

# **Nº14: GENERADOR DE AUDIOFRECUENCIA DE DOBLE TONO**

Joan Borniquel Ignacio, EA3-EIS, 30-08-00.  
Sant Cugat del Vallès (Barcelona) [ea3eis@hotmail.com](mailto:ea3eis@hotmail.com)

## **INTRODUCCIÓN**

Aceptando que para tener una señal de banda lateral única (SSB) en transmisión, es imprescindible el disponer, de un modulador balanceado, filtro, amplificador de FI, mezclador, excitador y un amplificador lineal, que estén debidamente equilibrados y ajustados, a máxima salida de potencia con mínima distorsión, se hace necesario el poder controlar y evaluar estos parámetros, que serán claros indicadores de la bondad del sistema, cuando se opere en esta modalidad.

Después de este primer comentario se podría decir, que la mejor manera de comprobar el comportamiento de cualquier transmisor en SSB, es indudablemente con un analizador de espectros, al poder visualizar y valorar de forma cuantitativa, desde la distorsión hasta la pureza armónica espectral, pero esta posibilidad, no está siempre al alcance de todo radioaficionado, debido al alto precio de estos instrumentos no obstante, si que es más fácil el disponer de un osciloscopio el cual, nos ha de permitir el hacer un análisis cualitativo bastante bueno en lo que respecta a la distorsión originada por desequilibrio, sobrecarga o desajuste del transmisor, al examinar las diversas formas de envolvente en la pantalla de dicho instrumento, dejando de lado el comportamiento armónico.

De optar por el sistema de evaluación más económico, antes deberemos de tomar en consideración, alguna de las características más importantes del osciloscopio como es, el límite superior de frecuencia del amplificador vertical; si queda por encima de la señal SSB, se puede aplicar directamente esta señal a la entrada vertical del osciloscopio; si no es así hay dos alternativas: La primera, la señal se puede convertir en una frecuencia inferior que esté dentro del ancho de banda del amplificador vertical, mediante un dispositivo conversor de RF; la segunda, la señal SSB si es de suficiente amplitud, se puede aplicar directamente a las placas de deflexión vertical del TRC, esto entraña un cierto riesgo por la alta tensión y no todos los osciloscopios lo tienen previsto y por lo tanto, yo pienso que la mejor opción sería la primera de intercalar un mezclador de RF cuya salida, esté por debajo de dicha limitación de frecuencia.

## **PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Y APLICACIÓN**

Después de esta primera introducción, trataré de explicar un poco el porqué de un Generador de AF de doble tono para el análisis de la señal SSB en un transmisor, mediante la observación de las formas de envolvente en la pantalla de un osciloscopio. Un método que resulta sencillo, es aplicar en la entrada AF (micrófono) del transmisor, dos tonos que estén dentro de su banda pasante, que no se relacionen armónicamente y separados entre si unos 1000 Hz, esto es lo que también se denomina, Prueba de doble tono y este procedimiento, hace que el transmisor emita dos señales separadas por la diferencia de frecuencia entre ambos tonos de tal manera, que el batido resultante de estas dos señales AF que se han transformado en RF, después de haber pasado por el modulador, filtro de FI, mezclador de RF, toda la cadena de filtros y preamplificador hasta el amplificador lineal, producen a la salida una imagen muy característica, que al ser observada en el osciloscopio, presenta el aspecto aproximado de una portadora AM modulada al 100% en el caso ideal. Este método, es el que permite variar el nivel de la señal de manera periódica desde cero hasta el máximo de su amplitud para ser visualizada en cualquier punto del transmisor y por lo tanto, pone a prueba de manera automática, el equilibrio, ajuste y linealidad de buena parte del sistema, siempre en función de la forma que presenta dicha imagen o envolvente en la pantalla.

Si se utilizan dos tonos de AF según se ha indicado, en el análisis de un transmisor SSB, se obtiene a la salida del mismo y sobre la carga, la imagen de una envolvente de doble tono y un hipotético análisis espectral de funcionamiento óptimo, puede verse un ejemplo demostrativo y simplificado de este ensayo, en la Figura N° 1-1 Las frecuencias utilizadas en este generador, son de 700 y 1700 Hz respectivamente para cada tono, ambos son de naturaleza sinusoidal y el nivel de armónicos e intermodulación, deben de ser lo suficientemente bajos para no llegar a interferir en las pruebas. La amplitud de los tonos, debe de ser regulable de manera independiente, para que se puedan adaptar previamente a la banda pasante AF del transmisor. También es importante, el disponer de dos atenuadores, continuo y por pasos que nos permitan la regulación simultánea de los dos tonos, dado que las señales en la entrada de micrófono, suelen ser del orden de milivoltios en la mayoría de los casos (micro dinámico). La impedancia de salida, se adapta perfectamente a la entrada de cualquier transmisor SSB al disponer, de dos salidas de alta y baja impedancia.

