (DC) entre el conector de salida marcado con un signo - y masa (tomada de un conector de entrada) la tensión leída es 0 voltios significa que la salida del amplificador tiene toma de masa. En este caso la tensión medida por Visual Analyser corresponde a la presente sobre la carga.

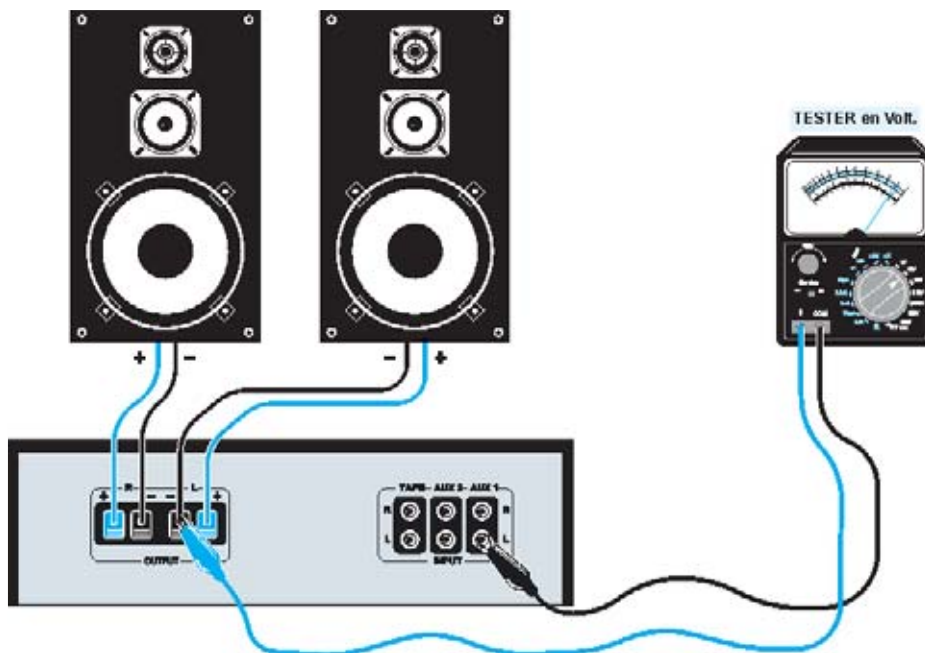


Fig.6 En cambio si i después de haber conectado un téster para medida de tensión continua (DC) entre el conector de salida marcado con un signo - y masa (tomada de un conector de entrada) la tensión leída no es 0 voltios (hay tensión positiva o negativa) significa que la salida del amplificador no tiene toma de masa.

Estos signos no corresponden a la **polaridad** de los altavoces, se utilizan para **ponerlos en fase** entre sí de forma que la señal que llega a las dos **cajas acústicas** no esté desfasada.

En la **Fig.5** se representa la salida de un amplificador con la salida - **conectada** a la **masa** del amplificador, mientras que en la **Fig.6** se representa la salida de un amplificador con la salida - **no conectada** a la **masa** del amplificador.

Ahora bien ¿cómo saber si la **salida** - está conectada o no a la **masa** del **amplificador**?

Para comprobarlo es suficiente conectar un **voltímetro** entre una salida - del amplificador y la **masa** obtenida de uno de sus **conectores de entrada**. Es más fiable obtener directamente la masa de uno de los **conectores BF** de entrada que del chasis del amplificador.

Una vez alimentado el amplificador hay que verificar el **valor de tensión leído**. Si es igual a **0** significa que la salida - está **conectada** a **masa**, en cambio si se lee **alguna tensión** significa que la salida - **no** está **conectada** a **masa**.

Si se conecta **directamente** la salida de un amplificador con salida - conectada a **masa** a la entrada de la tarjeta **LX.1690** la componente continua puede **dañar** el **amplificador**.

Por este motivo hemos diseñado la tarjeta **LX.1729** que, además de simplificar notablemente la realización de la medida, dispone de un **condensador** que elimina al eventual **componente continúa**.

**NOTA IMPORTANTE:** Recomendamos encarecidamente utilizar La tarjeta **LX.1729** junto al **LX.1690** y no efectuar el cableado de forma diferente a la indicada.

