

Informe técnico de amplificadores de potencia de Yamaha

Agosto de 2008

Tabla de contenido

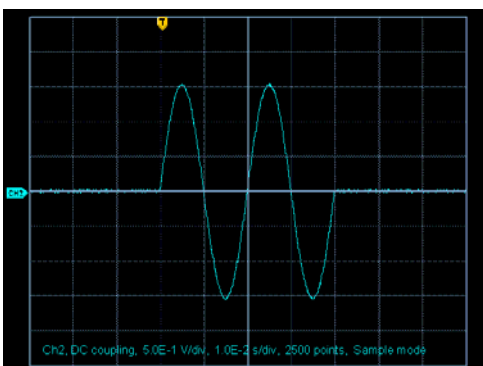
1. Acerca de EEEngine.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Explicación de las distintas topologías de amplificación.....	2
2. Tecnología Yamaha	5
2.1. Estructura de doble amplificador mono.....	5
2.2. Fuente de alimentación de conmutación con resonancia completa.....	6
3. Funcionamiento del amplificador en condiciones de carga rigurosas	7
3.1. Importancia de la capacidad de carga estable de 2 ohmios.....	7
3.2. Comparación de los amplificadores en situaciones de impedancia baja.....	8
3.3. Explicación de los resultados de la prueba de audición mediante una fuente musical	9

1. Acerca de EEEngine

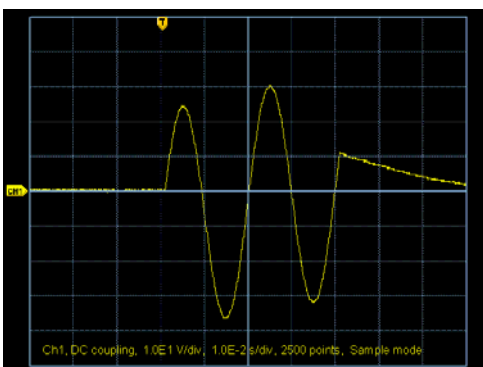
1.1. Introducción

Filosofía de los amplificadores de potencia de Yamaha

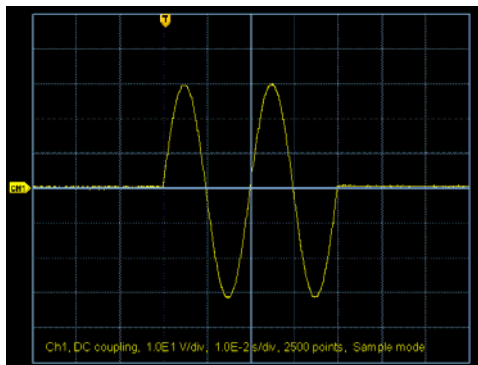
Nuestro enfoque en la fabricación de amplificadores de potencia es simple: amplificación pura y natural de la señal de entrada. El sonido mezclado se envía al amplificador desde la mesa de mezclas para su amplificación antes de “ornamentarlo” o “embellecerlo” a través de los altavoces. La función de los amplificadores en un sistema de sonido no debe añadir su propio colorido, sino ser fiel a la señal de entrada para proporcionar el máximo control sobre el rendimiento sonoro final.



[Fig. 1] La señal de entrada, onda sinusoidal en ráfaga de 70 Hz.



[Fig. 2] Señal de salida de un amplificador típico de la competencia.



[Fig. 3] Señal de salida del amplificador T5n de Yamaha; natural y real en la entrada

La fiabilidad es otra característica importante de los amplificadores de Yamaha. Todos los productos de Yamaha se someten además a pruebas en condiciones rigurosas y deben cumplir los estrictos estándares de control de calidad de Yamaha. Encontrará más información sobre las pruebas de control de calidad y los estándares de Yamaha en:

http://www.yamahaproaudio.com/topics/leading_technology/quality_control/index.html

1.2. Explicación de las distintas topologías de amplificación

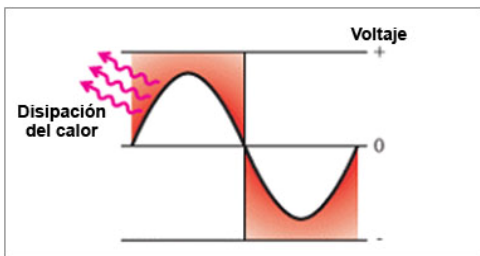
Son muchas las topologías de amplificación o principios de diseño de circuitos diferentes utilizados en los amplificadores de potencia profesionales. La mayoría de los amplificadores de alta potencia que vemos en el sector del sonido profesional de hoy en día se pueden clasificar como derivados de tres tecnologías principales: Clase H, Clase D o un híbrido de Clase AB y Clase D como EEEngine (Energy Efficient Engine) de Yamaha.

