
Investigación e Innovación Educativa en Docencia Universitaria. Retos, Propuestas y Acciones

Edición de.

Rosabel Roig-Vila
Josefa Eugenia Blasco Mira
Asunción Lledó Carreres
Neus Pellín Buades

Prólogo de.

José Francisco Torres Alfosea
Vicerrector de Calidad e Innovación Educativa
Universidad de Alicante

Edición de:

Rosabel Roig-Vila
Josefa Eugenia Blasco Mira
Asunción Lledó Carreres
Neus Pellín Buades

© Del texto: los autores (2016)

© De esta edición:

Universidad de Alicante
Vicerrectorado de Calidad e Innovación educativa
Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) (2016)

ISBN: 978-84-617-5129-7

Revisión y maquetación: Neus Pellín Buades

Señales, sistemas y telecomunicación

M. Romá¹, J. D. Ballester¹, J. M. López¹, T. Martínez¹, J. Selva¹,
Y. Márquez¹, E. Martín¹, B. Pueo²

¹Grupo Señales, Sistemas y Telecomunicación. Universidad de Alicante

²Departamento de Didáctica General y Didácticas Específicas

RESUMEN

En ingeniería de telecomunicación los conceptos relacionados con teoría de la señal son uno de los pilares básicos. Si bien, la teoría no es excesivamente compleja, su asimilación no resulta sencilla. Los métodos empleados para el proceso de optimización de sistemas de refuerzo sonoro suponen una aplicación práctica directa de estos conceptos, con un impacto visual inmediato. Se pretende evaluar el impacto en el proceso de interiorización de los conceptos de teoría de la señal (principalmente respuesta al impulso y función de transferencia) de la aplicación de los procesos de análisis y optimización de sistemas de refuerzo sonoro.

Palabras clave: Aprendizaje activo, refuerzo sonoro, teoría de la señal.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

Dentro de los estudios de Ingeniería de Telecomunicación, en cualquiera de sus diferentes denominaciones ofertadas en forma de distintos títulos de grado (por nombrar algunos, grado en ingeniería en tecnologías de telecomunicación – UC3M, grado en ingeniería en sistemas de telecomunicación – UPM, grado en ingeniería en sonido e imagen en telecomunicación – UA, grado en ingeniería de sistemas audiovisuales – UPC,...), uno de los pilares sobre los que se desarrollan los aspectos más característicos de estos estudios es el relacionado con el estudio de señales y sistemas lineales. Dentro de este campo aparecen dos conceptos básicos conocidos como función de transferencia y respuesta al impulso que podrían considerarse como los conceptos básicos en estos estudios. Sin embargo, pese a su importancia, no son conceptos fáciles de asimilar, pues el aparato matemático sobre el que se sustentan se muestra como una barrera difícil de superar. La búsqueda de aplicaciones prácticas de estos conceptos, relacionadas con disciplinas que resulten atractivas para los estudiantes, permite afianzar la comprensión de estos conceptos y facilitan su extrapolación a otros campos.

1.2. Contexto docente

El trabajo presentado se inscribe principalmente en la asignatura Sistemas Audiovisuales Avanzados (SAA), asignatura obligatoria de cuarto curso, perteneciente a los estudios de Grado en Ingeniería en Sonido e Imagen en Telecomunicación, que se imparten en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante. En el transcurso de la asignatura aproximadamente la segunda mitad del cuatrimestre se dedica al estudio de conceptos y técnicas relacionadas con el tema del diseño y ajuste de sistemas de refuerzo sonoro, para el cual la medida de la función de transferencia y respuesta al impulso son herramientas básicas, y visualmente muy intuitivas.

1.3. Aspectos básicos de teoría de la señal

Obviamente no es objeto de este trabajo presentar en profundidad los conceptos de teoría de la señal, por lo que únicamente se intentará presentar los conceptos más importantes, así como la forma en que habitualmente se presentan a los estudiantes en los estudios de ingeniería de telecomunicación. Entre estos conceptos un punto básico es de **sistema LTI** (*linear time-invariant*, lineal e invariante en el tiempo). La linealidad significa que cumple con las propiedades de proporcionalidad y aditividad. La invarianza temporal se resume en que sus características no varían en función del tiempo. La forma de caracterizar los sistemas LTI es por medio de su **respuesta al impulso** o respuesta impulsiva que representa la salida de tal sistema cuando a su entrada se introduce un impulso. Complementariamente se utiliza la **función de transferencia** que caracteriza la relación compleja entre la entrada y la salida de tales sistemas. La relación entre la respuesta al impulso y la función de transferencia es la transformada de Fourier. Una de las referencias más empleadas como bibliografía básica es el libro de Bruce Carlson, en sus diferentes ediciones (figura 1.1).

