

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

1.1 *Introducción histórica*

Me gustaría comenzar este proyecto con una breve introducción¹ acerca de cómo han ido evolucionando los diferentes sistemas de sonido en general (y sobretodo en el mundo del cine), para así poner en contexto la temática y el objetivo de este proyecto. También repasaremos los diferentes conceptos relacionados con el tema, así como sus diferentes utilidades.

El sonido "surround" y el "Home Theater" (también conocido como "Home Cinema"), son dos de los conceptos que más rápidamente están creciendo en el negocio del audio. A medida que más mercados internacionales van incorporando más software de vídeo y más instrumentos y posibilidades de programación, el sonido "surround" y el "home theater" evolucionan al mismo ritmo.

El home theater y el sonido surround están irremediabilmente vinculados. Aunque se puede crear un sistema home theater sin sonido surround, es la experiencia de audio completa la que realmente forma el impacto ambiental de las salas de cine comerciales. Por lo tanto cualquier sistema home theater significativo deberá estar equipado con posibilidades de sonido surround.

El home theater (un intento de traducción del término en inglés equivaldría a sala de cine en casa) es ver películas en casa. Los sistemas de home theater suelen incluir un vídeo de alta fidelidad, un reproductor de CD, un decodificador de sonido surround y altavoces tanto en la parte frontal de la habitación como en la parte posterior de la misma, exactamente igual que en una sala cinematográfica comercial.

Para comprender mejor el concepto actual de home theater se deben entender los principios básicos de las salas de proyección comerciales, en cuanto a lo que a sonido se refiere. Así pues, como comentamos al principio, conviene hacer una rápida revisión de los principios sonoros de las mencionadas salas cinematográficas.

Remontémonos al pasado, a los orígenes del surround. Durante muchos años se habían hecho innumerables intentos de lograr un sonido multi-canal, en particular en las películas. En los años cincuenta hubo un productor cinematográfico de gran talento llamado

¹ Introducción basada en un artículo publicado en la web www.duiops.net

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

Michael Todd utilizó sonido multi-canal, sonido surround. El sonido engrandecía las visiones envolventes con un sonido que parecía moverse con las imágenes y que no parecía provenir de las fuentes de sonido convencionales.

Con el Cinerama fue la primera vez que se escuchó algo que podía llamarse sonido surround (su traducción bien podría ser sonido envolvente). Pero el Cinerama, era muy caro y difícil de llevar a la práctica, tanto en su producción como en su posterior proyección, lo que contribuyó negativamente a su posterior desarrollo.

Después del Cinerama, y durante bastantes años, aparecieron toda una serie de diferentes formatos de audio cinematográfico. Cada uno de ellos requería un equipo ligeramente distinto y un montaje también diferente. Cada uno de estos formatos pretendía presentar la pista de sonido con un mayor impacto y con más espectacularidad que sus predecesores. Se iba vislumbrando ya la necesidad de fabricar un estándar que sirviera para todas las aplicaciones de la industria cinematográfica.

1.1.1 Sonido Cinematografico Multi-canal

En una época en la que el sistema de sonido estándar era un altavoz detrás de la pantalla, de repente se necesitaban tres, cinco, siete e incluso nueve altavoces detrás de una pantalla de gran anchura, con unos sistemas de mezcla muy elaborados para situar la fuente de sonido y que ésta se correspondiera con la posición de la acción en la pantalla.

Hasta los años setenta en que se adoptó el estéreo, no se había asumido ningún estándar efectivo y sustancial en el sonido cinematográfico. Antes del Dolby estéreo había básicamente dos formatos estándar de audio para las salas de cine comerciales: monofónico de 35 milímetros con pista de sonido óptico y dos canales (eran los que abundaban por aquél entonces, si bien la mayoría de los estrenos de 35 milímetros (y también las salas) eran monofónicos por aquel entonces), y 70 milímetros estéreo con cuatro canales y con pista de sonido magnética, o sonido sincronizado óptico/magnético (mucho más caros que los anteriores, eso sí).