Clase AB

La tecnología Clase AB es la base de la amplificación profesional. Incluso a día de hoy podemos encontrar amplificadores de Clase AB en muchas aplicaciones de audio profesionales. Esta topología, que ha constituido la norma del sector durante décadas, ofrece una configuración de circuitos simple y una calidad de sonido extraordinaria. Los amplificadores más antiguos de Yamaha, como el P2200 lanzado en 1976 y el PC2002M lanzado en 1982, eran amplificadores de Clase AB. La topología de Clase AB, sin embargo, presenta el

inconveniente de que la etapa de salida opera siempre con la máxima salida de voltaje, lo que produce una gran disipación del calor. Esta baja eficacia es el motivo de que los amplificadores de Clase AB tengan una potencia de salida limitada en comparación con su tamaño y peso. Cuando se utiliza con material de programa típico con recortes ocasionales (1/8 de potencia), la topología de Clase AB suele presentar una eficacia* aproximada del 20%, lo que significa que el 80% de la potencia obtenida se pierde en forma de calor. Se han desarrollado diversos métodos para solucionar este inconveniente que han dado lugar al desarrollo de las topologías de Clase H y Clase D.

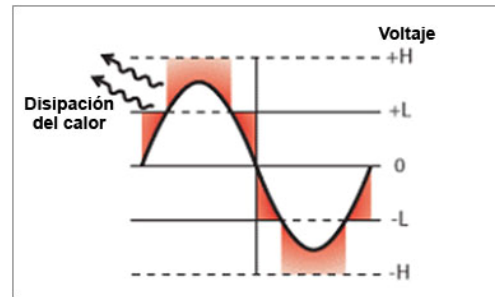
* El porcentaje de eficacia en este documento hace referencia a la eficacia general del amplificador de potencia incluida su fuente de alimentación. La eficacia se calcula a 1/8 de la potencia de salida nominal, que es una referencia del material de programa típico con recortes ocasionales.



[Fig. 4] Forma de onda en la topología de Clase AB.

Clase H

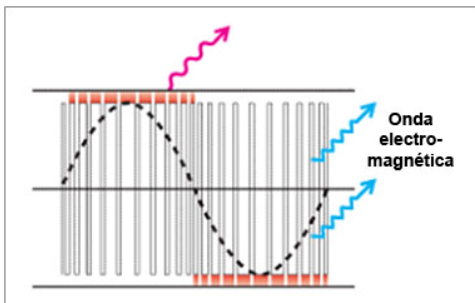
La Clase H utiliza un método que cambia el nivel de voltaje de la fuente de alimentación en función de la señal de entrada. Este método mejora enormemente la disipación de calor en la etapa de salida proporcionando un voltaje bajo cuando el nivel de señal es bajo. Sin embargo, cuando el nivel de la señal aumenta, el sistema funciona del mismo modo que un sistema de Clase AB y se pierde eficacia. La clase H pierde eficacia cuando las señales musicales se transmiten con un amplio rango dinámico. Una solución sencilla a este problema podría ser utilizar un método de conmutación de varios pasos, pero debido a las numerosas complicaciones que conlleva, como una mayor pérdida de conmutación, esta solución es impracticable. Los amplificadores de Clase H suelen tener una eficacia de un 30% aproximadamente. El amplificador P5002 de Yamaha lanzado en 1982 fue un pionero de la topología de Clase H.



[Fig. 5] Forma de onda en la topología de Clase H.

Clase D

A menudo interpretada erróneamente como la abreviatura de “digital”, la Clase D utiliza PWM o modulación por ancho de impulsos. En primer lugar, se crea una señal PWM a partir de la señal de sonido de entrada. El voltaje de la fuente de alimentación se conmuta en función del ancho del impulso, creándose una señal PWM de alta potencia para controlar el altavoz. Los elementos empleados para la operación de conmutación requieren sólo un mínimo de voltaje, lo que supone una enorme mejora de la eficacia en comparación con topologías de amplificación anteriores. Los amplificadores de Clase H suelen tener una eficacia de un 60% aproximadamente. Sin embargo, para convertir la señal de sonido en una señal PWM de forma rectangular, se debe utilizar un filtro de paso bajo de alto consumo eléctrico en la etapa de salida que elimine el impulso ya que, de lo contrario no se podría recuperar la señal de audio original. La respuesta de frecuencia, la distorsión y el factor de compensación de la señal de audio resultan afectados por el filtro de paso bajo. Las señales PWM de alta potencia tienen también el inconveniente de que emiten ondas electromagnéticas armónicas (EMC) en el intervalo de radiofrecuencia de hasta algunos megahercios. Los amplificadores de Clase D pueden ser adecuados en lo que respecta a la eficacia, pero presentan dificultades a la hora de obtener una calidad de sonido óptima, por lo que muchos fabricantes intentan encontrar una solución a este problema.



