

CARACTERIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE TV (SMATV) EN ICT MEDIANTE PARÁMETROS "S"

CARLOS CORTÉS ALCALÁ¹, DAVID FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ¹, VIRGINIA GALISTEO LÓPEZ¹, CÉSAR BRISO RODRÍGUEZ¹.

¹*Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones. Escuela de Ingeniería Técnica de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid.*

España.

carlos.cortes@upm.es

Abstract- This paper shows a method for SMATV networks characterization witch it is possible to make a prediction about their behavior in all bandwidth. This method is based on the network simulation starting from the measurement and getting of S parameters of the specific devices of the mechanisms that integrate it. Simulations had been contrasts with measures of a real network showing great result and similar response. This method can be also use for teaching about these networks in depth.

1. Introducción

En la presente ponencia se presenta el trabajo realizado en la E.U.I.T. de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid que tiene como objeto el estudio detallado del comportamiento de las redes de distribución de señal de televisión (SMATV). Para el estudio se tendrá en cuenta la normativa de Infraestructuras Comunes de Telecomunicación (ICT) vigente en España [1] que determina las características y la topología de este tipo de redes en edificios. No obstante, los procedimientos mostrados tienen validez para cualquier otro tipo de topología sean o no conformes a dicha normativa.

La idea inicial del trabajo era conocer de forma detallada el comportamiento en frecuencia real de una red de distribución y establecer un procedimiento que pudiera permitir una predicción más o menos precisa de su funcionamiento. En la práctica una red de este tipo consta de dos puertos de entrada (según la topología ICT) pero puede llegar tener un elevado número de puertos de salida y todo ello en un ancho de banda de unos 2 GHz por lo tanto, un análisis riguroso es de elevada complejidad y requiere ineludiblemente la asistencia de un sistema CAD.

En primer lugar se realizará una reflexión sobre los procedimientos de cálculo que se emplean en entornos profesionales para el diseño de estas redes. A continuación se desarrollará el procedimiento propuesto que parte de la captura de los datos de los dispositivos, continuando entonces con su análisis y adecuación. Una vez expuestos estos puntos se mostrarán los resultados de las simulaciones realizadas para una red SMATV concreta y se compararán con las medidas realizadas sobre una red real análoga.

Por último se describirá de forma sucinta la propuesta de una novedosa asignatura basada en el presente trabajo y cuyo objetivo no se quedaría en el diseño de redes SMATV sino que en un paso más allá, permitiría un conocimiento profundo de los métodos de descripción, parámetros e interpretación de medidas del comportamiento real de una red ICT.

2. Procedimientos de cálculo convencionales

En la actualidad los cálculos realizados en los proyectos de ICT emplean los datos proporcionados por los fabricantes de dispositivos y cables coaxiales. La información disponible de los dispositivos es poco detallada respecto a su comportamiento y en la mayoría de los casos muestra una respuesta uniforme en frecuencia, de forma que, conforme a estos datos se debería suponer una atenuación constante y un valor ideal de adaptación de impedancia.

En la práctica, el análisis y la previsión del comportamiento de una red de distribución se realiza simplemente sumando las atenuaciones de los dispositivos conectados en cascada añadiendo la atenuación de cada tramo de cable coaxial empleado para la interconexión. De este modo la respuesta calculada presume una situación idealizada que no tiene en cuenta los efectos de las desadaptaciones ni el comportamiento real de los dispositivos. No obstante, este procedimiento simplificado de cálculo consigue una previsión razonable de los niveles de señal, que en función de la atenuación calculada deben existir en la instalación para cumplir los niveles exigidos por la norma. Esta situación queda claramente expuesta en la Figura 1 en la que se muestra la respuesta calculada conforme a este método y la respuesta real medida en la instalación física (se representa pues la función de transferencia de la red entre su entrada y una de las salidas correspondientes a una vivienda de la planta 4ª). Como puede observarse la respuesta real es sensiblemente diferente a la calculada pero la diferencia encontrada entre ambas se encuentra en torno a 4 ó 5 decibelios. En la Figura 2 se presentan los resultados análogos correspondientes a la planta 3ª; en este caso ambas respuestas presentan un resultado más cercano.

Si bien este método es el utilizado en la práctica diaria de los Ingenieros Proyectistas, y siendo un método razonablemente eficaz para el diseño de este tipo de redes, es tan solo un método aproximado. En primer lugar la validez de estos cálculos está supeditada a la "calidad" de la adaptación de impedancias de todos los dispositivos en toda la red. Si algún punto de la red o a alguna frecuencia la adaptación se aleja de la ideal, los cálculos basados en la suma de las atenuaciones de dispositivos dejan de ser válidos. Pero si la adaptación se cumple dentro de unos márgenes razonables (situación que en la práctica suele darse), los resultados numéricos no serán rigurosamente ciertos pero pueden considerarse válidos a efectos de la realización del proyecto.