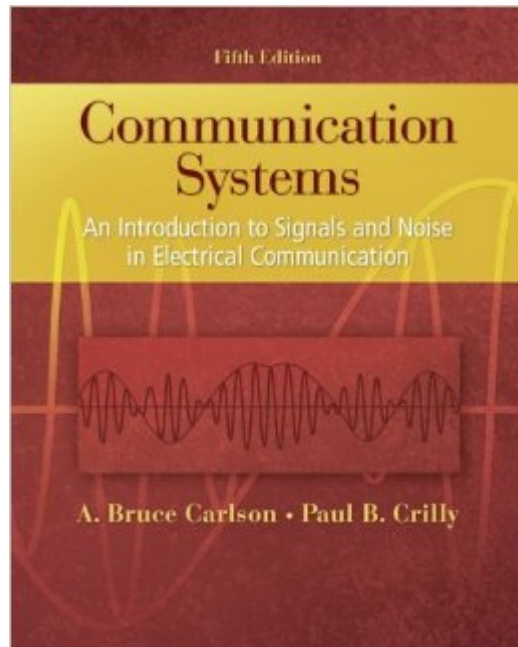


Figura 1.1. Portada del libro *Communication Systems*.

La secuencia que se emplea en el libro de Carlson para llegar a los conceptos de respuesta al impulso y función de transferencia (con el único objetivo de hacer patente la relativa complejidad conceptual) podría resumirse en (apartados originales de los capítulos 2 y 3):

Capítulo 2 (*Signals and Spectra*)

- *Line spectra and Fourier series*
- *Fourier transforms and continuous spectra*
- *Time and frequency relations*
- *Convolution*
- *Impulses and transforms in the limit*

Capítulo 3 (*Signal transmission and filtering*)

- *Response of LTI Systems*
- *Impulse response and the superposition integral*
- *Transfer functions and frequency response*
- *Block diagram analysis*

Las figuras 1.2 y 1.3 muestran parte de este proceso tal y como aparece en una de las ediciones del libro.

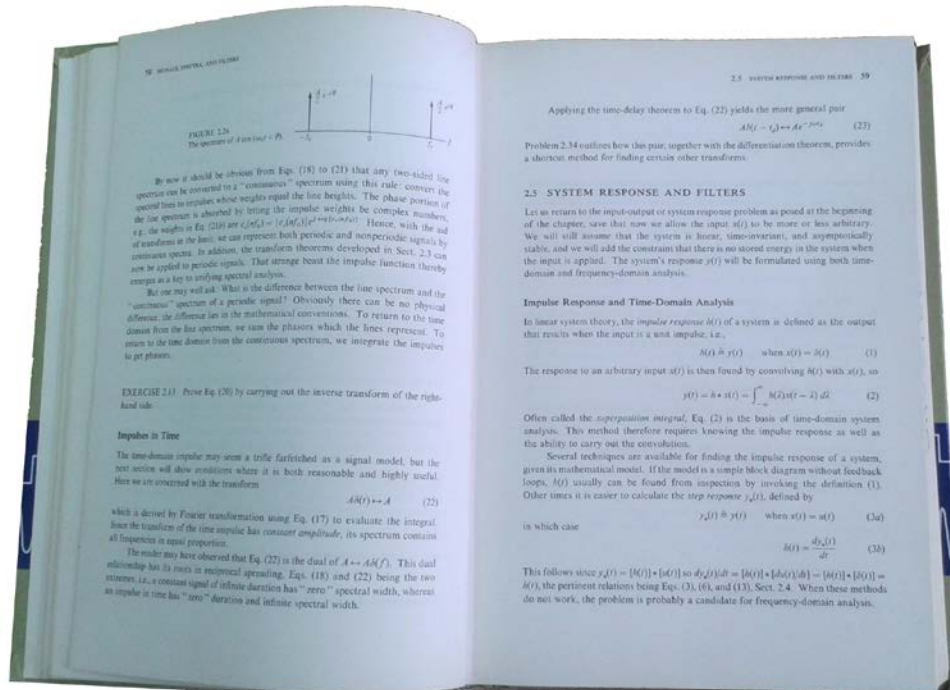


Figura 1.2. Aparición de la respuesta al impulso en la referencia de Carlson.