[Fig. 6] Forma de onda de la topología de Clase D.

EEEngine

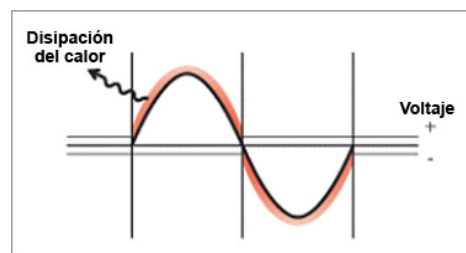
EEEngine combina la calidad de sonido de la circuitería de Clase AB manteniendo la eficacia de los circuitos de Clase D. La combinación de aspectos positivos de la Clase AB y la Clase D podría parecer simple desde el punto de vista conceptual, pero se han necesitado años de extenso trabajo de ingeniería para conseguir esta tecnología para la producción en serie.

EEEngine soluciona los problemas de las topologías de amplificación convencionales y proporciona, al mismo tiempo, ventajas en todos los aspectos, por lo que constituye un avance espectacular en cuanto al diseño de amplificadores de potencia. Consigue la misma eficacia de la Clase D sin comprometer la calidad de sonido de los amplificadores de Clase AB. La tecnología EEEngine patentada es ampliable y se puede encontrar en una gran variedad de amplificadores de potencia de Yamaha, desde los modelos básicos de la serie P hasta la emblemática serie TXn.

EEEngine rastrea la señal de audio para proporcionar siempre la mínima potencia necesaria para la etapa de salida final, con lo que se consigue una mejora sorprendente de la eficacia. Utiliza el modo de funcionamiento de la Clase D para proporcionar la potencia en la etapa de salida final característica de la Clase AB. Prácticamente toda la corriente se envía como señal de audio y sólo una pequeña parte de la energía restante se emite como disipación del calor a través del disipador de calor.

Con un funcionamiento de la etapa de salida final similar al de la Clase AB, la señal de salida tiene una calidad de sonido extraordinariamente alta. No se produce ningún

deterioro de la respuesta de frecuencia o factor de amortiguación ni ondas electromagnéticas armónicas no deseadas, ya que la señal de audio no se convierte en una señal PWM. Además, EEEngine está diseñado para operar perfectamente reduciendo al mínimo la generación de calor del amplificador de potencia, cualquiera que sean los requisitos de carga. El sistema EEEngine en su totalidad ofrece una calidad de sonido de Clase AB con una eficacia equiparable a la de la Clase D. Se ha ampliado la capacidad de los circuitos de EEEngine para los amplificadores de las series TXn y Tn con un nuevo circuito impulsor TEC de búfer de corriente eléctrica de alta eficacia diseñado para soportar la potencia y la carga de 2 ohmios de estos amplificadores.



[Fig. 7] Forma de onda de EEEngine

EEEngine frente a la tecnología de la competencia

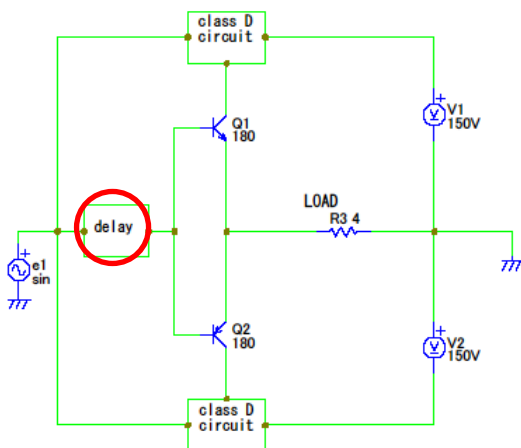
Hay un reputado fabricante de amplificadores con una topología de amplificación propia que utiliza el mismo concepto de combinación de la amplificación de la Clase AB y el funcionamiento de la fuente de alimentación de la Clase D. Ambas tecnologías rastrean la señal de audio para proporcionar siempre la mínima potencia necesaria para la etapa de salida final. Sin embargo, difieren en el modo en que se rastrea la señal.