Otro aspecto a tener en cuenta para realizar la medida es el **cálculo** de la **potencia de salida**, que es diferente en los dos casos.

Para llevar a cabo las 3 fases previstas hay que conectar la entrada y la salida del amplificador, la **carga** de **8 ohmios**, la entrada **CHA** y la **Salida 1** de la tarjeta **LX.1690** a la tarjeta **LX.1729** utilizando **cables apantallados** (ver Fig.4).

Para una mejor comprensión hemos representado en la Fig.7 las **conexiones** en forma de **esquema de bloques** de las tarjetas **LX.1729** y **LX.1690**.

El control del volumen del amplificador es conveniente ajustar casi al máximo y no tocarlo en el transcurso de la medida. Además, como hemos mencionado, la medida se realiza a **1.000 Hz** y a una potencia correspondiente a la **mitad** de la potencia **máxima** del amplificador.

La medida ha de ser realizada primero sobre **un canal** y luego sobre el **otro**, esto es la tarjeta **LX.1729** se conectará a una **entrada** y una **sola salida** del amplificador en un momento dado.

Tampoco se ha de olvidar conectar una **carga** que reproduzca la impedancia de los altavoces. Normalmente se utiliza una carga resistiva de **8 ohmios**, que naturalmente debe soportar la potencia proporcionada por el final del amplificador. No obstante también se pueden utilizar sondas de carga, como nuestra **LX.1116**, que permite realizar con toda seguridad medidas con una potencia de hasta **150 Vatios** (ver Fig.4).

El **conector USB** de la tarjeta **LX.1690** tiene que conectarse al **puerto USB** del **PC** utilizando un **cable USB estándar**.

Hay que tener especial cuidado al conectar **CH A (Canal A)** y la **Salida1** de la tarjeta **LX.1690**, ya que de no realizarse adecuadamente no se podrá realizar la medida. La señal necesaria para realizar la medida está presente en la **Salida1** de la tarjeta **LX.1690**, mientras que la sustracción del espectro del generador se realiza en el canal de entrada **CH A**.

Una vez detalladas las **conexiones** pasamos a describir cada una de las **tres fases** de la **medida**.

## **REGULACIÓN de la amplitud de la SEÑAL BF**

Antes de realizar la medida de la distorsión propiamente dicha es muy importante regular el **nivel** de la **señal BF** de forma que la **potencia** proporcionada por el amplificador sea la adecuada.

Supongamos que el **amplificador** a medir tiene una potencia nominal de **50 vatios**. En este caso hay que verificar que la **señal BF** tiene un valor de **tensión** en la salida sobre la carga de **8 ohmios** correspondiente a **25 vatios** de potencia.

Como es conocido la **potencia** sobre una **carga resistiva** en régimen sinusoidal está relacionada con el valor de la **tensión eficaz** según la siguiente fórmula:

$$P = V^2 / R$$

Donde **P** es la **potencia** (en **vatios**)

**V** es la **tensión eficaz** (en **voltios**)

**R** es la **resistencia** (en **ohmios**)

Para determinar la **tensión eficaz** correspondiente a un determinado valor de **potencia** despejamos de la fórmula anterior la **tensión**:

$$V = \sqrt{P \times R}$$

Así, sobre una carga de **8 ohmios** con una potencia de **25 vatios** hay que tener una **tensión eficaz** en la salida del amplificador de:

$$V = \sqrt{25 \times 8} = \sqrt{200} = 14,14 \text{ Voltios}$$

Puesto que se ha establecido el valor de la **tensión** de salida del amplificador hay que **regular** la **amplitud** de la señal aplicada a la **entrada** al amplificador para conseguir este valor.

Ahora es cuando hay que tener en cuenta la **conexión a masa**, o no, de las tomas de **salida del amplificador**.

Si la salida del amplificador está conectada a **masa** (ver Fig.5) la **tensión** medida por el osciloscopio y por el voltímetro de Visual Analyser es **igual** a la **tensión** presente sobre la **carga**. En cambio, si a salida del amplificador **no** está conectada a **masa** (ver Fig.6) la **tensión** medida por el osciloscopio y por el voltímetro de Visual Analyser es la **mitad** de la **tensión** presente en la **carga**.

En el ejemplo anterior hemos visto que para proporcionar una potencia de **25 vatios** sobre una carga de **8 ohmios** es preciso aplicar una **tensión eficaz** de **14,14 voltios**.