Aunque se utilizaron muchas variaciones de este sistema, la más común fue un sistema de cuatro canales con tres altavoces y otra serie de ellos distribuidas por los laterales y en la pared posterior de la sala. Estos canales eran: frontal izquierdo, frontal central, frontal derecho y efectos de sonido, la misma configuración utilizada hoy en el Dolby estéreo .

Llegados a este punto, se planteó el interrogante de qué dirección tomar en cuanto a temas de sonido. La solución a este dilema fue, y es, Dolby Stereo.

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

1.1.2 Llega el estándar: El Dolby Stereo

Dolby Stereo es un sistema de codificación/decodificación cuatro a dos y dos a cuatro. Las películas se podían rodar y producir para ser estrenadas en salas con disponibilidad para 70 milímetros, y después codificarse, conservando toda su integridad, en dos canales para las salas más pequeñas con equipos de 35 milímetros. Y la diferencia en realismo a la hora de experimentar la película era incomparable a los viejos sistemas monofónicos.

Hacia finales de los ochenta, en poco más de una década, el Dolby Stereo se había convertido en un estándar virtual para la producción de audio cinematográfico. La mayoría de las películas producidas desde mediados de los años setenta están codificadas con Dolby Stereo, incluso las que aparecen en formatos de vídeo (cinta y disco), o las que se reciben por televisión estéreo.

1.1.3 El Dolby en casa

Y por fin, llegó el momento de disfrutar de toda esta tecnología en casa. Con el desarrollo de la industria y el abaratamiento de los equipos, actualmente es muy asequible poseer un sistema de audio doméstico de muy altas prestaciones con el que tener sensaciones similares a las que se pueden experimentar en una sala de cine.

Hoy en día hay diversas clases de equipos surround para utilizar en el hogar: los decodificadores de Dolby Surround, los decodificadores de Dolby Pro Logic, los procesadores digitales de sonido, los simuladores de sonido surround, los amplificadores multi-canal y los altavoces surround, y otros muchos tipos de equipos que se encuentran disponibles en el mercado. Es de destacar también los nuevos sistemas de sonido que incorporan nuevos canales aparte del surround (como los 7.1), e incluso los nuevos sistemas que se están incorporando al mercado con 2 subwoofers, emulando cada uno un canal direccional (derecho e izquierdo) diferente.

Hay actualmente dos sistemas decodificadores de efectos Dolby autorizados por Dolby y disponibles para ser utilizados en casa: Dolby Surround y Dolby Surround Pro Logic. Los decodificadores de Dolby Surround llevan algún tiempo en el mercado, y muchos productos de consumo de audio/vídeo incorporan ya esta característica. El Dolby Surround Pro Logic, o su denominación abreviada Pro Logia, es sustancialmente diferente del Dolby Surround, aunque ambos sirven para el mismo propósito.

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

1.2 Funcionamiento del "Dolby Surround" y del "Pro Logic"

El Pro Logic utiliza el mismo circuito decodificador (en realidad es un ordenador analógico) que se emplea para el Dolby Stereo en las salas comerciales. Con el sistema Pro Logic -o Dolby Stereo- una entrada de dos canales codificados proporciona una salida de cuatro canales codificados. En realidad se suele manifestar como cinco canales de salida, pero también la salida puede quedar reducida a tan sólo tres.

En la producción de películas comerciales los cuatro canales se utilizan de la siguiente manera: el canal central se reserva generalmente para el diálogo, aunque se puede utilizar para direccionar los efectos de sonido en secuencias de acción. En los primeros momentos se intentó mover el diálogo a través de la pantalla según la posición de la persona que estuviera hablando, pero se comprobó que esto desorientaba a la audiencia, por lo que se determinó que el centro de la pantalla era el punto de origen óptimo para todos los diálogos. Así mismo, los espectadores sentados fuera del eje del centro de la pantalla estaban en desventaja para seguir los diálogos "móviles", con lo que se escogió la posición central para fijar la posición de procedencia del diálogo, independientemente del asiento que se ocupase en la sala. Al fin y al cabo no todo el mundo se consigue sentar en el centro, pero todos han pagado su entrada.

