

**TRABAJO PRACTICO No 7*****MEDICION de DISTORSION EN AMPLIFICADORES DE AUDIO  
ANALIZADORES DE ESPECTRO DE AUDIO*****INTRODUCCION TEORICA:**

La distorsión es un efecto por el cual una señal pura (de una única frecuencia) se modifica apareciendo componentes de frecuencias armónicas a la fundamental. En el dominio del tiempo, esto significa que la forma de onda se degenera de una onda senoidal pura a una deformada, y en el dominio de la frecuencia, la expresión matemática se transforma de una expresión senoidal en una onda de Fourier de varias componentes. Cuanto mayor es la distorsión, mayor será la cantidad de componentes de la onda de Fourier.

Hay dos formas de determinar si el Amplificador bajo estudio tiene un comportamiento alineal, o sea, produce distorsión de la señal que lo atraviesa. Un amplificador de buena calidad, debe tener entre otras cosas, una buena sensibilidad, un gran ancho de banda, alta ganancia y ser LINEAL. Para determinar las características de linealidad o alinealidad del amplificador, se puede ensayar con un solo tono (Ensayo Monotonal) o con dos tonos (Ensayo Bitonal).

El primero nos dará la distorsión que puede introducir el amplificador al entregar una señal de múltiples frecuencias, a partir de recibir una señal senoidal pura; pero este método es incompleto para analizar la distorsión; ya que un amplificador trabaja con señales de entrada complejas (múltiples frecuencias), las cuales no tienen que interferirse entre ellas en el interior del amplificador.

Un estudio más completo de la distorsión se hace con el ensayo Bitonal.

**Ensayo Monotonal**

Una forma simple, pero no precisa, de determinar si hay distorsión de un señal al pasar a través de un circuito, es usando un osciloscopio de doble trazo. Se compara la señal de entrada al circuito con la señal de salida. Colocando los dos canales a igual deflexión sobre la pantalla (la atenuación de ambos canales puede que sean diferentes) y superponiendo las dos señales, se debe observar una señal de trazo fino. Si el trazo se hace grueso, hay distorsión entre las dos señales, siendo mayor cuanto mayor sea el trazo o la diferencia entre las dos señales.

Otra forma de verificar la distorsión es colocando el canal #B invertido y colocar el modo de las entradas en ADD. Esto restaría las dos señales, debiendo dar una línea recta si no existe distorsión. Si hay distorsión presente, la línea será curva siguiendo la diferencias entre las dos señales.

Este método es cualitativo y no permite conocer las componentes armónicas ni el grado de distorsión que introduce el circuito en estudio.

El grado de distorsión se mide por la expresión:

$$\text{Distorsión armónica total (DAT \%)} = \frac{\text{Vef Armónicos}}{\text{Vef Señal total}} \times 100$$

Una forma más precisa de determinar el grado de distorsión es mediante el uso de Analizadores de Espectro siendo la expresión usada para esa determinación:

$$\text{DAT\%} = \sqrt{\frac{(Af_2)^2 + (Af_3)^2 + \dots + (Af_n)^2}{Af_1^2}} \cdot 100$$

Donde Af<sub>2</sub>, Af<sub>3</sub>,...Af<sub>n</sub> son los valores eficaces de las componentes armónicas, siendo esta expresión una relación de valores; por lo cual, no necesariamente tenemos que leer el valor eficaz sino un valor representativo de ese valor eficaz. En consecuencia, leyendo mediante un Analizador de Espectro los valores en divisiones representativos de las componentes armónicas, se puede determinar la distorsión. Si los valores armónicos son muy pequeños, el modo LOG del Analizador debe ser usado para mejorar la resolución de los valores pequeños. En este caso, se tiene que los valores de Af<sub>n</sub>/Af<sub>1</sub> se calculará como:

$$\frac{Af_n}{Af_1} = \text{anti log} \frac{(Af_n - Af_1) | db}{20}$$

Haciendo uso de la posibilidad que ofrece el Analizador de Espectro, se tienen dos métodos de ensayar un amplificador de audio para determinar la distorsión introducida por él.

En un amplificador, un ensayo monotonal (una única frecuencia) no es representativo de la distorsión introducida por él debido a que en un amplificador, en condiciones normales de trabajo, intervienen muchas frecuencias simultáneas durante el procesamiento de la señal. La voz o la música no es una frecuencia pura, sino un serie de componentes armónicas.