Si la **salida** - del amplificador a medir está conectada a **masa**, y el atenuador de **CHA** de la Interfaz **LX.1690** puesto en posición **x100**, hay que regular la amplitud de la señal BF para obtener en el **voltímetro** un valor de **0,1414 voltios (14,14 : 100)**.

En cambio, si la **salida** - del amplificador **no** está conectada a **masa**, y el atenuador de **CHA** de la Interfaz **LX.1690** puesto en posición **x100**, hay que regular la amplitud de la señal BF para obtener en el **voltímetro** un valor de **0,0707 voltios ([14,14 : 2] :100)**.

Los pasos a seguir para regular la **tensión** de salida son los siguientes:

- Posicionar el **conmutador** de la tarjeta **LX.1729** en **B (medida)**.

- Girar el potenciómetro **R1** de la tarjeta **LX.1729** completamente en sentido **horario**.

- Ajustar el **atenuador** del **Canal A (CH A)** de la Interfaz **LX.1690** en posición **x10**.

- Ejecutar **Visual Analyser**, utilizando el icono del escritorio o el acceso del menú Inicio (ver Fig.12). En este punto aparecerá la **pantalla principal** del programa (ver Fig.16).

- Verificar que la **configuración** de todos los **parámetros** corresponde a la indicada en las **Figs.17-18-19**. Si no coinciden hay que modificarlos para que lo hagan.

- Seleccionar la pestaña **Device** (ver Fig.20) y efectuar cuidadosamente el reconocimiento de la Interfaz siguiendo los pasos indicados en las Figs.21-22-23.

- Para medir la **tensión** de salida con la función **Voltímetro** de **Visual Analyser** hay que **calibrarlo** previamente con el circuito de calibración **LX.1691** siguiendo el procedimiento indicado en las **revistas N°272-273**.

- Ahora hay que seleccionar la pestaña **THD** (ver Fig.30). Se abrirá la ventana mostrada en la Fig.31.

- En el interior de esta ventana hay que seleccionar la opción **INT** en el cuadro **Source**. Luego hay que seleccionar la **frecuencia** de trabajo deseada, por ejemplo **1.000 Hz** (ver Fig.32).

- El cursor de la barra **Master Output Level**, que regula la **amplitud** de la **señal BF**, tiene que llevarse al **mínimo (izquierda)**.

- Acto seguido hay que hacer click en el botón **MEASURE** y desplazar poco a poco hacia la derecha el cursor **Master Output Level** de forma que aumente ligeramente la amplitud de la señal **BF**. Si se han configurado correctamente los parámetros del osciloscopio y del analizador de espectro aparecerá la forma de onda de la señal sinusoidal de **1.000 Hz** presente en salida del amplificador y su espectro (ver Fig.33).

- Desplazar más el cursor para aumentar la señal de salida en el amplificador. Puesto que el atenuador de **CH A** de la Interfaz **LX.1690** está en la posición **x10** en un algún momento veréis que la sinusoide tenderá a **sobresalir** de la pantalla del osciloscopio (ver Fig.34).

- En este punto hay que ajustar el **atenuador** del canal de entrada **CH A** a la posición **x100**. Ahora la sinusoide queda perfectamente encuadrada en la pantalla (ver Fig.35).

- Actuando sobre el botón **Zoom** del osciloscopio se puede aumentar el tamaño de la sinusoide para **visualizarla mejor** (ver Fig.36). Esta opción amplía el tamaño de la señal pero no modifica su amplitud en tensión.

- Es el momento de acceder a la función **Settings** situada en la **barra de herramientas superior** de **Visual Analyser**, automáticamente se abrirá la ventana mostrada en la Fig.17. Al seleccionar **Voltmeter** aparecerá el display del **Voltímetro** (ver Fig.37). Ahora hay que seleccionar la opción **RMS** para obtener directamente la medida en **voltios eficaces**.

Se ha de tener presente que la tensión mostrada por el voltímetro es igual a la tensión presente en la salida del amplificador **dividida** por el valor seleccionado en el atenuador de **CH A**. En nuestro caso (posición **x100**) una tensión de **0,1543 voltios** en el voltímetro corresponde a una tensión de **15,43 voltios** en la salida del amplificador.