Las señales de alta frecuencia requieren un gran rapidez de respuesta* y son difíciles de rastrear. La rapidez de respuesta es una medida de la capacidad de un amplificador de responder a cambios muy rápidos en el voltaje de la señal. Para compensar la imposibilidad de seguir los cambios en el voltaje de la señal, esta tecnología de la competencia añade un retardo a la señal de entrada. Este retardo proporciona a la fuente de alimentación de Clase D más tiempo para responder a los cambios bruscos de voltaje, pero no debe olvidarse que la manipulación de la señal de entrada afectará

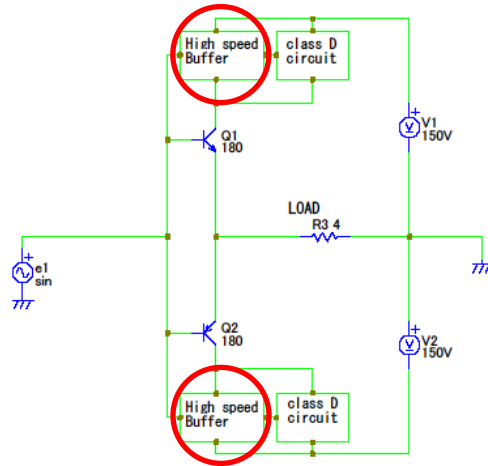
inevitablemente a la calidad de sonido final.

El sistema EEEngine de Yamaha utiliza un enfoque diferente para compensar la limitación de la fuente de alimentación de Clase D en cuanto al seguimiento de los cambios bruscos de voltaje añadiendo una fuente de alimentación de “búfer de alta velocidad” auxiliar. Este circuito de fuente de alimentación de alta velocidad sólo se activa cuando la fuente de alimentación de Clase D no es capaz de mantener la velocidad. El mecanismo de “búfer de alta velocidad” permite al sistema EEEngine responder a los rápidos cambios de voltaje sin manipular la señal de audio y sin que se degrade la calidad de sonido. La eliminación de componentes excesivos o no deseados en la línea de audio es un reflejo de la filosofía de Yamaha de proporcionar una señal de salida natural fiel a la señal de entrada.

* La rapidez de respuesta afecta a la capacidad de un amplificador de representar con exactitud formas de onda complejas a niveles altos de potencia. Sin embargo, una rapidez de respuesta mayor sólo es preferible en un punto. Una rapidez de respuesta mayor proporcionará al amplificador un mayor ancho de banda que, si es excesivo, dará lugar a la amplificación de señales incluso en el rango de radiofrecuencias. Esto supondrá un derroche de energía, creará distorsión y la unidad del altavoz se verá sometida a un esfuerzo no deseado.



[Fig. 8] Circuito de un amplificador de la competencia. Para proporcionar más tiempo a la fuente de alimentación de Clase D para responder a los cambios repentinos de los requisitos de voltaje, se aplica un retardo a todo el sonido. Con esta manipulación de la señal de audio es inevitable que la calidad del sonido resulte afectada.



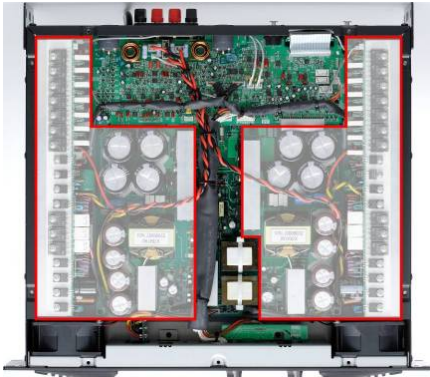
[Fig. 9] El “búfer de alta velocidad” de EEEngine sólo se activa cuando la fuente de alimentación de Clase D no es capaz de seguir el aumento brusco del sonido. Este circuito permite que EEEngine mantenga una rapidez de respuesta sin manipular ni degradar la señal de audio.

2. Tecnología Yamaha

2.1. Estructura de doble amplificador mono

Tecnología de los amplificadores de potencia de Yamaha: diseño mecánico

Los amplificadores de las series TXn, Tn y PC9501N son amplificadores de dos canales que incorporan un diseño de dos amplificadores mono, cada uno con su propia fuente de alimentación. La estructura de doble amplificador mono desempeña una función importante en la separación de los dos canales. El hecho de que cada amplificador mono disponga de su propia fuente de alimentación reduce la interferencia entre los canales al evitar, por ejemplo, que las notas graves fuertes de un canal obtengan energía del otro canal. Las dos fuentes de alimentación operan en fases opuestas, que se sincronizan para cancelar el ruido y reducir las interferencias electromagnéticas.