Este generador de audio, se puede utilizar también como generador de un solo tono al disponer de conmutadores On-Off independientes para cada tono lo cual, nos permite efectuar las pruebas de: Supresión de portadora y Supresión de banda lateral no deseada, como se verá de manera detallada en el apartado de aplicación. Ver Figura N° 1-2.

## CARACTERÍSTICAS

Las características más importantes de este Generador de doble tono, son las siguientes:

<b>Frecuencias</b>	: Tono A 700 Hz y tono B 1700 HZ, seleccionables.
<b>Tipo de señal</b>	: Sinusoidal.
<b>Distorsión</b>	: Estimativa en este tipo de oscilador 0,1 %.
<b>Amplitud</b>	: Por tono 2 Vrms, sobre 600 Ohms, máximo.
<b>Atenuador</b>	: 50 dB, rotativo por pasos de 10 dB.
<b>Impedancia salida</b>	: Baja de 600 Ohms y alta de 50 K, seleccionables.
<b>Control de señal</b>	: Nivel relativo, por instrumento de c/m.
<b>Alimentación</b>	: Red 220 V CA.
<b>Dimen. y peso</b>	: 290x135x75 m/m y 2 Kg.

## DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO

El circuito de este generador, es el que figura en el artículo original de ARRL Handbook 94 capítulo 25-21 con algunas modificaciones, de carácter más bien funcional que se han introducido un poco sobre la marcha y según las necesidades de aplicación.

Cada uno de los dos tonos, es generado por un oscilador de baja frecuencia tipo puente de Wien de manera independiente; los amplificadores U1B y U2B, son los encargados de esta función, resaltar que este tipo de oscilador, es capaz de suministrar una señal de baja distorsión y amplitud constante, gracias a los brazos de realimentación entre la salida de cada amp. operacional y las entradas: Positiva por red selectiva de frecuencias 700 y 1700 Hz y negativa por control automático de amplitud a cargo de R1-DS1 y R2-DS2 respectivamente. Los dos osciladores, están acoplados a sendos filtros activos LPF de paso bajo U1A y U2A los cuales, contribuyen en buena medida a la supresión de armónicos de orden superior. Los osciladores de 700 y 1700 Hz, se pueden activar o desactivar mediante dos conmutadores On- Off, para simultanear o independizar su función. A la salida de cada uno de los filtros LPF, tenemos los controles: Level A y Level B los cuales, además de un diferencial más amplio de señal, nos permiten adecuar la respuesta del transmisor bajo prueba a estas dos frecuencias de audio A y B. Tanto los osciladores como los filtros activos, requerirán resistencias y condensadores que pueden estar fuera de los valores normalizados por lo cual, será necesario el disponerlos en serie o paralelo hasta conseguir los valores necesarios en función de las

frecuencias; la separación de 1000 Hz entre ambas, a de facilitar el sincronismo del osciloscopio, al visualizar en pantalla la prueba de doble tono.

Los dos tonos AF, se combinan en el amp. operacional U3A el cual, trabaja como sumador de ganancia variable gracias al mando de amplitud simultánea Level A+B que permite, una variación continua de ambas señales de audio. Siguiendo al amp. operacional U3A, hay un atenuador rotativo de 50 dB con pasos de 10 dB para trabajar, con niveles de señal bajos y controlables del orden de mV. La señal a la salida del atenuador, se lleva a otro amp. operacional U3B conectado como seguidor con una salida, de baja o alta impedancia mediante selector Low-Hi con tal de tener, una mejor adaptación de la salida del generador hacia la entrada AF del transmisor, según el tipo de micrófono que se utilice.

Para poder ajustar la salida AF a un nivel referencial, se toma una muestra de señal de U3 y se aplica a un voltímetro de CA cuyo circuito consiste, en otro amp. operacional U4 (LM741) seguido de un puente rectificador e instrumento de c/m los cuales, forman parte del lazo de realimentación de U4 para conseguir linealizar la característica del puente de diodos de Ge (1N34); el nivel relativo de señal, se presenta en la escala Vu meter del propio instrumento.

La inyección de la señal AF al transmisor SSB, se hace por cable blindado y conectores normalizados, se ha dispuesto un interruptor PTT para su conexión o desconexión voluntaria.

La fuente de alimentación que parte de la red, lo hace mediante un transformador, primario 220 V y secundario de 12+12 V y 0,3 Amp, un puente rectificador, filtros de aplanamiento y dos reguladores de tensión de +5 V y -5 V con referencia a masa. Para detalles de todo el circuito del generador, véase Esquema eléctrico en la Figura N° 2.