Por otro lado, como ya hemos visto detalladamente, a una potencia de **25 vatios** sobre una carga de **8 ohmios** le corresponde una tensión eficaz de **14,14 voltios**. Si vamos a realizar la medida con este valor de potencia hay que

regular el cursor **Master Output Level** de forma que el voltímetro de **Visual Analyser** indique un valor de **0,1414 Voltios**.

- Para ajustar con **más precisión** la tensión de salida del amplificador es aconsejable utilizar el **ajuste numérico** situado al lado de la barra **Master Output Level** (ver Fig.38). Se pueden utilizar incluso **valores decimales** (el separador decimal es el **punto**).

- También se puede regular el mando de **volumen del amplificador** para fijar el nivel de tensión en su **salida**.

- Hay que verificar en la pantalla del osciloscopio de **Visual Analyser** que la señal sinusoidal en la salida al amplificador **no** quede **alterada**.

- Una vez fijado el nivel de la tensión de salida no se ha de tocar más el cursor de **Master Output Level** ya que la **amplitud** de la señal producida por el **generador BF** tendrá que permanecer **inalterada** en las dos fases siguientes.

- Ahora hay que poner el **conmutador** de la tarjeta **LX.1729** en posición **A (calibración)** y el atenuador del canal **CH A** en posición **x1**, controlando de nuevo que la **señal** presente en el osciloscopio **no** quede **alterada**.

Por último hay que poner el atenuador en **posición x10** y **anotar** el **valor de tensión** mostrado por el **voltímetro**, ya que se utilizará en el transcurso de la medida.

Para preparar la fase siguiente hay que hacer click en el botón **MEASURE** y así deshabilitar el generador.

### **MEDIDA de la DISTORSIÓN del GENERADOR BF**

Esta medida tiene la función de obtener el **espectro** de la señal producido por el **generador BF**. El espectro se almacena automáticamente por **Visual Analyser** que procede a **sustraerlo** del espectro del **amplificador**.

Los pasos a seguir para realizar la medida son los siguientes:

- Verificar que el **conmutador** de la tarjeta **LX.1729** está en **posición A (calibración)**.

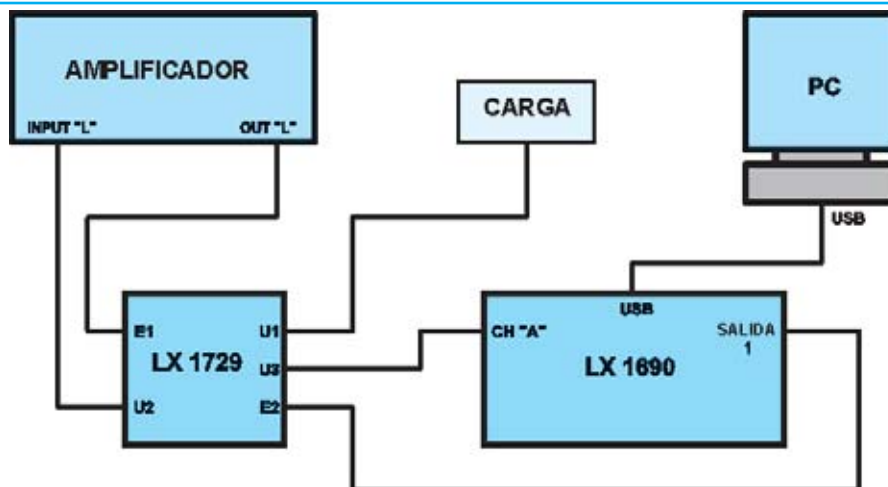


Fig.7 Para hacer más sencilla la realización de la medida hemos diseñado la tarjeta auxiliar LX.1729. Esta tarjeta permite simplificar notablemente la realización de las conexiones y aumenta mucho la seguridad. Para realizar la medida simplemente hay que seguir las indicaciones mostradas en la imagen. En la segunda parte del artículo se detalla tanto el esquema eléctrico como el esquema de montaje práctico de la tarjeta LX.1729.

- Girar el potenciómetro **R1** de la tarjeta **LX.1729** completamente en sentido **horario**.

- Ajustar el **atenuador** del **Canal A (CH A)** de la Interfaz **LX.1690** en posición **x1**.