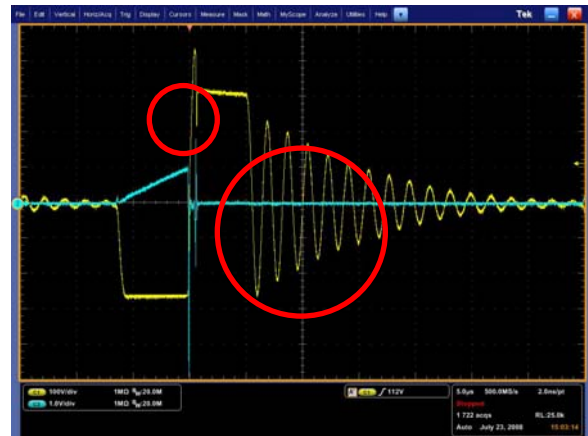


[Fig. 10] Estructura de doble amplificador mono. Cada canal tiene su propia fuente de alimentación.

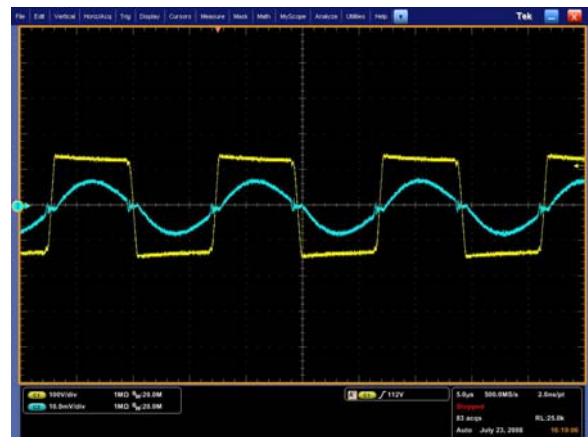
Asimismo, los amplificadores se han diseñado con sumo cuidado para suprimir la vibración interna del amplificador, que podría afectar negativamente a la calidad de sonido. La superficie superior del disipador de calor se ha reforzado para reducir la vibración en los transistores de potencia instalados encima. El propio disipador de calor está sujeto a los paneles laterales de la carcasa en varios puntos estratégicos con aislantes especiales diseñados para absorber la vibración y la resonancia de la carcasa, que interfiere con la reproducción óptima.

2.2. Fuente de alimentación de conmutación con resonancia completa

La fuente de alimentación desempeña una función crucial en la calidad de cualquier amplificador. Las fuentes de alimentación de conmutación de resonancia completa instaladas en los amplificadores de las series TXn, Tn y PC1N procesan dos tipos de conmutación: conmutación de voltaje cero y conmutación de corriente cero. Las fuentes de alimentación de resonancia completa proporcionan formas de onda de voltaje y corriente con curvas naturales que reducen considerablemente los componentes armónicos del ruido de conmutación. Las fuentes de alimentación en modo conmutado típicas emplean lo que se suele llamar “conmutación rápida”, que provoca más ruido en la salida de CC y produce formas de onda cuadradas ricas en armónicos de alta frecuencia que necesitan eliminarse mediante un filtro. Sin embargo, la “conmutación suave”, en relación con la conmutación de resonancia completa, produce formas de onda naturales deseables para la reproducción musical.



[Fig. 11] Corriente y voltaje de una fuente de alimentación típica de la competencia. Se observa claramente un contenido de ruido mucho mayor (indicado mediante un círculo rojo). La forma de onda del voltaje se muestra en amarillo y la forma de onda de la corriente, en azul.



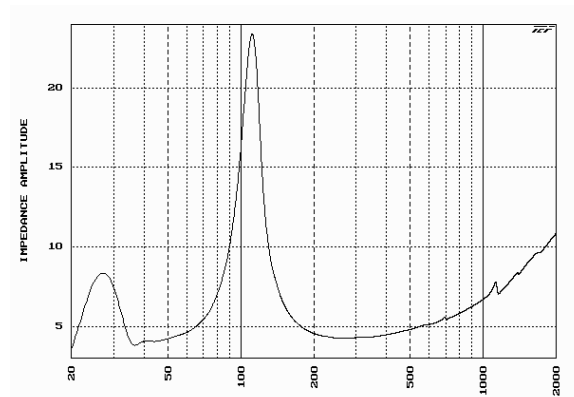
[Fig. 12] Fuente de alimentación de conmutación de resonancia completa de Yamaha. Formas de onda suaves y naturales con mínimo ruido de conmutación. La forma de onda del voltaje se muestra en amarillo y la forma de onda de la corriente, en azul.