## CONSTRUCCIÓN Y AJUSTE

En la situación de los componentes tanto activos como pasivos del generador, se ha optado por utilizar la placa de C I que figura en el artículo original exceptuando, el voltímetro de CA que se ha montado en un placa Repro-Circuit y la fuente de alimentación que es un C I casero; si tuviera que hacerlo de nuevo, lo más seguro es que lo haría todo en placa de agujeritos. El ensamblado mecánico, dado el formato de la caja la cual es recuperada, opté por hacerlo con pletinas de Al unidas por separadores exagonales roscados M3, incluido el panel frontal con los controles de manejo. La fuente de alimentación, queda situada en la parte posterior y separada por una pletina de Al a título de blindaje. El interconexionado entre el panel frontal y las pletinas en lo que respecta a señales, se ha hecho con cable blindado RG174. Todos los amp. operacionales, se han montado con zócalos del tipo torneado. Los condensadores que forman parte de los osciladores y filtros, se recomienda sean de poliéster, stiroflex o cerámicos multicapa tolerancia 2 o 5 % así como las resistencias de 0,25W y 5 % y en el caso del atenuador de 50 dB, se recomienda sean del 1 %.

El ajuste del generador una vez concluido su montaje y comprobadas las dos tensiones de alimentación de +5 y -5 V, solo requiere situar los dos potenciómetros multivuelta R1 y R2, algo por encima del punto de oscilación de las señales de 700 y 1700 Hz con el fin, de tener un arranque seguro; la señal en la patilla 7 de U1 y U2, ha quedado en 0,7 Vrms respectivamente; en la salida Output se alcanzan los 2 Vrms como máximo y por lo tanto, es necesario controlar la señal con un voltímetro de CA, osciloscopio y frecuencímetro, para tener constancia de la amplitud, buena forma de onda sinusoidal y de la frecuencia. Cuando los osciladores se activan, se produce un parpadeo en la amplitud de la señal la causa de ello, son las lamparitas DS1 y DS2, que forman parte del control automático de amplitud, este evento, es totalmente normal en esta forma de realimentación, dada la inercia termoelectrónica que ejerce la resistencia del filamento al actuar como regulador de intensidad; las lamparitas en cuestión, deberán ser del tipo y datos que se indican (12V y 25 mA), este detalle es muy importante pues con otros valores, el sistema no funciona de manera correcta. Para detalles constructivos, ver las Figuras N° 3 y N° 4.

## APLICACIÓN DEL GENERADOR DE DOBLE TONO

Para proceder a la aplicación del Generador de doble tono en el control y ajuste de un transmisor SSB, es necesario disponer además del propio generador y osciloscopio, también de un vatímetro, una carga artificial de 50 Ohms y de una “T” distribuidora, que nos permita analizar las señales de potencia máxima directamente sobre la carga. La interconexión de todos los aparatos y elementos, que forman parte de este sistema de comprobación, pueden verse en la Figura N° 5.

En el análisis cualitativo de un transmisor SSB mediante un Generador de doble tono y un osciloscopio, hay dos procedimientos básicos, que nos permiten evaluar de manera satisfactoria su comportamiento: La prueba de un solo tono y la prueba de doble tono.

**Prueba de un solo tono:** Con un solo tono de 700 o 1700 Hz, en la entrada AF de un transmisor SSB, podemos comprobar: La supresión de portadora o de banda lateral no deseada y para ello, se puede adoptar la disposición que se ha indicado en la Figura N° 5.

**Supresión de Portadora:** Al aplicar un tono en la entrada AF del transmisor, a la salida sobre la carga artificial y si la supresión de portadora es buena, obtendremos una figura en pantalla del osciloscopio, que tomará la forma de una onda continua (CW) y si aparece una envolvente con rizado en los bordes superior e inferior, es una clara evidencia de mala supresión de portadora y en este caso, la frecuencia del rizado se corresponde con la frecuencia moduladora del tono AF. Para valorar esta prueba en términos de dB, puede hacerse midiendo primero, las amplitudes en  $V_{pp}$  sobre la retícula de la pantalla del osciloscopio, tanto de la envolvente máxima como del rizado y sustituyendo después estos valores en la fórmula, obtendremos el resultado en dB.

$$\text{Supresión de portadora (dB)} = 20 \cdot \log \frac{\text{Vpp envolvente}}{\text{Vpp rizado}}$$

Esta valoración también se puede hacer directamente, mediante gráficos o tablas de conversión de tensiones a dB ya existentes en libros y publicaciones, donde se correlacionan las relaciones de tensiones o potencias con la supresión o pérdida y la ganancia, ambas en dB.