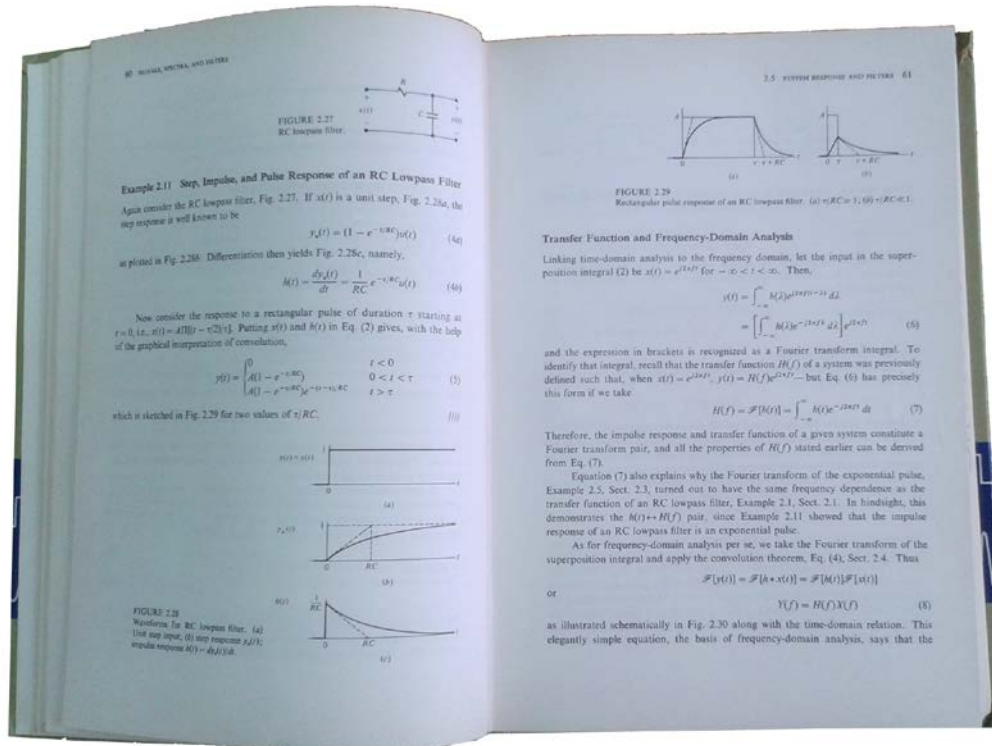


Figura 1.3. Aparición de la función de transferencia en la referencia de Carlson.

1.4. Aspectos básicos de refuerzo sonoro

El objetivo de un sistema de refuerzo sonoro es permitir que en toda el área de audiencia del recinto en que se instale, se consiga una recepción homogénea con suficiente volumen y fidelidad, que variarán en función del tipo de evento en que se esté trabajando.

En situaciones habituales, esta cobertura no se logra con el sistema principal, por lo que debe ser complementado con sistemas auxiliares que aumenten la cobertura. Este sistema estará dividido en diferentes subsistemas (figura 1.4) con los que se persigue cubrir aquellas zonas de audiencia en las que la señal del sistema principal no llega con suficiente nivel. Algunos de los subsistemas que pueden encontrarse son:

- Subsistema de altavoces medios-agudos: Se puede considerar como el subsistema principal, normalmente colocado a la izquierda y derecha del escenario, en perpendicular a este y que cubre la mayor parte de la audiencia.

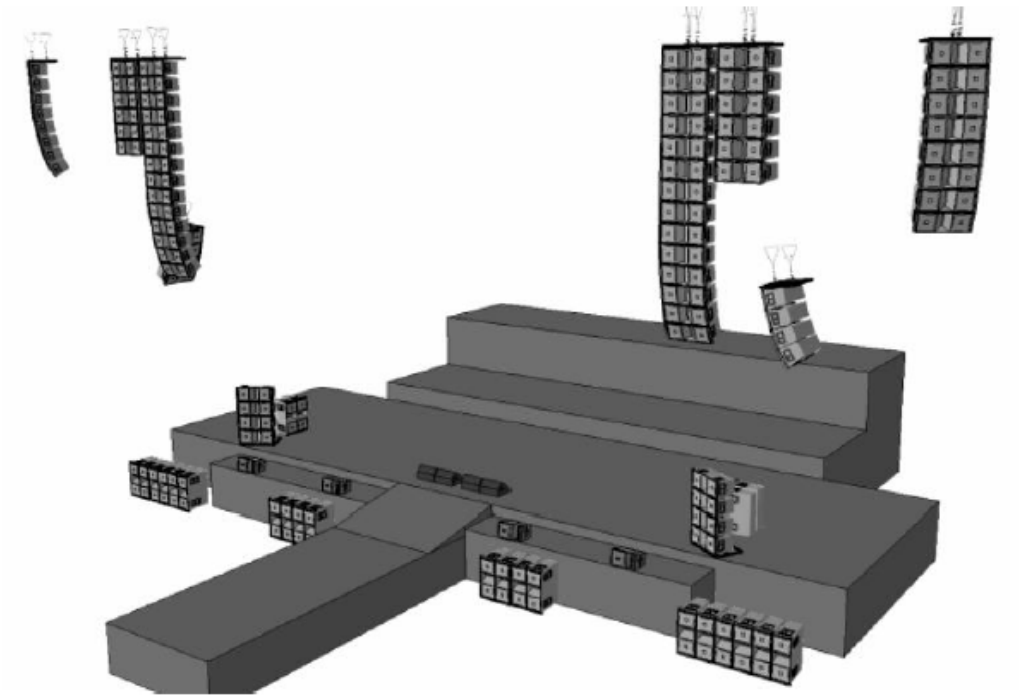


Figura 1.4.- Esquema de un sistema de refuerzo sonoro.

-Subsistema de altavoces sub-graves: Se usa como apoyo al subsistema principal en el rango de frecuencias bajas. Se colocan normalmente delante del escenario y cubre también la mayor parte de la audiencia.