Los canales frontales izquierdo y derecho se utilizan para crear una imagen acústica estereofónica en torno al canal del diálogo. Se puede estrechar o ensanchar para adaptarse a la imagen visual, y se pueden realizar barridos de un lado a otro para direccionar los efectos de sonido en sincronización visual con la acción de la pantalla.

Los canales de efectos se emplean para crear la sensación de profundidad del sonido, añadiendo ambiente y detalle dentro de la sala, normalmente en los laterales y detrás de la audiencia. Para que resulten efectivos, los canales de efectos deben añadir la ilusión de profundidad sin que el público sea plenamente consciente de su presencia. Esto es una empresa harto complicada, debido a ciertas sensibilidades del oído humano.

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

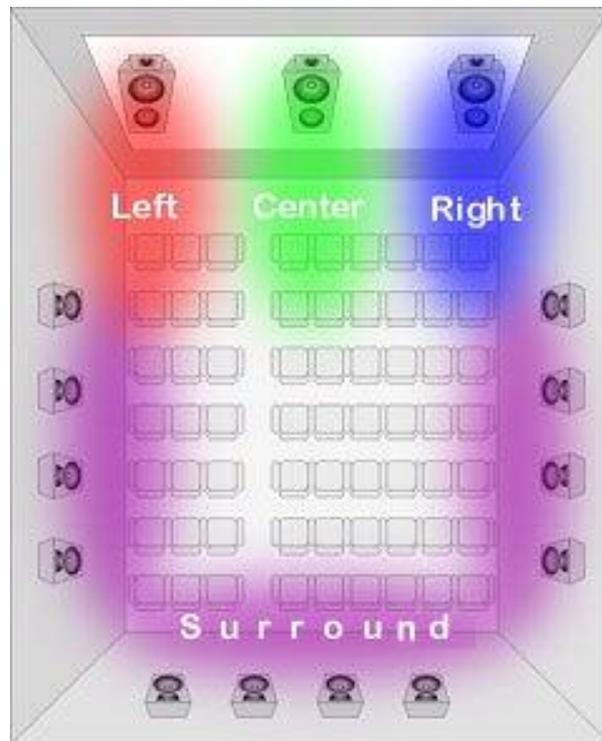


Ilustración 1.1: Posicionamiento y efectos de canales Dolby Surround

- Primero, los sonidos sibilantes. Sibilantes son aquellos sonidos de siseo y de silbido que hay en el habla humana. Estos sonidos son normalmente armónicos de altas frecuencias. Así, los canales de efectos del Dolby Stereo pasan por unos filtros de paso bajo con el corte en siete kHz para minimizar estos sonidos sibilantes. La cuestión aquí es que si se detecta sonido que llega por detrás, cuando el diálogo se supone que procede del centro de la pantalla, el cerebro no se creará realmente que la acción procede de la pantalla.
- Por otro lado está lo que se conoce como efecto Hass (o de Procedencia). Un científico llamado Hass descubrió que el oído identifica el primer sonido que escucha como el origen del sonido, independientemente de la frecuencia del sonido o de la integridad de su estructura armónica. Este hecho ha tenido importantísimas repercusiones en el diseño de los equipos comerciales de sonorización para sitios como, por ejemplo, las iglesias. Utilizando un pequeño altavoz de bocina montado en el púlpito y reforzándolo con una serie de altavoces grandes que están progresivamente retardados en el tiempo y que se distribuyen a lo largo de los laterales de la iglesia, toda la audiencia tiene la ilusión acústica de que el sonido

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

viene del púlpito, si bien lo único que procede de allí es el primer sonido. El grueso del sonido procede de los altavoces laterales. Por supuesto esto es así siempre y cuando el equipo está correctamente diseñado y montado.