El resultado de esta prueba pondrá en evidencia, el comportamiento del modulador en cuanto a equilibrio o desequilibrio y si el nivel de portadora es adecuado. Ver Figura N° 6-1

**Supresión de banda lateral no deseada:** El procedimiento y la valoración al efectuar este ensayo, es igual que en el caso anterior de supresión de portadora, únicamente si hay rizado en la envolvente por una mala supresión de banda lateral no deseada, deberá confirmarse la veracidad de dicho problema, comprobando la frecuencia de dicho rizado que debe corresponder al doble de la frecuencia del tono AF aplicado en la entrada del transmisor.

Esta prueba, confirmará la eficacia del modulador en cuanto a equilibrio o desequilibrio y la calidad del filtro de FI, se entiende: Banda pasante y factor de forma. Ver Figura N° 6-2.

**Prueba de doble tono:** En la prueba de doble tono, partimos de la misma disposición de todos los elementos con la única salvedad, que estamos aplicando dos tonos a la vez: 700 y 1700 Hz en la entrada AF del transmisor SSB bajo prueba. De manera previa habrá que ajustar e igualar, la amplitud de cada tono por separado en la pantalla del osciloscopio mediante, los controles Level A y B del generador, una vez completado este primer paso, con los dos tonos simultáneos en la entrada AF del transmisor y con una potencia nominal de salida adecuada según el vatímetro, deberemos ajustar el selector de barrido y sincronismo ya sea manual o automático del osciloscopio, hasta conseguir una imagen estable en pantalla, donde se aprecien claramente los bordes superior e inferior y también la intersección central en forma de “X”, tal y como se indicaba en el principio de funcionamiento y aplicación, Figura N° 1-1. Cave añadir, antes de exponer y valorar los distintos oscilogramas en la prueba de doble tono, que los resultados dependerán en gran medida, de la capacidad de apreciación al reconocer los defectos o virtudes de las envolventes que aparecerán en

la pantalla del osciloscopio, algunos se podrán detectar fácilmente pero otros no, todo dependerá del tipo de fallo y también de la magnitud o gravedad del mismo.

En la figura N°7, se presentan algunas imágenes reales de envolventes en la prueba de un tono y doble tono hechas con este generador que hoy se presenta, con un osciloscopio de servicio de 20 MHz y sobre un transceptor FT277ZD (fotos 1 y 2) y sobre un transceptor QRP en fase de pruebas (fotos 3, 4, 5 y 6). Todas son bastante demostrativas del buen funcionamiento o de alguno de los problemas que puede llegar a presentar un transmisor para SSB en condiciones anormales. A tal efecto, se intentará explicar a continuación y por separado, el significado de cada una de las imágenes o envolventes.

**Imagen (1):** Tenemos una envolvente de doble tono correcta e ideal, a primera vista se la podría confundir, con una envolvente resultante de un señal AM modulada al 100 % sin embargo, en una envolvente de dos tonos SSB, el valle central debe de ser muy agudo, resultando una “X” bien definida en el punto de cruce, cuando en AM suele ser redondeado como una onda sinusoidal. Por lo tanto ambas envolventes de AM y SSB, tienen una forma parecida exceptuando el punto de cruce o valle. Al evaluar la envolvente SSB de doble tono, es muy importante estudiar detenidamente además del punto de cruce que debe de ser agudo, los lados de la “X” que deben ser rectos hasta el punto situado debajo de las crestas y estas, deben de ser redondeadas como una onda senoidal. Un transmisor SSB correctamente ajustado, debe presentar una envolvente según lo indicado para una potencia de salida W<sub>pep</sub> nominal o cerca de ella.

**Imagen (2):** Esta envolvente se debe a que los dos tonos aplicados al transmisor SSB, son desiguales o descompensados con respecto a la banda pasante del transmisor. Una vez corregido el desajuste mediante los controles Level A y B del generador, la envolvente llega a cero.

**Imagen (3):** La envolvente presenta un pequeño recorte en las crestas y también se da la situación, de que el punto de cruce central no es agudo. Esta combinación de defectos, es producida por una falta de linealidad del amplificador en las crestas y cerca del nivel cero por polarización incorrecta, el recorte también se puede producir por un exceso de señal de excitación.

**Imagen (4):** Aquí se muestra un recorte mucho más importante, producido por un problema de sobreexcitación grave. Esto se traduce al transmitir, con la presencia de productos de distorsión por intermodulación, conocido también, como hacer “barbas” o “splatters”.

**Imagen (5):** Esta es una envolvente de mala supresión de portadora hecha con un solo tono, obsérvese el rizado tanto superior como inferior que se corresponde con la frecuencia del tono AF.