3. Comportamiento del amplificador en condiciones de carga extrema

3.1. Importancia de la capacidad de carga estable de 2 ohmios

Las series Tn y TXn se desarrollaron para que presentaran un funcionamiento estable con una carga de 2 ohmios. Esto no significa necesariamente que los amplificadores de potencia deban configurarse para una carga de 2 ohmios. Sin embargo, no hay duda de que esa estabilidad con una impedancia extremadamente baja es muy importante para los amplificadores de potencia de uso profesional. Por ejemplo, cuando se utilizan dos altavoces de graves con una impedancia nominal de alrededor de 6 u 8 ohmios, éstos suelen conectarse en paralelo, proporcionando al amplificador una carga de 3 a 4 ohmios. Los altavoces Line Array se suelen conectar también en paralelo, por lo que requieren estabilidad con impedancias bajas. La curva de impedancia real de un altavoz es compleja y su carga varía considerablemente en función de la frecuencia. La impedancia real menor de un altavoz suele ser menor que su impedancia nominal. Debido a esta curva de impedancia, un operador puede involuntariamente someter a un esfuerzo extremo al amplificador con una fuente que atienda repetidamente las frecuencias más exigentes (con menor impedancia) de los altavoces. Como de vez en cuando los amplificadores se ven sometidos a condiciones que requieren un esfuerzo extremo, es importante que haya suficiente margen de sobrecarga de señal para evitar un recorte de amplificación.

Cuando se produce un recorte en el amplificador, su señal de salida se distorsiona y se aprecia una forma de onda rectangular. Una onda rectangular contiene una frecuencia muy alta que hace que se quemen las bobinas de los altavoces. El recorte de la señal de audio, que podría destruir los altavoces del sistema, debe evitarse en un sistema de sonido profesional. La capacidad de un amplificador de mantener un funcionamiento estable con una impedancia baja es fundamental, ya que este recorte es más probable que se produzca a impedancias bajas.



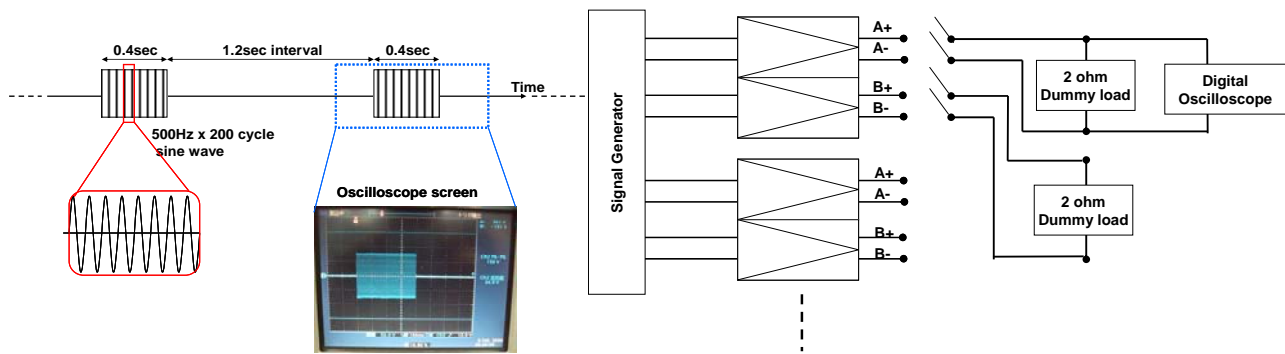
[Fig. 13] Curva de impedancia típica de un woofer de reflejo de bajos. La impedancia nominal es 4 ohmios, pero la impedancia menor es inferior a 4 ohmios.

3.2. Comparación de los amplificadores en situaciones de impedancia baja

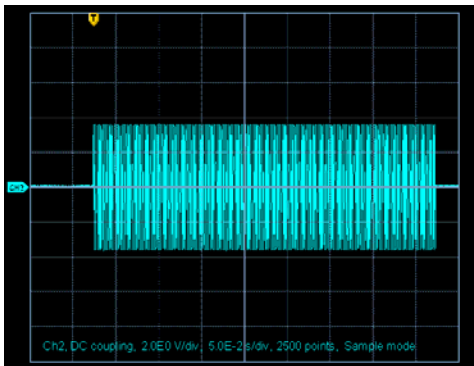
A continuación se incluyen medidas de un osciloscopio para observar las diferencias de funcionamiento de algunos de los amplificadores de potencia más populares de hoy en día. La señal de prueba es una onda sinusoidal (200 ciclos de 500 Hz = 0,4 s) seguida de 1,2 segundos de intervalo (sin señal). Esta frecuencia se puede encontrar en muchos materiales de programa típicos, y se estableció un intervalo porque la reproducción continua de ondas

sinusoidales no refleja la realidad en las aplicaciones de refuerzo de sonido actuales.