Esto funciona realmente. Y el sonido cinematográfico es exactamente lo contrario del sistema Hass para las iglesias que acabamos de describir. Si se está sentado en la sala en lo que podríamos llamar el punto dulce, perfectamente centrado de izquierda a derecha y de frontal a parte posterior, no hay problema.

Pero no todos los que van al cine tienen ese privilegio. El problema está en que, considerando el efecto Hass, si las distancias a los diferentes altavoces no son equidistantes, no percibiremos en sincronía los diferentes sonidos. En concreto, si nos sentamos en un lateral de una sala de cine, escucharíamos primero el sonido surround, el del lateral. Así pues identificaríamos la fuente de sonido detrás de usted, no en la pantalla. Esto nunca valdría, puesto que no identificaríamos el sonido proveniente de los altavoces como sonido real relacionado con la película que estuviéramos viendo.

Para solucionar este problema, los canales de efectos en el Dolby Stereo están retardados en el tiempo, y así, esté donde esté en la sala, el primer sonido en llegar a sus oídos es el sonido procedente de la pantalla, y no de los canales surround (laterales y posterior). Consecuentemente el sonido siempre parece provenir de delante, excepto en esas contadísimas ocasiones en las que el sonido que se pierde de una nave espacial saliéndose de la pantalla se oye en los canales posteriores, y sólo en los posteriores.

1.2.1 Explicación de los diferentes sistemas Dolby

Veamos pues, cuál es la principal diferencia entre Dolby Stereo, Dolby Surround y Dolby Pro Logic. La distinción entre Dolby Stereo y Dolby Pro Logic es su aplicación: Dolby Stereo es para salas de cine comerciales, y sus controles y su manejo están diseñados para dicha aplicación. Pro Logic es idéntico a Dolby Stereo, salvo sus controles y su manejo, que están optimizados para aplicaciones domésticas.

Las principales diferencias entre Dolby Surround y Pro Logic están en la separación y en la direccionalidad lógica, y en la extracción de un verdadero canal de diálogo central.

En primer lugar vamos a abordar el tema de la codificación. Cuando se producen las películas, el sonido se introduce originalmente en el master en cuatro canales independientes. Después se agrupan en una matriz de dos canales mediante un codificador matricial del Dolby Stereo. Los canales frontales izquierdo y derecho no sufren cambio alguno, pero a cambio, se les añade un nuevo canal, el central, que es reducido en 3 dB,

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

añadiéndosele por igual a ambos canales, izquierdo y derecho. El canal de efectos también se reduce 3 dB, se desplaza 90° en fase, se envía a través del filtro de paso bajo de siete kHz y del filtro de paso alta de 100 Hz, se codifica con el sistema de reducción de ruido Dolby B, y por último se suma a cada uno de los canales frontales, izquierdo y derecho.

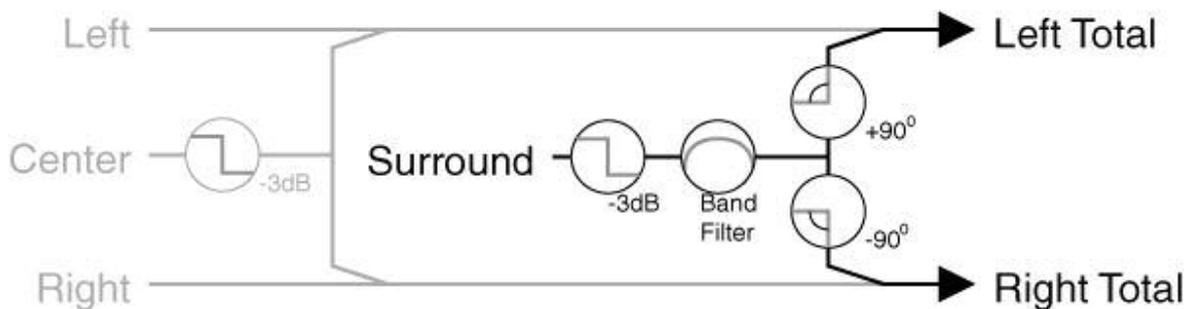


Ilustración 1.2: Mezclado de los diferentes canales Dolby

Los canales central y de efectos son el uno lo opuesto del otro. El canal central es esencialmente Izda. + Dcha., es decir, canal izquierdo más canal derecho. Los canales de efectos son Izda. - Dcha., (canal izquierdo menos canal derecho).