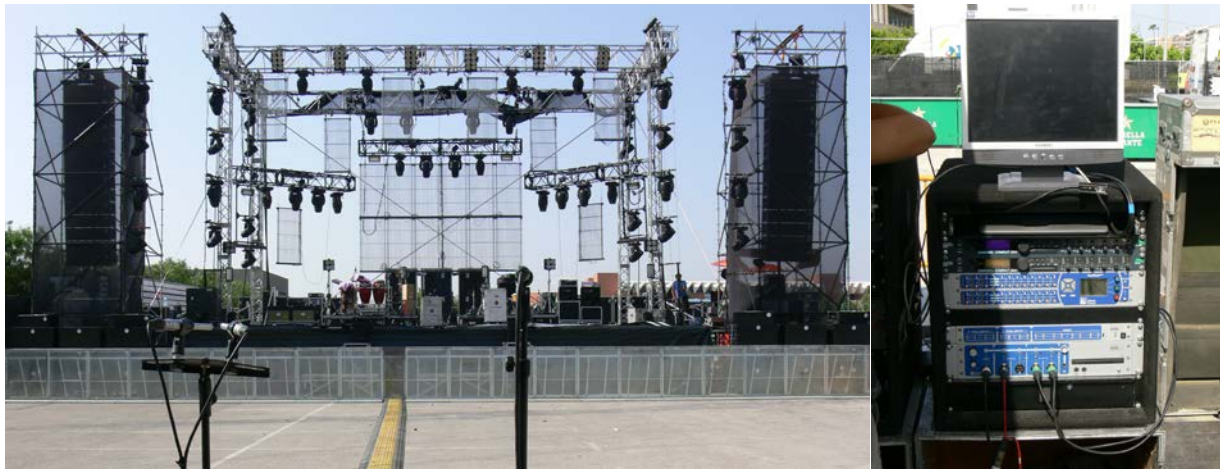


Figura 1.5.- Ajuste de un sistema de refuerzo sonoro (izquierda) y procesadores del sistema (derecha).

-Relleno frontal (Front-fill): Sistema dedicado a cubrir las primeras filas, puede ser colocado en forma de agrupación central o bien a lo largo de la boca del escenario.

-Relleno lateral (*Side-fill*): subsistema colocado dentro del escenario orientado hacia dentro de éste como sistema de monitorización para los músicos.

-Relleno exterior (*Out-fill*): Subsistema colocado en la parte exterior del sistema principal pero orientado hacia fuera. Cubre la zona a la que la cobertura horizontal del sistema principal no alcanza en las primeras filas muy laterales.

Debido al elevado número de elementos que componen un sistema de refuerzo, el proceso para conseguir que tales elementos interacciones de la forma necesaria para que se consiga una cobertura homogénea en todo el área de audiencia no es un proceso simple. Es necesario emplear herramientas específicas (cuya explicación excede las pretensiones de este informe) para medir la respuesta de cada subsistema de forma aislada, así como la interacción entre subsistemas, de forma que puedan realizarse las correcciones necesarias para cumplir con los objetivos del sistema diseñado (figura 1.5). El aspecto interesante del ajuste de sistemas de refuerzo sonoro es que mediante las herramientas de medida y análisis se utilizan con un análisis visual la respuesta al impulso y la función de transferencia como elementos básicos.

2.-METODOLOGÍA

La idea principal sobre la que se monta este proyecto es emplear el proceso de ajuste de un sistema real de refuerzo sonoro para afianzar la comprensión de los conceptos respuesta al impulso y función de transferencia, tanto desde el punto de vista de su amplitud como de su fase. Es, precisamente, el hecho de emplear la información de fase de la función de transferencia uno de los puntos fuertes de esta aproximación, puesto que permite hacer tangible y necesario el trabajo con magnitudes complejas. Con este fin se realizan medidas de diversos casos representativos de forma que su ajuste precise del uso de los conceptos estudiados para su correcto funcionamiento. Una vez realizadas las pruebas necesarias se obtendrá, por medio de un cuestionario, una primera idea del impacto de estos procesos en la comprensión de los conceptos bajo estudio, para analizar su idoneidad para la finalidad planteada, así como la conveniencia de realizar este tipo de trabajo de forma más formal.

2.1. Diseño del sistema real

Para la realización del proyecto se montó un sistema compuesto por tres subsistemas (figura 2.1):

- Sistema principal
- Sistema de sub-graves en configuración de *stack invertido*.
- Sistema de relleno frontal (*front-fill*).



Figura 2.1. Imagen del sistema montado para la toma de medidas y posterior ajuste.

2.2. Medidas a realizar

El sistema precisará de una serie de ajustes (recogidos en la tabla 2.1) para cuya realización se emplean tanto los conceptos de respuesta al impulso como de función de transferencia. Adicionalmente, el sistema, empleando la misma base (sistema montado y medidas realizadas), permite también incluir la profundización en conceptos relacionados con el diseño de filtros de diversa topología y orden, así como los conocidos como filtros paso todo (APF, *all pass filter*)

Tabla 1. Ajustes a realizar y relación con conceptos empleados

Ajuste	Respuesta al impulso	Función de transferencia
Sub cardiode	X	X
Principal - sub		X
Principal - front	X	X

3. RESULTADOS

En este apartado se muestran las medidas obtenidas y su relación con los conceptos bajo estudio. En los subapartados siguientes se muestran algunos de los resultados junto con una breve explicación de su relevancia en el proceso de ajuste del sistema de refuerzo sonoro. Finalmente se incluyen las valoraciones provisionales del impacto en el proceso de aprendizaje del uso de los procesos de ajuste.

3.1. Relación entre el sistema estudiado y su respuesta al impulso

Una de las primeras conclusiones que puede obtenerse es la relación entre las características del sistema LTI estudiado y su respuesta al impulso. Como ejemplo, las figuras 3.1 y 3.2 muestran las respuestas al impulso de un altavoz de gama completa y de un altavoz de graves respectivamente. La velocidad con que responde el sistema, así como la relación entre la amplitud de la respuesta y su duración puede verse de forma clara en estos dos casos.



Figura 3.1. Respuesta al impulso de un altavoz de rango completo.