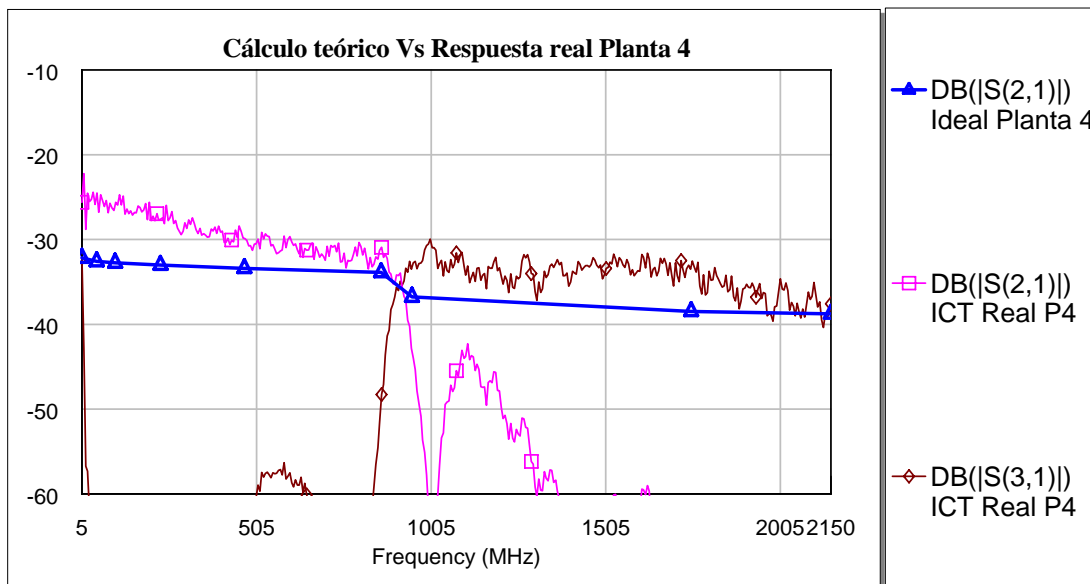


Figura 1. Función de transferencia teórica.

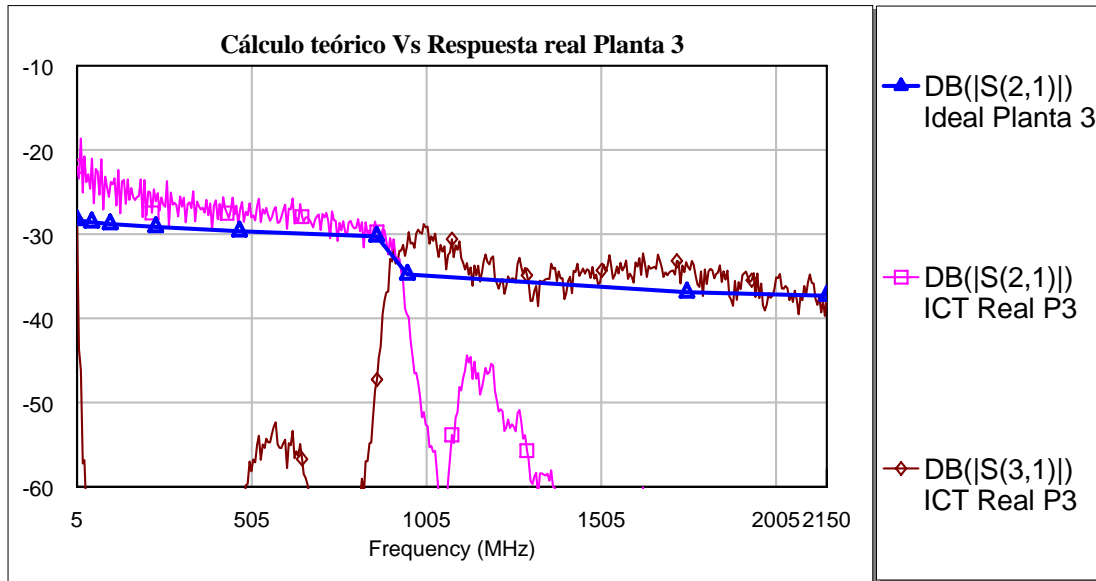


Figura2. Función de transferencia teórica.

En segundo lugar, dado que se parte de la suposición de una respuesta plana y una impedancia constante en todo el margen de frecuencia, la validez del procedimiento de cálculo queda condicionada a que el comportamiento de los dispositivos sea lo más plano posible en su atenuación y uniforme en su impedancia. Hay que indicar que en ocasiones, los fabricantes proporcionan la atenuación de los dispositivos diferenciada en cada una de las bandas de trabajo (5 a 860 MHz y 950 a 2150 MHz) por lo que caso de emplearse estos datos para los cálculos se trabaja con un margen de error más contenido.

A pesar de ser este método el usado en la práctica para la realización de Proyectos, es un método carente de rigor y en ningún caso describe de una forma precisa la respuesta real de la red diseñada. Como se ha indicado, es un método práctico que resuelve de forma sencilla el problema de determinación de los niveles de señal necesarios.