Tanto el sistema Pro Logic como el Dolby Surround utilizan retardo en el tiempo en los canales de efectos. Pero la separación de las señales frontal y posterior es de unos 22 dB mejor en Pro Logic que en Dolby Surround. Esta es una diferencia sustancial, ya que es el resultado directo del funcionamiento de los dos sistemas. El sistema Dolby Surround utiliza un sencillo circuito que extrae la señal diferenciadora Izda. - Dcha. y la envía al canal correcto del amplificador. El sistema Pro Logic utiliza un complejo decodificador de matriz activo que contempla las características de fase de las dos señales. Porque la codificación desplaza la fase de los canales de efectos, este es un proceso decisivo, de modo que la mayoría de la información central-frontal se extraiga de los canales posteriores, creando un efecto mucho más natural.

Y para que las cosas se compliquen aún más, Dolby no sólo proporciona un canal central derivado con el Dolby Surround, sino que también ha previsto un canal central "Phantom" con el sistema Pro Logic. Dicho canal Phantom utiliza los canales izquierdo y derecho en una mezcla estéreo para obtener el canal central. Esto funciona mejor que el Dolby Surround normal, pero no tan bien como el sistema Pro Logic con un altavoz para el canal central.

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

1.3 Objetivos del proyecto

Vista esta pequeña introducción histórica, así como el manejo de los diferentes sistemas Dolby, nos meteremos a ver un poco en profundidad los diferentes objetivos por los que se planteó este proyecto.

Partimos de proyectos anteriores en donde ya se comenzó a trabajar con señales de audio. En concreto en el proyecto “Técnicas para el control digital de un amplificador analógico de audio” realizado por Ignacio Moreno Flores (el cual se centra en buscar un sistema de audio simple, estéreo, con control digital de volumen y calidad suficientemente alta como para poder ser llamado profesional, según palabras textuales de su autor) ya se construyó un amplificador estéreo, y se implementó un primer control digital del volumen.

Nuestro proyecto comienza aquí, y su primer planteamiento es mejorar este proyecto base, adaptándolo a los tiempos que corren, en los que, como ya hemos visto, cualquier equipo casero que se precie (bien sea un Home Theatre, un equipo de coche, u otro similar), además de los 2 altavoces estéreo de siempre, poseen al menos una etapa de bajos (lo que comúnmente se conoce como subwoofer), además de altavoces traseros, centrales, u otros efectos.

Es por eso que nos planteamos lo siguiente:

- En primer lugar, crear un diseño que nos permita generar un Dolby Surround para realizar un equipo 5.1 a partir de lo que ya teníamos.
- En segundo lugar, diseñar una etapa entera de subwoofer, en la que podamos generar una señal de graves de características similares a las que nos proporcionan los fabricantes de equipos actuales.
- Por otro lado, partiendo de lo realizado en materia de control digital realizado hasta el momento, nos planteamos el que existen muy pocas opciones de controlar el sonido. Es por eso que uno de los objetivos (si no el principal) de este proyecto es que, puesto que vamos a aumentar considerablemente el número de canales a gestionar, también hay que mejorar las posibilidades de controlar éstos.
- Para finalizar, una vez generados y controlados todos estas señales, tenemos que generar etapas de amplificación para cada una de los diferentes canales

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

1.4 Alcance del proyecto

Una vez conocido qué es lo que pretendemos hacer y qué es lo que no, veamos qué es lo que necesitamos y cómo vamos a conseguir esto