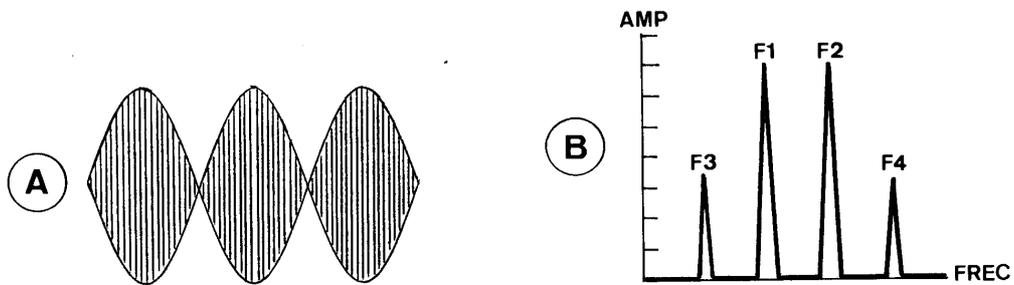
**Imagen (6):** Envolvente incorrecta por falta de linealidad cerca del nivel cero, aquí como en la imagen (3) se puede ver que la intersección central no es aguda y se debe, a una polarización incorrecta o fuera de la zona lineal de la característica del elemento activo ya sea válvula o transistor. Esta situación anómala, también produce distorsión por intermodulación.

Para terminar quiero hacer un comentario que parecerá reiterativo pero, que creo que se complementa con el tema expuesto en este reportaje. Lo más importante cuando se transmite en ciertas bandas y en algunas ocasiones, no es la potencia de salida, deberíamos darnos cuenta, que para el corresponsal salvo en casos justificados de mucho QRN, es más agradable una señal baja pero limpia que una señal muy fuerte, distorsionada y ocupando un ancho de banda excesivo.

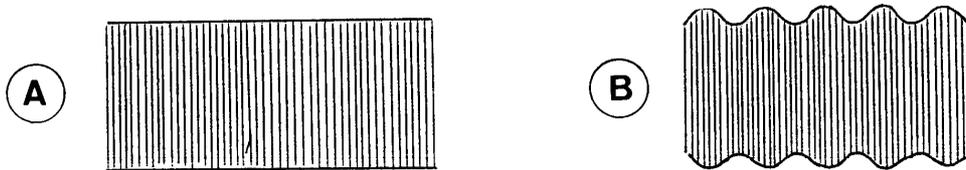
Aprovecho también la oportunidad, para agradecer el aporte documental y bibliográfico de los autores de cuyas publicaciones hago mención, sin ellos y en lo que a mi respecta, no me hubiera sido posible el llevar a término esta experiencia práctica. Saludos de Joan, EA3-EIS.

## BIBLIOGRAFIA

- William I Orr, W6SAI, *Radio Handbook*.
- The ARRL *Handbook 1994*.
- R. Harold Kinley, *Manual de comunicaciones por Radio*.



**Figura N° 1-1:** Imágenes demostrativas de la prueba de doble tono (700 y 1700 Hz) con la cual, se determina el comportamiento de un transmisor en SSB. (A): Envoltente resultante a la salida y sobre una carga artificial, al modular el transmisor con los dos tonos AF, esta es la imagen que se vería en la pantalla de un osciloscopio; este ensayo sería de carácter cualitativo, por ser de apreciación visual. (B): Esta figura correspondería al mismo tipo de prueba, pero hecha con un analizador de espectros, F1 y F2 serían los tonos de 700 y 1700 Hz, F3 y F4 son los productos por intermodulación más próximos; la diferencia de amplitud en dB, entre los productos de tercer orden F3 y F4 con respecto a los dos tonos fundamentales F1 y F2, determina el comportamiento del sistema. La separación entre espículas es de 1000 Hz y esta prueba, sería cuantitativa al expresar frecuencias y también amplitudes. Valga todo ello, como ejemplo de una situación ideal.



**Figura N° 1-2:** Ensayos con la prueba de un solo tono de 700 o 1700 Hz en un transmisor por SSB, ambos vistos en la pantalla de un osciloscopio. (A): Representa un transmisor, con buena supresión de portadora o de banda lateral no deseada. (B): En este caso, estaríamos ante un problema de mala supresión de portadora o de banda lateral no deseada. Estos dos tipos de prueba, si que pueden valorarse en dB como se verá más adelante.