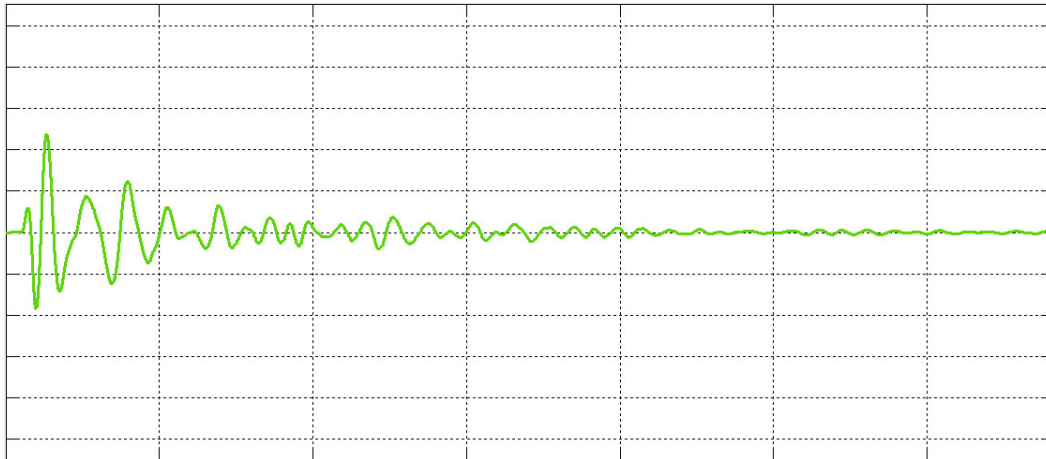


Figura 3.2. Respuesta al impulso de un altavoz de baja frecuencia (sub grave).

3.2. Ajustes por medio de las lecturas de la función de transferencia

Un número relativamente elevado de pasos del proceso de ajuste de un sistema de refuerzo sonoro se basa en la información que proporciona la función de transferencia de los subsistemas ajustados. En las figuras 3.3 y 3.4 se muestran las funciones de transferencias de los subsistemas principal y de graves antes y después del proceso de ajuste. La lectura de amplitud del sistema no ajustado (figura 3.3) permite identificar la frecuencia su frecuencia de corte (zona de corte de las curvas en la figura superior), y puede verse claramente la diferencia en las curvas fase para esa zona.

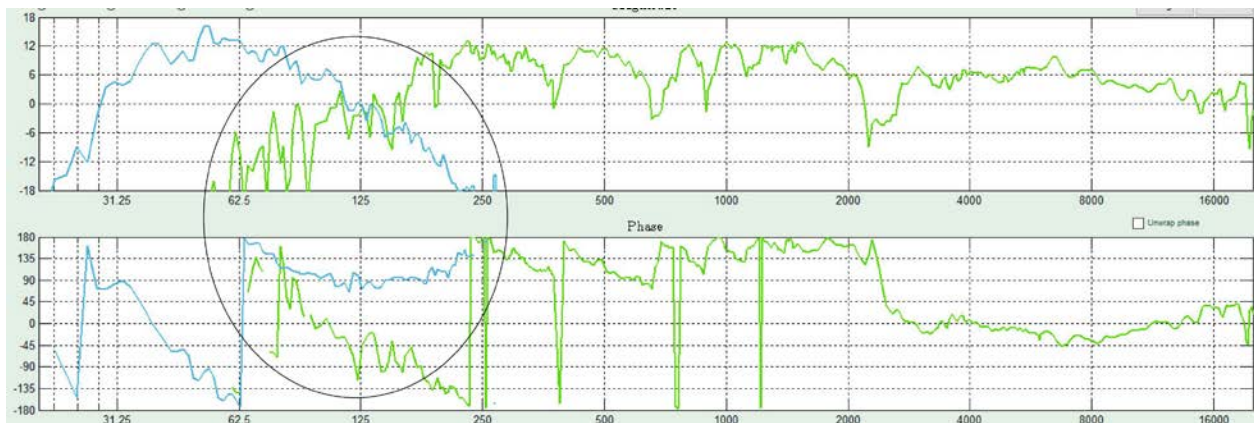


Figura 3.3. Función de transferencia de un sistema principal (verde) y de un sistema de graves (azul). Se marca la zona de la frecuencia de cruce y el desajuste en las curvas de fase.

El objetivo del ajuste es conseguir la máxima coincidencia en las curvas de fase para el margen de frecuencia más extenso posible en torno a la frecuencia de cruce (figura 3.4).