- El primer problema con el que nos encontramos es cómo obtener todas las señales que necesitamos, puesto que la mayoría de conectores y elementos que existen en el mercado son mono o estéreo. Teníamos dos opciones, Dolby Surround o Pro Logic. Aunque lo ideal sería tener un canal central independiente, aunque esto nos complicaría sobremanera el proyecto. Además, para equipos domésticos la diferencia real no es tan apreciable como en el cine. Nos decantamos pues, por la segunda opción, de menor calidad quizá, pero mucho más barata y sencilla, y aceptable para un equipo de calidad media como el que estamos planteando.
- Por otra parte, otro de los puntos a conseguir en este proyecto es realizar un control independiente sobre cada uno de los canales de forma digital, así como encontrar algún método para poder visualizar este control, de tal forma que sea muy intuitivo el poder manejar el volumen del sistema.
- Tema aparte es el caso del subwoofer, sobre el cual hay que diseñarlo todo. Para ello, tenemos que encontrar una forma de generar la señal propia del subwoofer (normalmente se hace mediante una suma, como veremos más adelante) ,un filtro lo suficientemente bueno como para discriminar las frecuencias no deseadas y generar un sonido de alta calidad, además de un amplificador que opere en bajas frecuencias y que nos proporcione una ganancia considerable en el rango en el que nos movemos.
- Por último, necesitamos amplificar las señales de audio de los diferentes canales. Puesto que ya partimos de un proyecto en el que ya se hacía esto, es un tema en el que no vamos a profundizar mucho. Aún así, existe la necesidad de fabricar y testar las placas que nos permitirán hacer esto.

1.5 Solución propuesta

Una vez situado el proyecto en contexto, visto lo que queremos conseguir, y qué es lo que vamos a necesitar, pasaremos a ver un esquema que nos explique, de forma general,

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

cómo vamos a conseguir todos estos objetivos que nos planteamos. Para ello, lo primero será ver un diagrama funcional sobre las diferentes placas realizadas, así como su conexión entre ellas.