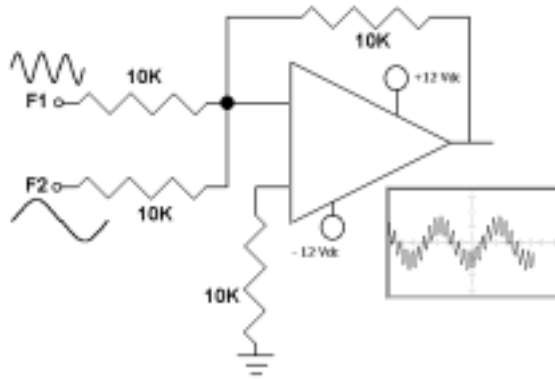
### **Ensayo Bitonal**

Por lo tanto un ensayo real implicaría usar múltiples frecuencias simultáneamente, pero esto es complicado de normalizar. Por eso, esta normalizado el uso de dos frecuencias simultáneas (ensayo bitonal) para el estudio de la distorsión en amplificadores.

Los amplificadores tienen componentes alineales que generan batido de las frecuencias inyectadas, con lo cual se generan tonos modulados por estas alinealidades produciendo distorsión en la señal de salida. Esta modulación de los tonos de entrada se denomina distorsión por intermodulación.

Dentro de los ensayos bitonales están normalizados los métodos SMPTE y CCIF.

El ensayo bitonal requiere la inyección simultánea de dos o más señales a la entrada del amplificador. Esto se hace mediante un sumador lineal que puede ser un transformador con punto medio o un amplificador sumador lineal en la banda en estudio.

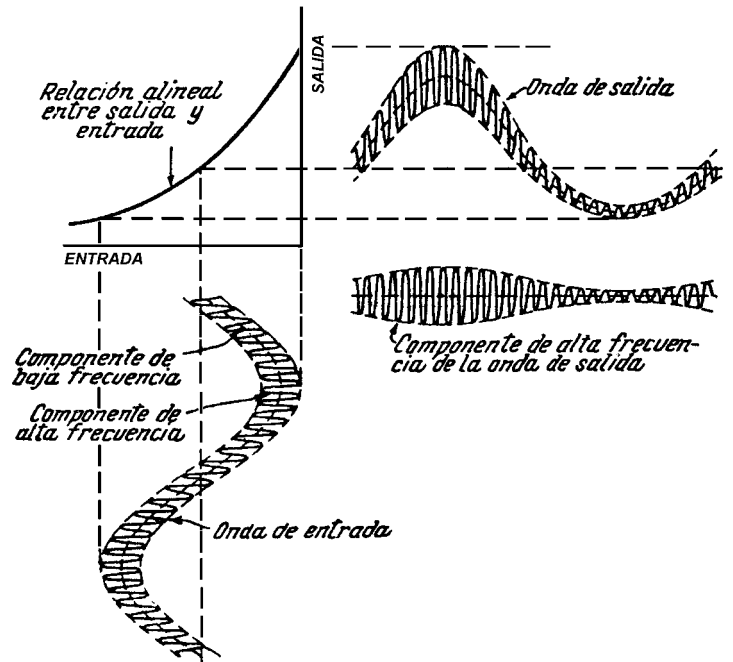


El uso de transformador requiere un transformador de salida de audio con primario con punto medio y secundario normal. La salida de los dos generadores se conectarán a cada una de las ramas primarias. La salida del transformador atacará a la entrada del amplificador en estudio, inyectándole la señal suma de las dos señales puras generadas por los generadores. O sea, se tendrá una señal compuesta por el tono bajo (grave) sobre el que va montado el tono alto (agudo).

**Método SMPTE:** Este método ensaya al amplificador por medio de la inyección simultánea de dos tonos. Uno de ellos,  $f_2$ , un poco mayor a la frecuencia cuadrantal inferior y el otro,  $f_1$ , un poco menor a la frecuencia cuadrantal superior del amplificador.

La amplitud del tono agudo debe ser 4 veces menor a la amplitud del tono grave, pero suficientemente grande para ser distinguido del ruido. Además la amplitud del grave, no debe saturar al amplificador. Los dos tonos se suman mediante un mezclador lineal. La salida del amplificador ataca a un filtro pasa alto para bloquear las componentes de baja frecuencia a fin de tener limpio el espectro alrededor de  $f_1$  para poder identificar las componentes de la modulación.