- Partiendo de la ventana mostrada en la Fig.38 hay que hacer click de nuevo en el botón **MEASURE**, la señal BF aparecerá en pantalla. A continuación hay que verificar que la sinusoide que aparece en el osciloscopio no quede **alterada**, si así fuese hay que poner el **atenuador** en la **posición x10**.

- Es muy importante **no modificar** la posición del cursor de **Master Output Level**.

- **Anotar el porcentaje de distorsión** indicado en la ventana.

- Ahora hay que hacer click en el botón **CALIBRATE** (ver Fig.40) y esperar **5 segundos**. El nuevo valor de la **THD** que se muestra ahora es mucho más bajo.

De nuevo, para preparar la fase siguiente, hay que hacer click en el botón **MEASURE** y así deshabilitar el generador. Ya sólo queda realizar la tercera, y última, parte.

### MEDIDA de la DISTORSIÓN del AMPLIFICADOR

Para medir la distorsión del amplificador hay que proceder del siguiente modo:

- Posicionar el **conmutador** de la tarjeta **LX.1729** en **B (medida)**.

- Girar el potenciómetro **R1** de la tarjeta **LX.1729** completamente en sentido **horario**.

- Poner el selector del **atenuador** en la misma posición utilizada para la función de **calibración (x1 o x 10)**.

- Hacer click en el botón **MEASURE** para habilitar el **generador BF**.

- Girar lentamente el potenciómetro de la tarjeta **LX.1729** hasta que aparezca la **señal sinusoidal** de **1.000 Hz** producida por el generador BF en la parte inferior de la pantalla verificando que el **valor indicado** en el **voltímetro** tenga el **mismo valor de tensión** apuntado en la **medida anterior** (ver Fig.41).

Una vez lograda esta situación **no** hay que **modificar la posición** del potenciómetro **R1**, se introduciría un error en la medida.



El valor de la **THD** que aparece en la ventana corresponde al valor de la **distorsión armónica total** del amplificador.

### Algunas CONSIDERACIONES ...

Es el momento de realizar algunas valoraciones sobre los resultados obtenidos.

Ante todo es importante tener presente que, puesto que la **banda pasante** del sistema de medida va desde **50 Hz** a **20.000 Hz**, efectuando la medida a **1.000 Hz** se toman en consideración todas las **armónicas** producidas por distorsión hasta la **19ª**, un resultado más que válido. En cambio si la medida se realiza a **500 Hz** se tomaría hasta la **39ª armónica**.

Para valores superiores a **1.000 Hz** el número de las armónicas sobre las que es posible realizar el cálculo se **reduce**. Por ejemplo a **4.000 Hz** sólo se puede tomar hasta la **4ª armónica**.

Este aspecto ha tenerse presente, aunque hay que recordar que la **amplitud** de las armónicas **decrece** muy rápidamente a medida que se **alejan** del **fundamental**. Las armónicas de orden muy superior con respecto a la fundamental son prácticamente irrelevantes.

Si no se tiene en cuenta la **limitación** impuesta por la **banda pasante** se pueden cometer

errores. Por ejemplo, queriendo obtener la **curva** de la distorsión en función de la **frecuencia** se notaría que, por encima de un cierto valor de frecuencia, el valor de la **THD** empieza a **reducirse** de forma drástica.

Para nada esto es debido a una mejoría de la linealidad del amplificador, sino al hecho de que las **armónicas** que contribuyen a la distorsión son **eliminadas** poco a poco a medida que aumentamos la frecuencia y **no existen** por encima de **20 KHz**.

Observando la Fig.18 se aprecia un cuadro caracterizado por la indicación **Average**, que significa **Media**. La cifra indicada se refiere al **número de espectros** sobre el que se realiza una **media** y posteriormente la **FFT** que permite obtener el espectro que aparece en pantalla.

Reduciendo este valor el espectro es más inestable mientras que si se aumenta parece más estable, efecto lógico ya que **aumenta** la **precisión** cuanto **más espectros** se toman, si bien se precisa **más tiempo de proceso**.

Utilizando **Visual Analyser** es posible analizar **cada una** de las **armónicas** que contribuyen a la distorsión, midiendo su **frecuencia**, **amplitud** y **fase**. Esta posibilidad, que **no** permiten los tradicionales **Medidores de Distorsión**, permite descubrir cuales son las armónicas que contribuyen más a este efecto.