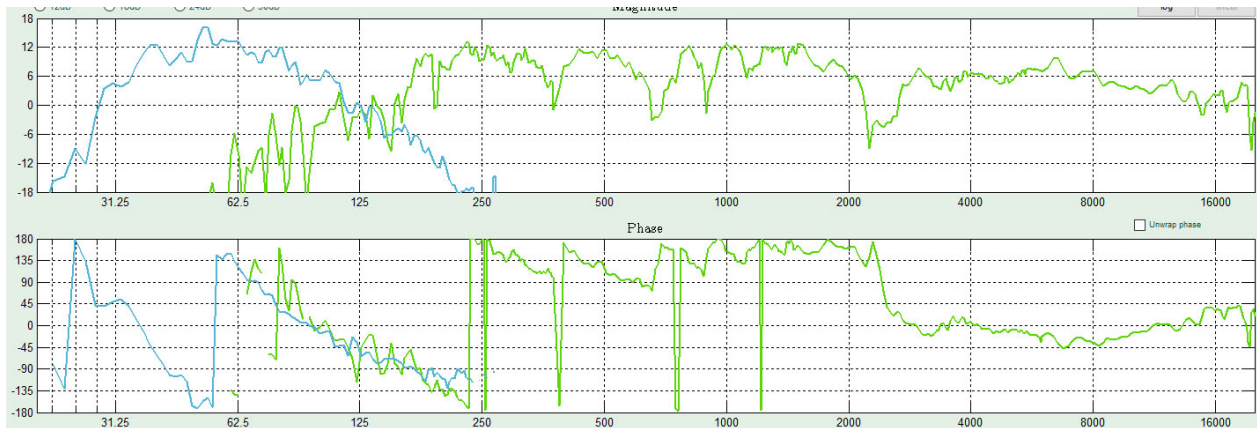


Figura 3.4. Sistemas principal y sub ajustados en la zona de la frecuencia de cruce.

3.3. Ajustes por medio de las lecturas de la respuesta al impulso

Cuando se pretende ajustar entre sí sistemas muy alejados físicamente, un primer ajuste para igualar el tiempo total de propagación desde los dos sistemas hasta el receptor se basa en estudiar la respuesta al impulso de ambos sistemas y, de este modo, determinar la diferencia de tiempo de propagación que deberá ser compensada electrónicamente mediante los procesadores adecuados. La figura 3.5 muestra la respuesta al impulso de los sistemas principal y de relleno frontal antes de ser ajustados. La figura 3.6 muestra las mismas respuestas tras el proceso de alineamiento temporal entre ambos.

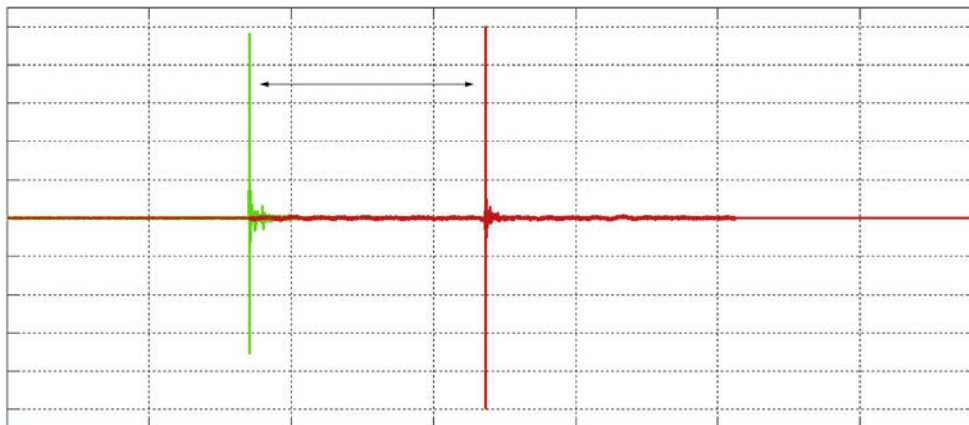


Figura 3.5. Respuesta al impulso del sistema principal (verde) y de relleno frontal (rojo) antes del ajuste temporal.



Figura 3.6. Respuesta al impulso del sistema principal (verde) y de relleno frontal (rojo) alineados.

3.4. Otras aplicaciones de la función de transferencia

En el momento de emplear dos sistemas de radiación en banda completa, el ajuste, además del alineamiento temporal, supone igualar al máximo la respuesta de la fase de ambos sistemas. En este proceso, de nuevo, la información que proporciona la función de transferencia, especialmente la curva de fase, permite entender la utilidad de los llamados filtros AP (paso todo, *all pass filters*) puesto que modifican únicamente la fase del sistema en que se aplican, sin modificar su amplitud. La modificación depende de dos parámetros, orden del filtro y su frecuencia de corte. Las figuras 3.7 y 3.8 muestran ejemplos de aplicación de un APF de segundo orden para igualar las respuestas de fase de dos altavoces de gama completa.

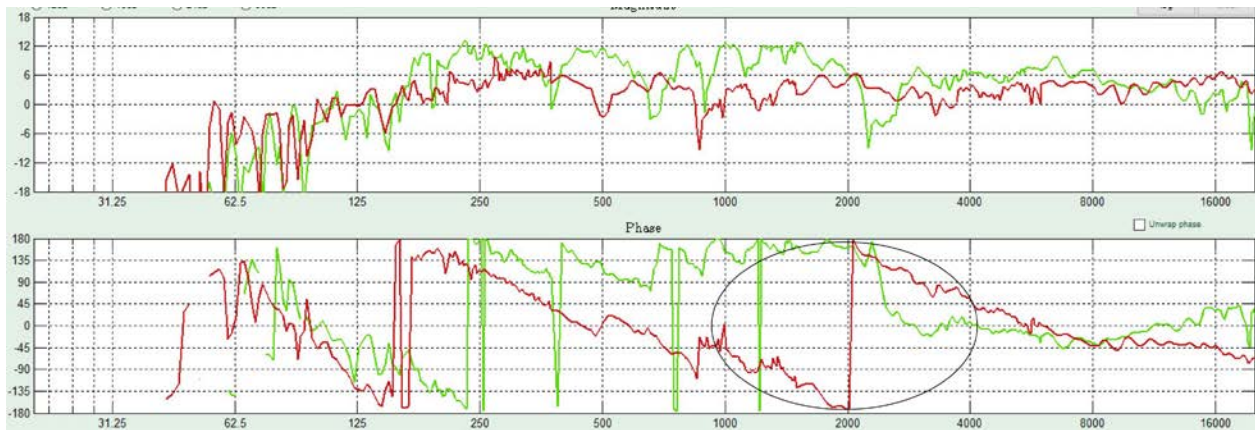


Figura 3.7. Función de transferencia de dos sistemas de banda completa (remarcada la diferencia en las curvas de fase de ambos).