Si el amplificador es alineal, la señal grave polarizará instantáneamente (ubicación del punto de trabajo) al dispositivo activo en distintas regiones de la curva de transferencia, o sea, de distinta pendiente, lo cual se traducirá en variación de la ganancia, y por lo tanto, el más afectado será el tono agudo, haciendo que la amplitud de él sea diferente en función del valor instantáneo del tono grave. Esto dará una señal de salida cuya envolvente esta modulada en amplitud. El grado de modulación va a depender del cambio de ganancia en el punto de trabajo instantáneo.



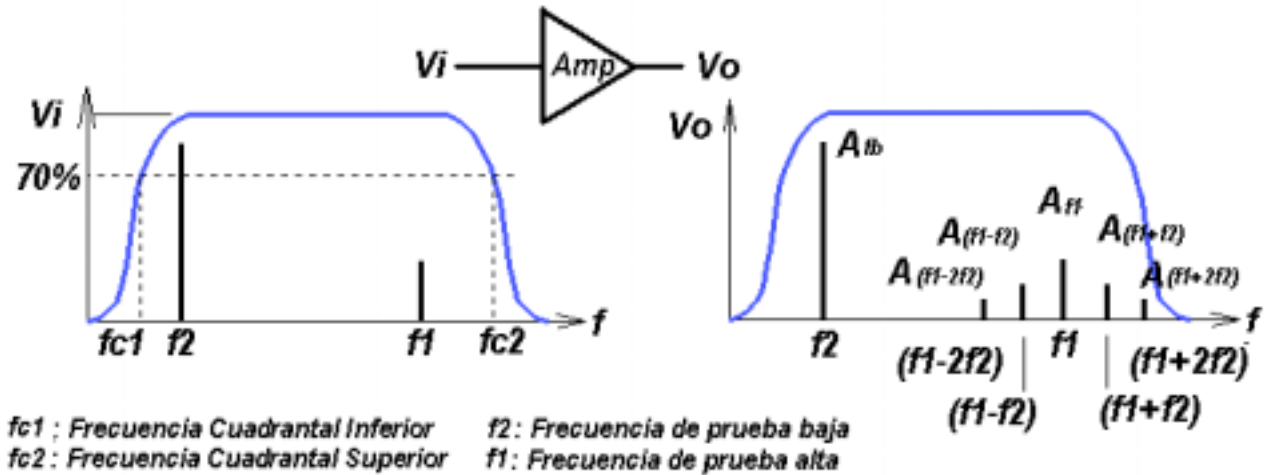
La salida se observa con un Analizador de Espectro sintonizado en la banda de audio. Si el amplificador es lineal dentro de la banda de audio especificada, la salida será igual a la de entrada (con la amplificación correspondiente), o sea sin distorsión.

La distorsión se calculará según la siguiente expresión:

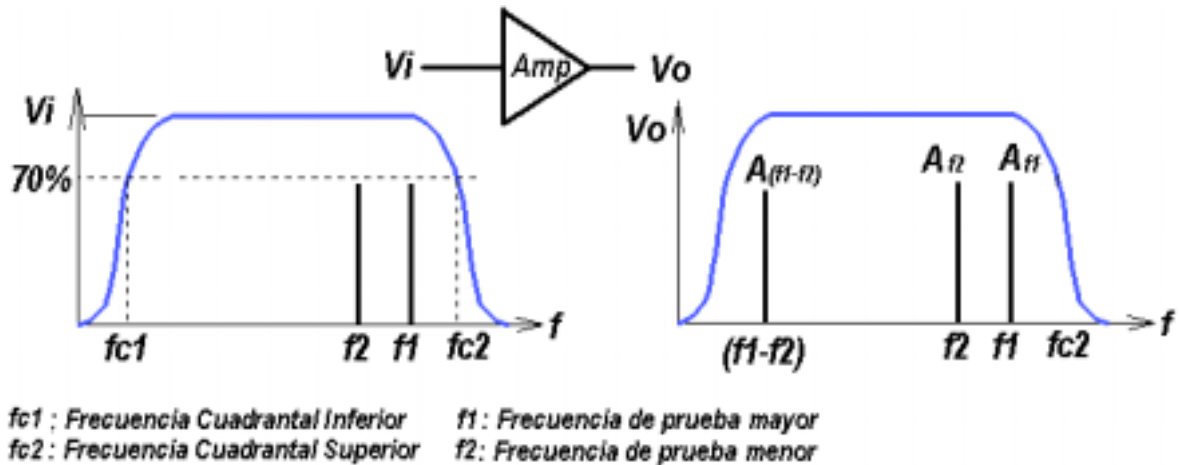
Distorsión Armónica por Intermodulación

$$SMPTE\% = \sqrt{\left[ \frac{A_{(f1-f2)} + A_{(f1+f2)}}{A_{f1}} \right]^2 + \left[ \frac{A_{(f1-2f2)} + A_{(f1+2f2)}}{A_{f1}} \right]^2 + \dots} \times 100$$

El circuito usado para este ensayo es el indicado en la sección operativa.