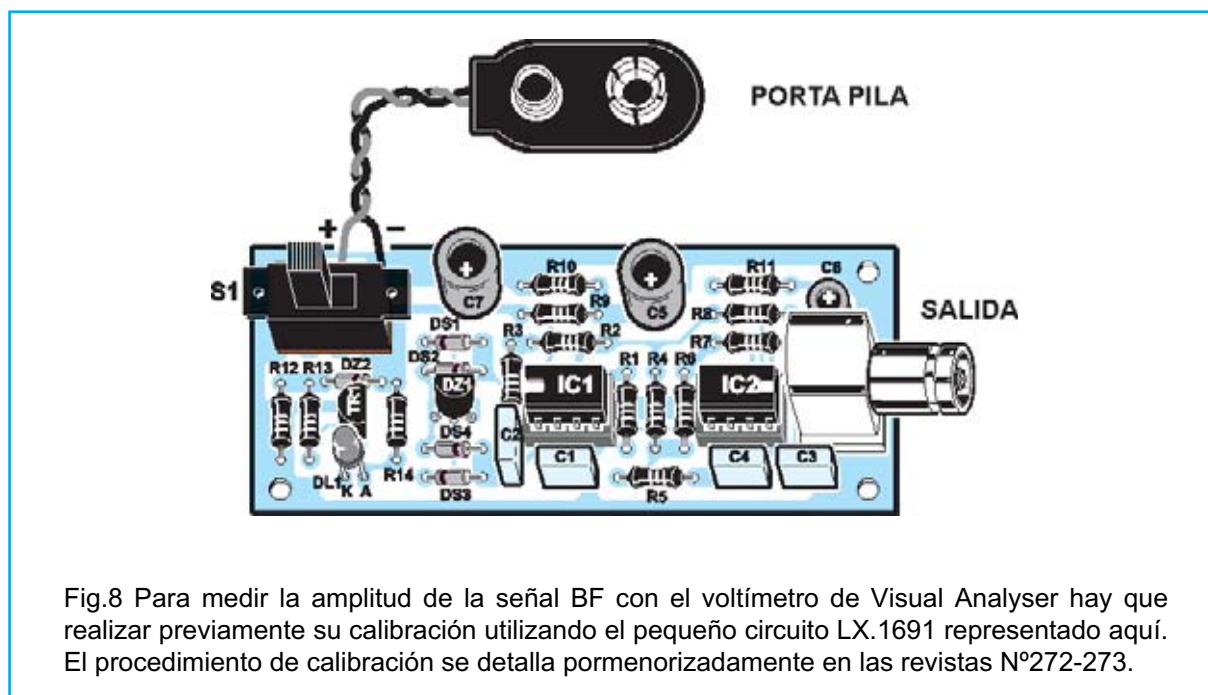


Fig.8 Para medir la amplitud de la señal BF con el voltímetro de Visual Analyser hay que realizar previamente su calibración utilizando el pequeño circuito LX.1691 representado aquí. El procedimiento de calibración se detalla pormenorizadamente en las revistas N°272-273.

Además se ha de tener también presente que la distorsión armónica **no** es un **parámetro constante**, sino que varía al variar **amplitud** de la señal aplicada a la **entrada** del **amplificador**.

En la mayor parte de los casos el valor medido tiende a aumentar al incrementarse la potencia de salida del amplificador. No obstante puede resultar elevado también cuando se tienen

**señales de entrada muy bajas** a causa de la inevitable **presencia de ruido**.

Por último es importante, precisamente para **evitar ruidos** en la señal, evitar la interferencia de campos electromagnéticos externos, ruidos en la red eléctrica, rizados en los alimentadores, zumbido en los transformadores, etc., utilizando siempre **cables apantallados** y conexiones a las **tomas de tierra**.

[CONTINÚA en el PRÓXIMO NÚMERO](#)

### Fe de erratas

En la revista 285 página 19, figura 3 debe indicar los siguientes tipos de leds:

Tipo de Led	Tensión
ROJO	1.8 V
AMARILLO	1.9 V
VERDE	2.0 V
NARANJA	2.0 V
AZUL	3.0 V
BLANCO	3.0 V