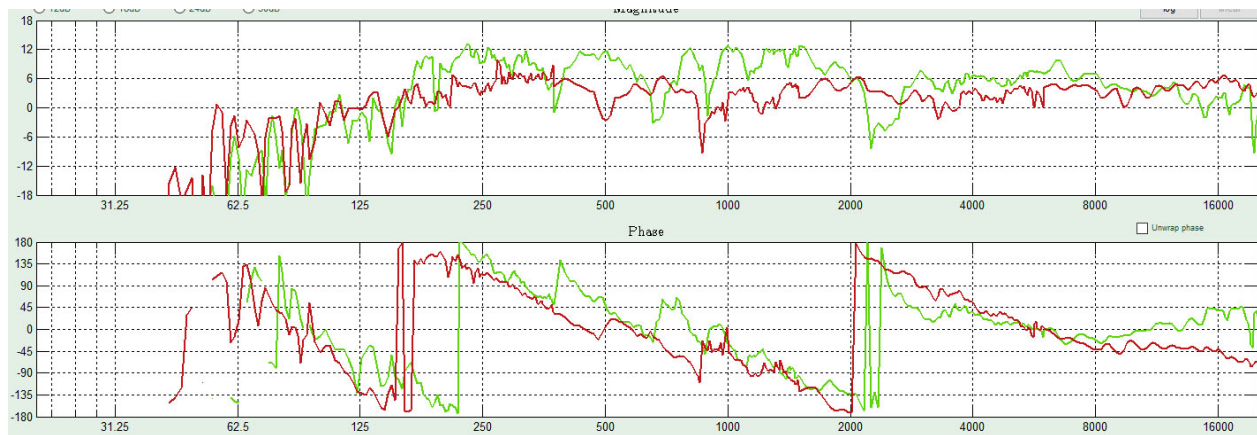


Figura 3.8. Función de transferencia de dos sistemas de banda completa tras aplicar un APF de segundo orden al sistema representado en verde (nótese como las amplitudes no se modifican).

Además, por medio de la función de transferencia es posible profundizar en la comprensión de los filtros y sus diferencias en base a la topología y orden de los mismos. En la figura 3.9 se muestran las respuestas de filtros paso bajo y paso alto de distinto orden y topología.

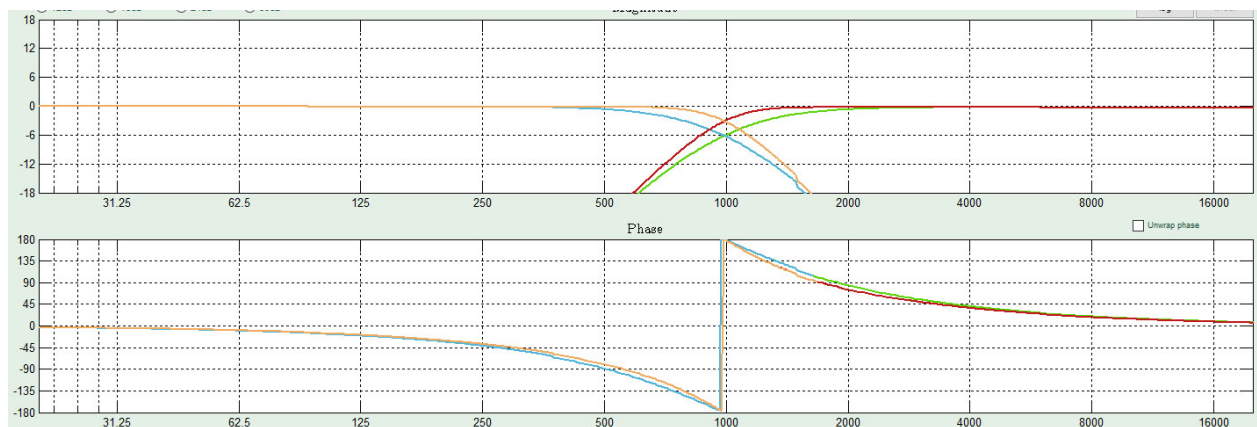


Figura 3.9. Función de transferencia de filtros de distinta topología y orden.