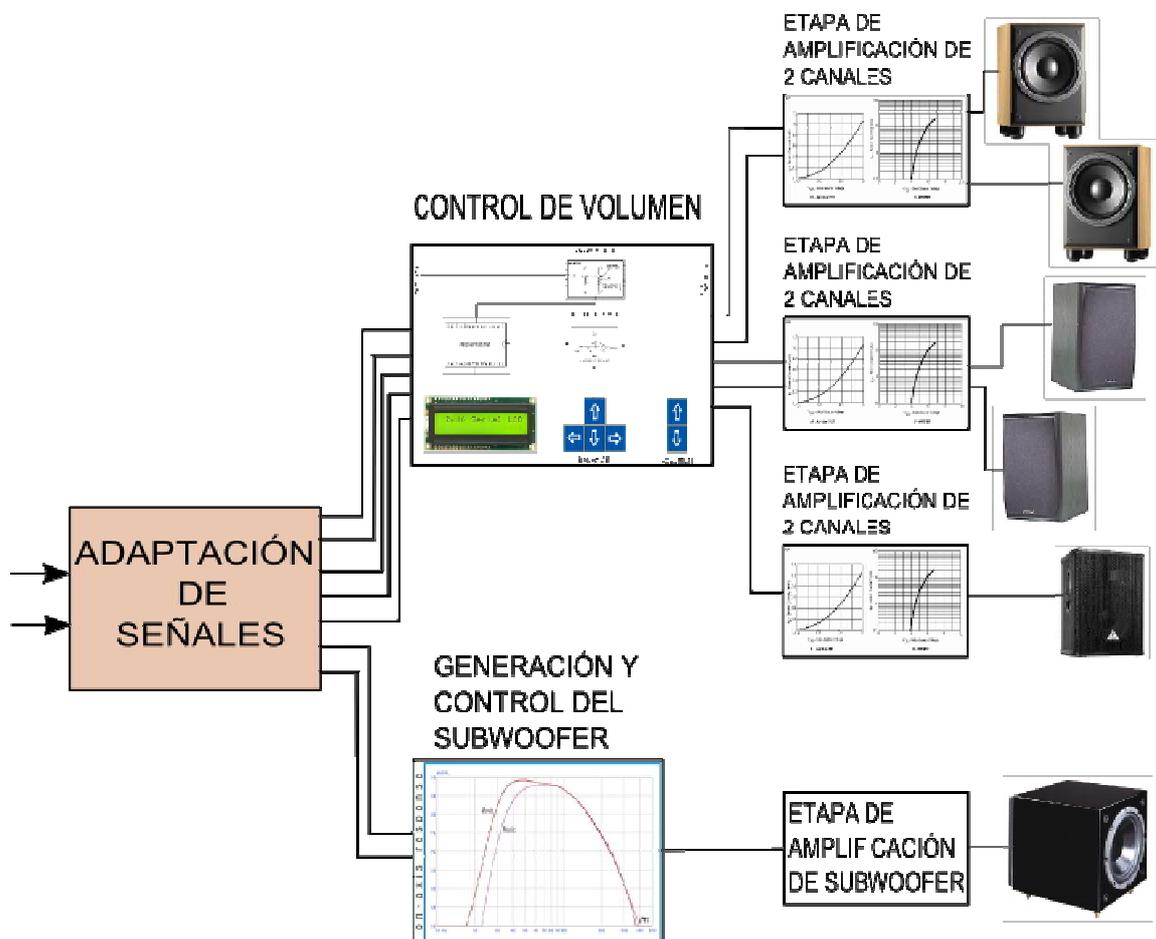


Ilustración 1.3: Diagrama funcional de la solución propuesta

A lo largo de esta memoria iremos viendo cómo funcionan cada uno de éstos bloques (de hecho, cada uno de los capítulos de este documento se corresponde con cada uno de los diferentes bloques funcionales). ¿Porqué esta estructura?, en primer lugar vemos que el subwoofer es totalmente independiente del resto, esto es así porque su rango de

	ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE	
	Fecha de creación 07/04/2005 18:38:00	Autor: José Ángel Olmo Agudo Tutor: Manuel Perales Esteve

funcionamiento de frecuencias, así como su amplificación, es totalmente diferente del resto, con lo que se decidió separar del resto del proyecto.

Por otro lado, vemos que las etapas de amplificación están separadas del resto de circuitos; puesto que son circuitos que emplean mucha energía y disipan mucho calor, no es aconsejable mezclarlos con el resto de la electrónica.

Me gustaría indicar aquí también, que el realizar de forma modular este proyecto también es debido al aprendizaje que he seguido a lo largo del proyecto. Es por esto que, dividiendo el circuito completo en diferentes etapas, no sólo es más fácil comprobar cada una de ellas de forma diferente, sino que además me permitió ir aprendiendo a usar los diferentes programas utilizados, tales como PCAD, MPLAB, etc..., de tal forma que comenzando el diseño por circuitos más sencillos me sirvió para aprender de una forma más rápida y sencilla.

Como ya se comentó, a lo largo de los diferentes capítulos iremos comentando el funcionamiento de cada uno de los diferentes bloques, aún así, me gustaría hacer un rápido resumen acerca de éstos para comenzar, para así tener una visión más clara del conjunto de la estructura.

- En primer lugar, tenemos un circuito de entrada denominado adaptación de señales. La misión de éste circuito es la de generar las señales Dolby para su posterior procesado, así como adaptarlas al resto de integrados de las siguientes etapas.
- El control de volumen recibe las 5 señales Dolby (el subwoofer va aparte), y mediante una serie de botones, nos permite controlar el volumen de todos los canales según la posición del altavoz.
- El control de subwoofer genera la señal de bajos, mediante un filtrado y un ecualizado, además de permitirnos el control del volumen de ésta.
- La etapa de amplificación de 2 canales nos permite amplificar cada uno de los diferentes canales, de 2 en 2.
- La etapa de amplificación del subwoofer, al igual que las etapas anteriores, nos permite amplificar el canal de bajos. Su diseño es totalmente diferente al de la otra etapa, puesto que tiene que ir preparada para las frecuencias de bajos.

Visto esto pasamos a ver en profundidad los diseños realizados para este proyecto.