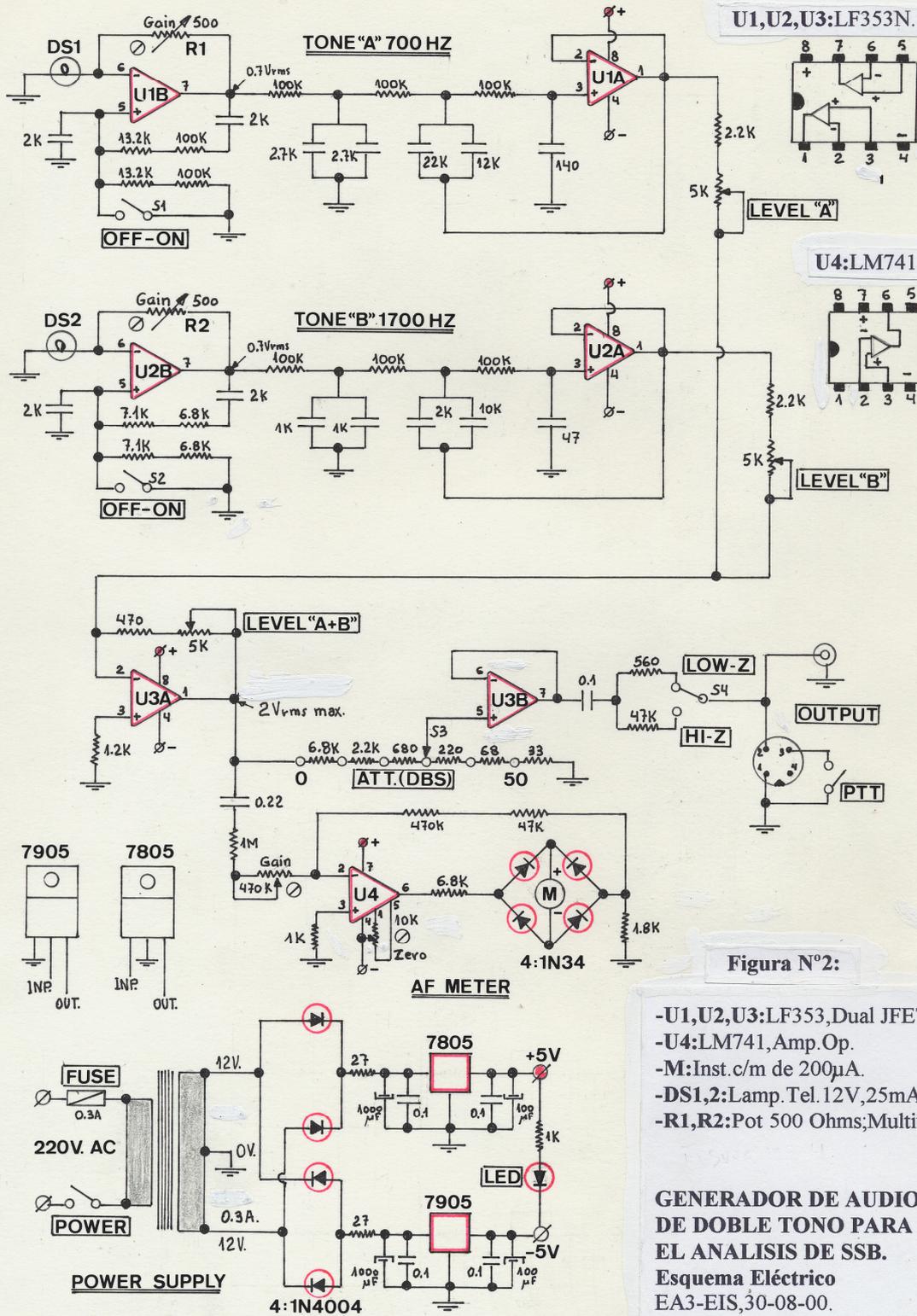


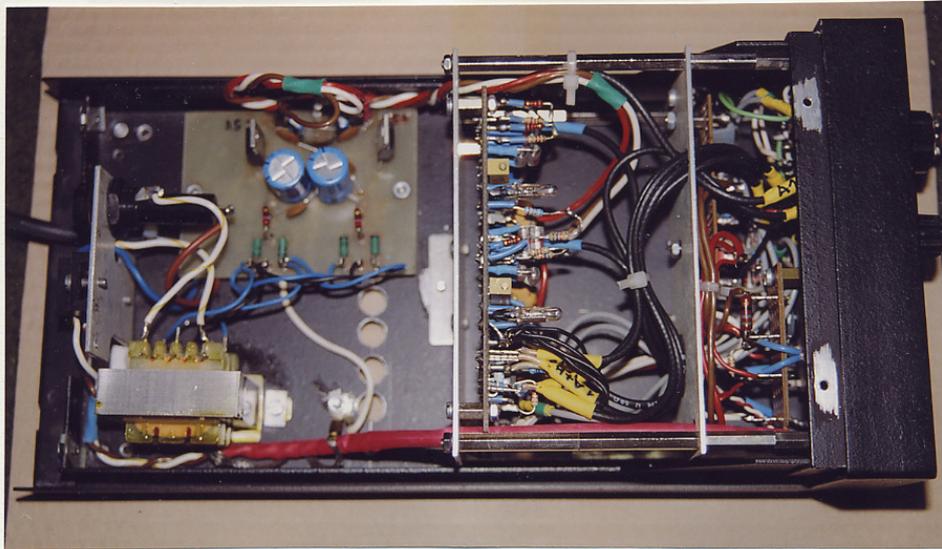
Figura N°2:

- U1,U2,U3:LF353,Dual JFET.
- U4:LM741,Amp.Op.
- M:Inst.c/m de 200µA.
- DS1,2:Lamp.Tel.12V,25mA.
- R1,R2:Pot 500 Ohms;Multiv.