3.5. Resultados en el proceso de aprendizaje

Puesto que el presente trabajo se centra en explorar las posibilidades de los procesos empleados en el ajuste de sistemas de refuerzo sonoro como herramienta para facilitar la comprensión de los conceptos de función de transferencia y respuesta al impulso, no se ha realizado un estudio en profundidad del impacto producido. Sin embargo, para tener una primera valoración sí se ha realizado un breve cuestionario para conocer las primeras impresiones de los

estudiantes a este respecto. Las preguntas en el cuestionario están divididas en dos bloques, intentando recoger una idea general acerca de la sensación que los estudiantes tienen acerca de la comprensión y la utilidad de los conceptos estudiados antes y después de haber realizado las tareas de ajuste de sistemas de refuerzo en las que se emplean estos conceptos, valorando en una escala de 0 a 4, donde 0 significa total desconocimiento, 1 conocimiento bajo, 2 conocimiento medio, 3 bastante conocimiento y 4 total conocimiento.

La figura 3.10 muestra los valores medios obtenidos de los cuestionarios, en la que se representan las medias de la sensación que los estudiantes tienen de comprender los conceptos de función de transferencia (TF) y respuesta al impulso (IR) y conocer su utilidad antes y después de realizar las actividades de ajuste de sistemas propuestas. Puesto que es un estudio provisional no se ha profundizado en averiguar si estas sensaciones se encuentran correlacionadas con el conocimiento real, puesto que únicamente se pretende tener una valoración general.

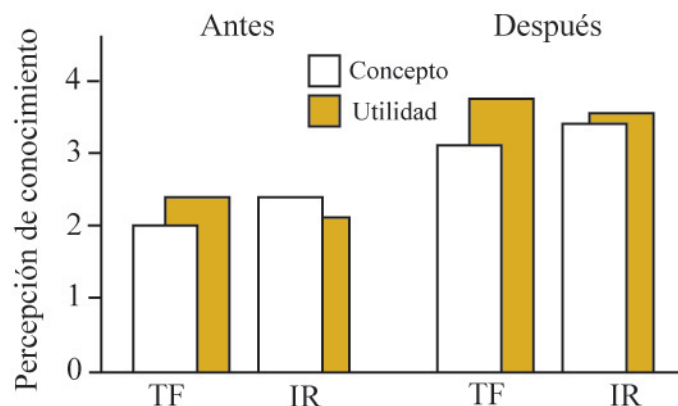


Figura 3.10. Valores medios del resultado del cuestionario antes y después de realizar las actividades.

Un vistazo rápido de los datos permite ser optimistas, puesto que la sensación general de los estudiantes es que los conceptos y, especialmente su utilidad práctica, son más conocidos después de realizar las tareas que se les proponen.

4. CONCLUSIONES

Existen conceptos de gran relevancia en los estudios de ingeniería de telecomunicación (en todas las variantes de títulos de grado relacionados) cuya complejidad matemática supone un obstáculo para que sean comprendidos en la profundidad necesaria.

La unión de los conceptos con campos de aplicación hacia los que los estudiantes presentan alto grado de interés permite generar, de forma natural, un espacio en el que profundizar en la asimilación de conceptos complejos.

Las pruebas preliminares apuntan a que la realización de tareas de ajuste de sistemas reales de refuerzo sonoro, altamente atractivas para la mayoría de estudiantes de grados relacionados con tecnología audiovisual, ofrece un entorno que permite profundizar de forma rápida en la asimilación de los conceptos de respuesta al impulso y función de transferencia (analizada tanto en términos de su amplitud como de su fase).

5. DIFICULTADES ENCONTRADAS

La principal dificultad encontrada en la realización del presente trabajo se relaciona con la implementación de la parte práctica, puesto que la realización de los trabajos de ajuste en un entorno convencional (grupos de prácticas estándar), contando con un único sistema es complicada. No obstante, parte de las tareas pueden realizarse virtualmente empleando software específico.

6. PROPUESTAS DE MEJORA

El trabajo presentado es un estudio inicial, por lo que todavía hay que sistematizar más el estudio, especialmente para el análisis del impacto en el proceso de aprendizaje.

7. PREVISIÓN DE CONTINUIDAD

Los pasos principales que deberán darse para continuar con el estudio son la sistematización de toma de datos para analizar en profundidad el impacto en el proceso de aprendizaje y el diseño formal de las actividades a realizar por los estudiantes intentando maximizar el tiempo de trabajo directamente sobre los equipos, pues es lo que con más interés se realiza.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Davis, G., Jones, R., (1990): The sound reinforcement handbook, HalLeonard.

Davis D., Patronis. E., (2006): Sound Systems Engineering, Focal Press.

Carlson, A. B., (1968): Communication Systems. An introduction to signals and noise in electrical communication, McGraw-Hill.

Ferrer, P. (2011): «Polaridad vs. fase» en Configuración, diseño y optimización de sistemas, <<http://pepeferrersonido.blogspot.com.es/2011/03/polaridad-vs-fase.html>>, [consulta realizada el 20/03/2015].

La Roda, J. (2009): Ajuste de fases entre subgraves y unidades de medios-agudos, pdf, <http://www.doctorproaudio.com/doctor/cajondesastre/pdfs/Bajado_de_DoctorProAudio_com-Ajuste_de_fase-Joan_La_Roda-DAS_Audio.pdf>, [consulta realizada el 17/04/2015].

Mc Carthy, B. (2009): Sistemas de Sonido: Diseño y optimización: Técnicas y herramientas modernas para el diseño y alineación de sistemas de sonido, Alvalena.

Digón, A., Ferrer, P., (2014): Configuración y ajustes de Sistemas de sonido: Curso práctico, Altaria