**Método CCIF:** Este método ensaya al amplificador por medio de la inyección simultánea de dos tonos de igual amplitud, pero ambos deben ser próximos entre sí y levemente menor a la frecuencia cuadrantal superior; de modo que el tono diferencia de ambos, sea mayor a la frecuencia cuadrantal inferior, o sea, caiga dentro de la banda útil, pero que sea distinto de la frecuencia de línea y de sus armónicas (50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, etc.).



En un amplificador que distorsiona, al aplicarle un doble tono en esas condiciones, se obtienen a la salida las frecuencias originales *f1* y *f2*, las componentes armónicas de ellas *nf1* y *nf2* (dónde n = 1,2,3,...) si el amplificador es capaz de reproducirlos, y además los productos de intermodulación *f1-f2*, *f1+f2*, *nf1+nf2*, la frecuencia de línea y las frecuencias de intermodulación entre la frecuencia de línea y las frecuencias de entrada.

Cuanto mayor sea la amplitud de la señal diferencia  $f1-f2$ , esto indica que el amplificador es de mala calidad y será peor cuanto mayor nivel tenga esa señal diferencia. El resto de las armónicas serán de baja amplitud porque estarán fuera del ancho de banda del amplificador.

La expresión para calcular la distorsión por efecto del batido de ambas frecuencias esta dada por:

$$CCIF\% = \frac{A_{(f1-f2)}}{A_{f1} + A_{f2}} \times 100$$

El circuito utilizado para realizar este ensayo es el circuito indicado en la sección operativa en el cual se retira el filtro pasa alto por no ser usado en este ensayo.

### **PRACTICA DE LABORATORIO**

**Objetivo:** Determinar la distorsión armónica de un amplificador haciendo uso de un Analizador de Espectro de Audio y observar la respuesta de un amplificador ante la excitación de una señal monotonal y de una bitonal.

#### **Elementos a utilizar:**

- Analizador de Espectro de Audio:

Opción 1: Marca:

Nº de Serie

Rango Dinámico:

Rango de Frecuencias

Especificaciones:



## Opción 2: Analizador de Espectro modular asociado a una Laptop.



- Generador de Audio
 

Marca:	N° de Serie	Nivel de salida:	Rango de Frecuencias
	Distorsión de la señal de salida:		
- Generador de Audio:
 

Marca:	N° de Serie	Nivel de salida:	Rango de Frecuencias
	Distorsión de la señal de salida:		
- Amplificador
 

Marca:	N° de Serie	Ancho de Banda:	Potencia de salida:
Características:			
- Dispositivo sumador:
- Osciloscopio:
 

Marca:	N° de Serie	Rango de Frecuencia:	
--------	-------------	----------------------	--
- Filtro pasa alto:
 

	Ganancia/Atenuación	Frecuencia de corte:
--	---------------------	----------------------

**A- Procedimiento:**

- 1- Seleccionar las frecuencias F1 y F2 a usar durante las pruebas de acuerdo a las frecuencias cuadrantales inferior y superior del amplificador.  
Ejemplo: para CCIF (10 KHz y 10,4 KHz) y para el SMPTE (Baja frecuencia entre 40 Hz y 250 Hz y mayor a la frecuencia cuadrantal inferior y de amplitud 4 veces mayor a la del tono de Alta frecuencia, y el tono de Alta frecuencia entre 6 y 20 KHz y menor a la frecuencia cuadrantal superior).
- 2- Verificar la linealidad de la señales elegidas y entregadas por cada uno de los dos generadores conectándolos al Analizador de Espectro y verificando la ausencia de armónicas de la señal inyectada.
- 3- Inyectar una señal monotonal al amplificador y observar las componentes de frecuencia de salida del amplificador con el Analizador de Espectro. Conectar un osciloscopio con un canal observando la entrada al Amplificador, el otro canal conectarlo a la salida. Comparar la forma de onda de salida respecto a la entrada en configuración ADD y segundo canal invertido, para observar diferencias si hay distorsión.