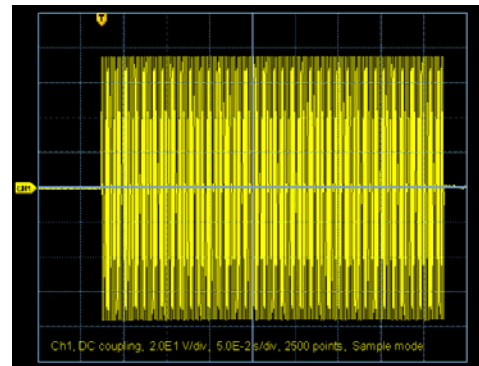
Se trata de una comparación de distintos amplificadores de potencia del mercado, todos ellos con una potencia nominal de 2.500 W a 3.000 W a 2 ohmios. La ganancia de voltaje y los niveles de entrada se han medido y ajustado cuidadosamente para proporcionar una comparación imparcial.



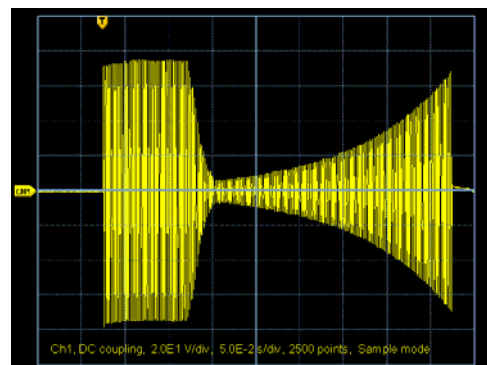
[Fig.14] Descripción de la configuración



[Fig. 15] La señal de entrada. Para la señal de salida del amplificador se desea obtener la misma forma de onda con mayor amplitud.

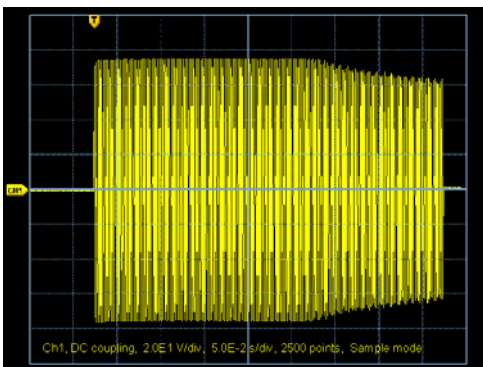


[Fig. 16] Salida del amplificador T5n de Yamaha (2.500 W a 2 ohmios). La señal de salida es muy fiel a la señal de entrada.



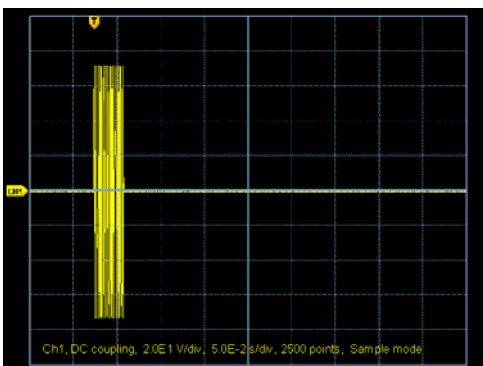
[Fig. 17] Señal de salida de un amplificador, "Competidor A". (2.500 W a 2ohmios)

La medida del osciloscopio de la Fig. 17 muestra una señal de salida que parece estar muy comprimida. La señal de salida no se parece a la onda sinusoidal de entrada. Este comportamiento no era apreciable cuando el amplificador funcionaba con un solo canal, pero la señal se volvió rápidamente inestable al utilizar ambos canales. Creemos que esto se debe a la sobrecarga de una de las fuentes de alimentación que suministra energía a ambos canales.



[Fig. 18] Medida de osciloscopio del modelo de amplificador "Competidor B". (2.900w a 2 ohmios)

En la Fig. 18 se aprecia que el modelo Competidor B, con 400 vatios nominales más que el T5n a dos ohmios, parece funcionar bien al principio, pero rápidamente pierde potencia y se reduce el voltaje de salida. Este comportamiento se observó cuando el amplificador funcionaba con ambos canales.