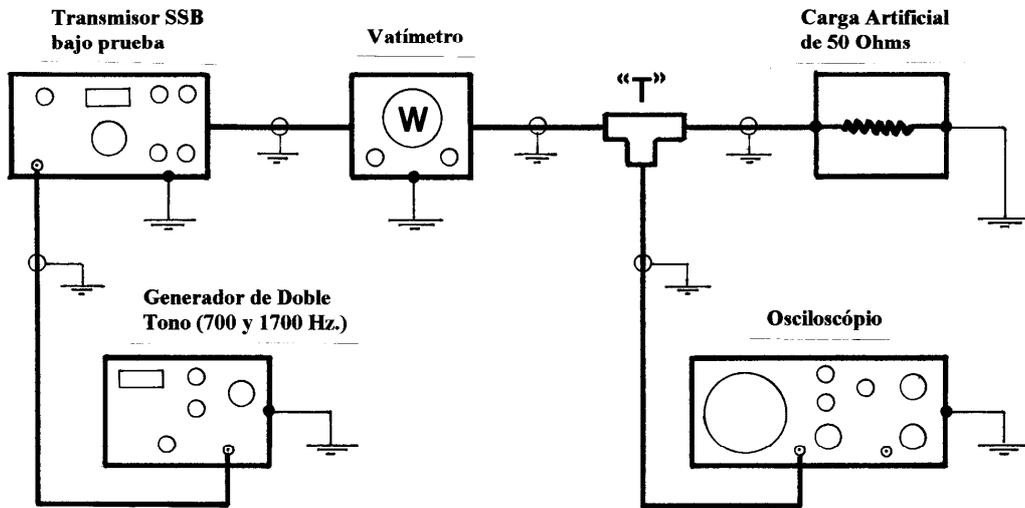
**GENERADOR DE AUDIO DE DOBLE TONO PARA EL ANALISIS DE SSB.**  
**Esquema Eléctrico**  
 EA3-EIS,30-08-00.



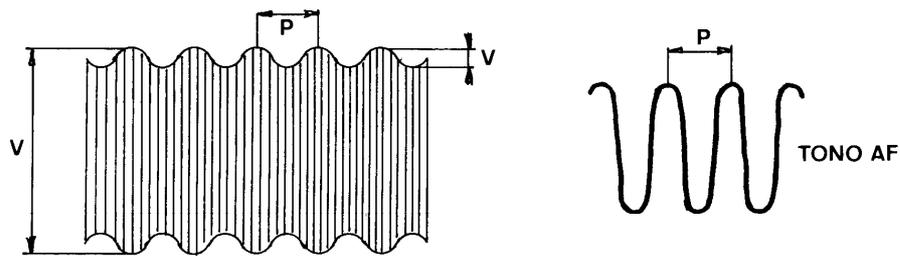
**Figura N°3:**Generador de Doble Tono. Vista exterior de izquierda a derecha: Instrum. c/m Vu Meter; Los dos conmutadores ON-OFF para simultanear o independizar los dos Tonos: "A y B"; Los controles de nivel de señal: "A y B" y simultáneo "A+B"; Selector de impedancias de salida; Atenuador Rotativo de 50 dB; Los conectores de salida y pulsador momentáneo PTT.



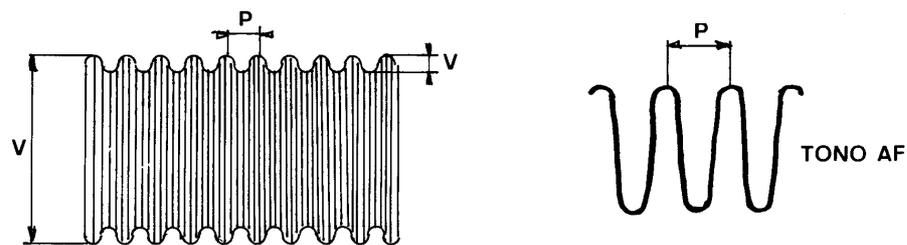
**Figura N°4:**Vista interior del Generador de Doble Tono. Véase, la Fuente de Alimentación de +5 y -5 Volts estabilizados, La platina que comprende toda la circuitería del Generador de Doble Tono la cual, está unida mediante separadores M3 a otra platina metálica con el Medidor de AF (Vu Meter); A continuación y por el mismo método de fijación, el panel frontal con todos los elementos de control.