- 4- Repetir para distintos tonos dentro del ancho de banda del pasante del Amplificador. Tomar los valores de frecuencia y amplitud de entrada y los valores de las frecuencias y amplitudes correspondientes de salida. Calcular la distorsión por este método y hacer el diagrama en dominio de la frecuencia.

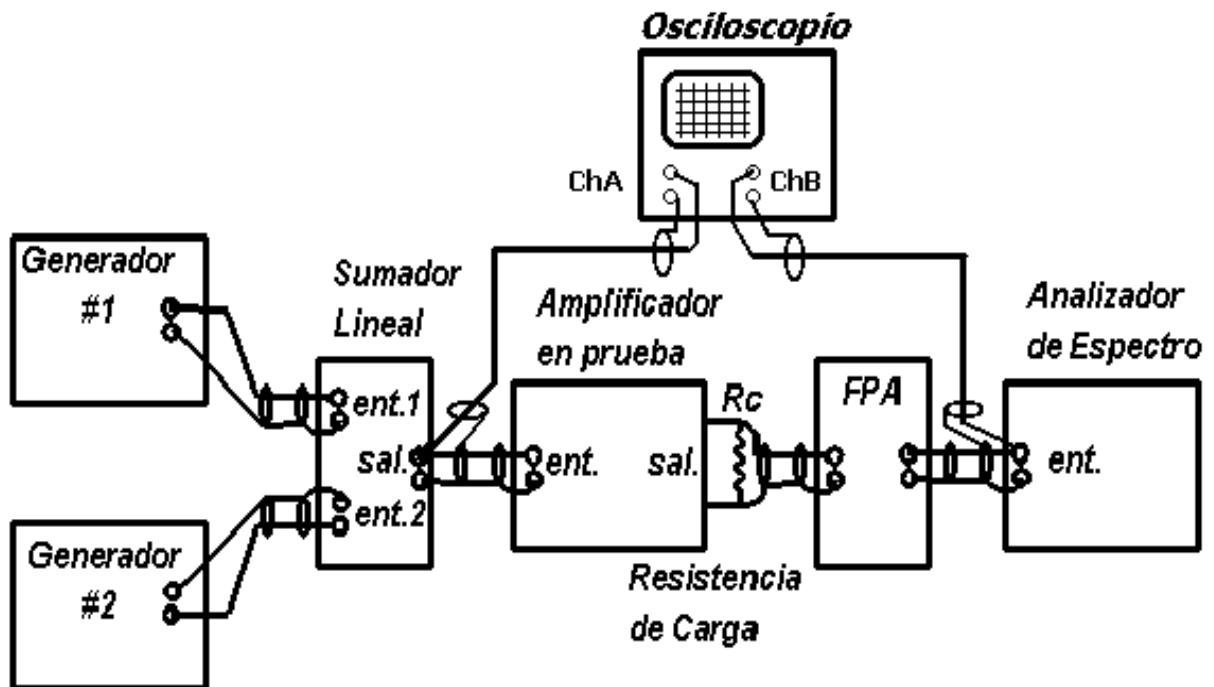
**Valores de entrada**

Frecuencia	
Amplitud	

**Valores de Salida**

Frecuencia	Amplitud
F1	
2f1	
3f1	
4f1	
5f1	

- 5- Realizar la interconexión de instrumentos y amplificador siguiendo el siguiente circuito.



- 6- Inyectar las señales F1 y F2 de los generadores al amplificador a través del sumador lineal (amplificador lineal o transformador con punto medio en el primario) y leer las componentes principales y sus armónicas de acuerdo al método usado. Para el método CCIF, retirar el FPA del sistema.

- 7- Tomar los valores de frecuencias y amplitudes de entrada y los valores de frecuencias y amplitudes de salida correspondiente.



**SMPTE**

**Valores de entrada**

	F1	F2
Frecuencia		
Amplitud		

**Valores de Salida**

	Frecuencia	Amplitud
f1		
F2		
f1 - f2		
f1 + f2		
f1 - 2f2		
f1 + 2f2		

DA %

**CCIF**

**Valores de entrada**

	F1	F2
Frecuencia		
Amplitud		

**Valores de Salida**

	Frecuencia	Amplitud
f1		
f2		
Fd		

DA %

Hacer los cálculos para determinar la distorsión según la ecuación aplicable en cada método y hacer los diagramas en dominio de la frecuencia.

8- Hacer el informe con las conclusiones correspondientes, circuitos y valores usados.