[Fig. 19] "Competidor C": con una potencia nominal de 3.300 W a 2 ohmios, este amplificador deja de emitir sonido rápidamente cuando se activa su limitador. (3.300 W a 2 ohmios)

En la Fig. 19 se muestra la señal de salida del modelo de amplificador "Competidor C". Aunque este amplificador tiene una potencia nominal de 3.300 W a dos ohmios y es el que mayor potencia tiene de todos los utilizados en esta comparación, el trazo del osciloscopio revela resultados contradictorios. Su limitador se activó y se redujo drásticamente el voltaje de salida. Aunque no se aprecia en la imagen fija de la medición, el voltaje de salida tardó algunos segundos en recuperarse, y únicamente para volver a activar el limitador por un breve período de tiempo. Este comportamiento se repitió durante toda la prueba.

Estos resultados indican que amplificadores diferentes se comportan de forma distinta cuando funcionan con baja impedancia. Los resultados de la comparación demuestran también que el rendimiento real de un amplificador no siempre es predecible a partir de las especificaciones del catálogo. Como no existen estándares de la industria para las especificaciones de los amplificadores, la comparación por escrito de cifras como la potencia de salida no es muy práctica.

3.3. Explicación de los resultados de la prueba de audición mediante una fuente musical

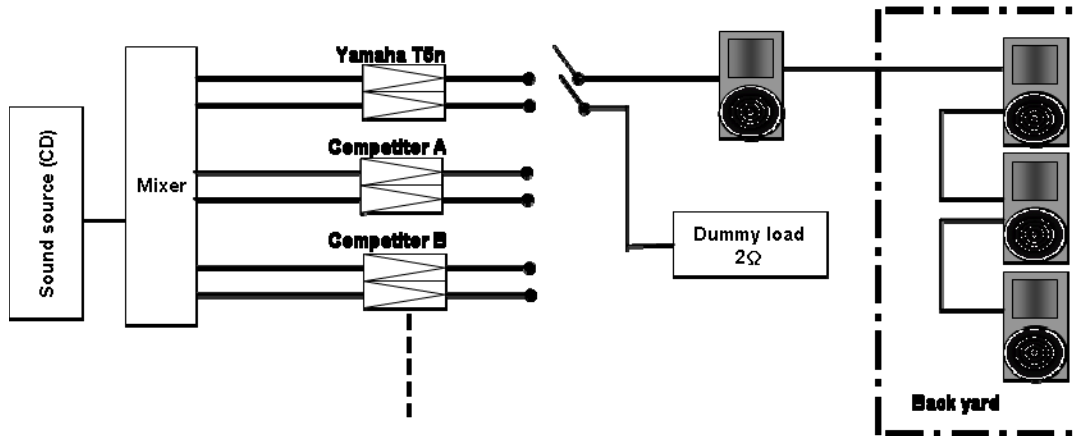
El experimento anterior se realizó con una fuente musical. Para reproducir una configuración más realista, reemplazamos la carga ficticia de un canal por cuatro altavoces conectados en paralelo. Para reducir la interferencia entre los cuatro altavoces y para reducir también el impacto auditivo, comprobamos los resultados desde un altavoz de referencia, colocando los otros tres en un emplazamiento distante.

Los resultados de esta prueba de audición fueron básicamente reproducciones de las medidas del osciloscopio. Los bombos en "Competidor A" sufrieron una gran distorsión, extremadamente desagradable para los oídos, además de perjudicial para los altavoces. Su nivel de reproducción fluctuó después de sonar el bombo, como quedó reflejado en la medición del osciloscopio.

La salida del modelo "Competidor B" se distorsionó

considerablemente con la repetición de notas altas. El limitador del amplificador del modelo “Competitor C” se activó cuando sonó el bombo. El amplificador enmudeció durante unos segundos antes de recuperarse. El limitador puede proteger el amplificador frente a posibles daños, pero este comportamiento es inaceptable en aplicaciones en directo. El T5n de Yamaha mostró resultados positivos

en esta prueba. El T5n mostró una limitación mínima y dispuso del mayor margen de sobrecarga de señal entre los competidores. La salida del amplificador mostró una ligera distorsión con niveles altos, pero la reproducción mantuvo su musicalidad y presentó el mejor rendimiento en esta comparación.



[Fig.20] Configuración de la prueba de audición

YAMAHA CORPORATION

Apdo. de correos 1, Hamamatsu, Japón

<http://www.yamaproaudio.com/>