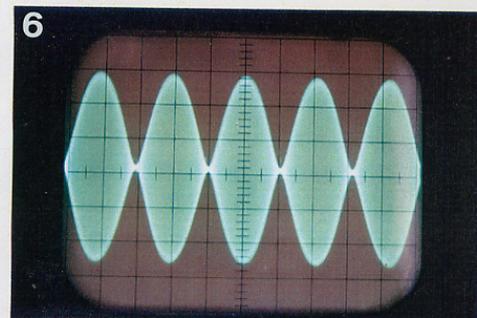
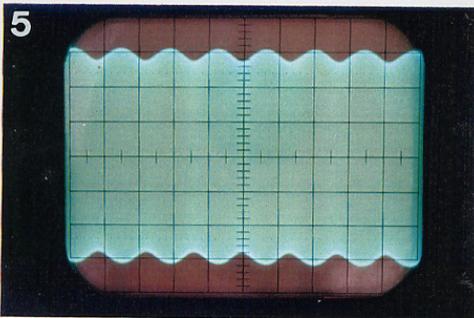
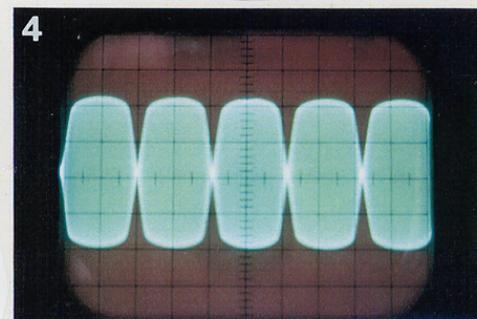
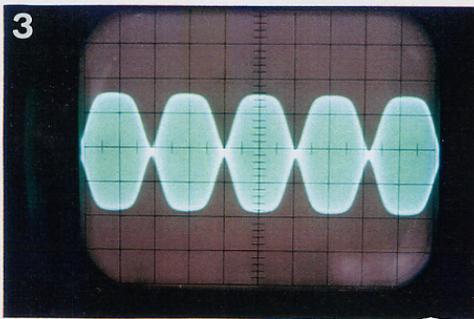
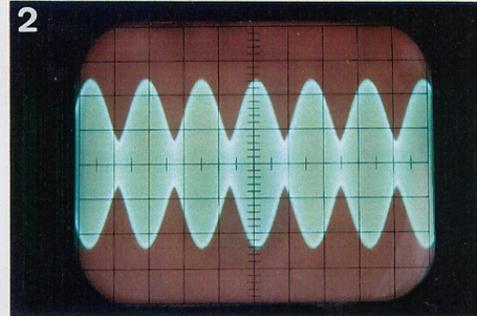
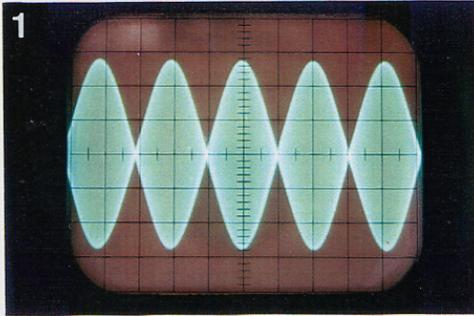
**Figura N° 5:** Disposición genérica para efectuar las pruebas de evaluación de un transmisor SSB, mediante un osciloscopio y un generador AF con salida de un solo tono o doble tono.



**Figura N° 6-1:** Envolvente de un solo tono, resultado de una mala supresión de portadora y en este caso, la frecuencia o período P del rizado de la envolvente, se corresponderá con la del tono AF. Para valorar esta prueba en dB, es necesario medir las amplitudes V y proceder según el texto.



**Figura N° 6-2:** Envolvente de un solo tono, resultado de una mala supresión de banda lateral no deseada y en este caso, la frecuencia o período P del rizado de la envolvente, es el doble de la del tono AF. La valoración en dB, se hace siguiendo el mismo procedimiento anterior.



Nº de Foto	Título de la Foto
1	Envolvente correcta.
2	Tonos desiguales.
3	Recorte de señal.
4	Mucho recorte por id.
5	Mala Sup. de Port. (1 Tono)
6	Polarización incorrecta.

Figura N° 7

**GENERADOR DE AUDIO DE DOBLE TONO PARA SSB**  
**Aplicación del Generador con Imágenes reales.**  
 EA3-EIS,30-08-00