Desde el punto de vista académico este procedimiento no aporta recursos didácticos por carecer de posibilidades para el estudio de la respuesta real de la red. Por una parte no permite el estudio de la adaptación real de la red en términos de pérdidas de retorno, ROE, coeficientes de reflexión o impedancias vistas en cada punto de la red y por otra no describe la atenuación real desde cualquier punto a cualquier otro de la red.

La propuesta que se realiza en este trabajo parte de conseguir una descripción detallada de cada dispositivo en términos de impedancias y atenuaciones. Es habitual en estas instalaciones el uso de dispositivos dos y más puertas (en concreto conforme a la normativa ICT se contemplan de hasta 10), por lo tanto se busca conocer el comportamiento para todas sus puertas de forma que queden descritas las características de transferencia entre puerta de entrada y salidas y también las características de aislamiento entre las puertas entre las que no debería haber transferencia de señal.

En función de estos objetivos se planteó el uso de los parámetros S para la caracterización de los elementos, buscando disponer de una matriz de parámetros por cada dispositivo empleado. Estos datos no son accesibles a través de la información proporcionada por los fabricantes por lo que se deben obtener mediante medidas en laboratorio. El procedimiento de medida culmina con la obtención de un fichero ASCII en formato Touchstone que permite importarlo en un gran número de programas de simulación de circuitos de microondas. Esto permitirá realizar una red cualquiera y estudiar su comportamiento.

3. Obtención de los parámetros S

Como se ha indicado el primer paso es la caracterización del comportamiento de los elementos de la red mediante parámetros S. Para ello se debe emplear un analizador vectorial de redes con el objetivo final de almacenar los datos correspondiente en ficheros Touchstone.

El proceso presenta diversas dificultades, como son los procedimientos de calibración del analizador, las distintas interconexiones y medidas a realizar en función del número de puertos del dispositivo y por último el volcado de todas las medidas para todo el ancho de banda a formato electrónico. Por estas dificultades es necesario establecer un procedimiento sistemático que permita la realización de medidas minimizando las posibilidades de error. Para ello se ha desarrollado una aplicación propia con la vista puesta en los objetivos y dificultades señaladas (Figura 3).

Otra dificultad añadida es que existen dispositivos con distintas características de interconexión, es decir con distintos conectores o incluso con técnicas de interconexión mediante bridas o presillas para los conductores. Desde el punto de vista de medida, esto exige que una vez resuelta la interconexión con el analizador, éste sea calibrado para determinar con precisión pérdidas y planos de referencia de fase. De esta forma se desestima el efecto de los adaptadores, conectores o cualquier otro elemento usado para la conexión de modo que la medida refleje exclusivamente el comportamiento del dispositivo.

Por otra parte, dado que existen dispositivos con distinto número de puertos (desde 2 hasta 10) y que el analizador empleado solo es capaz de realizar medidas de transmisión entre 2 puertos cada vez y de reflexión en 1 de ellas, es necesario para un mismo dispositivo ir cambiando las interconexiones hasta completar todas las posibilidades.

De esta forma se obtiene la caracterización completa en términos de transmisión entre todas las puertos y en términos de coeficientes de reflexión para cada una de ellas. El procedimiento puede ser largo y cualquier error en la interconexión puede llevar a un error grave en la descripción del comportamiento. Para evitar descuidos la aplicación desarrollada guía a la persona que realiza la medida paso a paso, indicando como debe ir cambiando las conexiones hasta completar la medida.



Figura 3. Pantalla del programa de captura de parámetros S.

Por último, el problema reside en volcar todos los datos a formato electrónico. Por este motivo resulta imprescindible el uso de una aplicación de medida en el propio analizador. De hecho si no se hiciera mediante esta herramienta u otra similar, las medidas realizadas entre cada cambio de interconexión se perderían y sería inviable disponer de ellas en un solo fichero.

Por lo tanto, el programa retiene todos los datos y los escribe en un fichero en formato Touchstone con una sintaxis adecuada en función del número de puertos. Por dar una cifra, para una medida de un dispositivo de 10 puertos en el ancho de banda correspondiente entre 5 y 2150 MHz, y usando 401 muestras, se genera una matriz de parámetros S para cada muestra de 1024 parámetros complejos. Es decir un fichero de parámetros de este tipo (*.s10p) contendría 419840 parámetros S complejos que caracterizarían de forma precisa su comportamiento.

4. Medidas de dispositivos. Resultados

Una vez establecido un método de captura y medida de los dispositivos se puede disponer en formato electrónico de los ficheros correspondientes. Esto permite el análisis detallado del comportamiento de estos elementos que son los que conformarán una instalación de distribución de señal de televisión.

Para ello es necesario emplear un programa capaz de leer los datos de los ficheros de parámetros S y representarlos en distintos formatos gráficos. Una posibilidad es usar programas creados al efecto en cualquier entorno de programación (Matlab por ejemplo) o bien el uso de algún programa comercial específico de simulación de circuitos que sea capaz de leer ficheros en formato Touchstone, como Microwave Office u otro similar.

En el entorno del presente trabajo se realizaron ambas opciones, inicialmente se ha realizado un programa en Matlab con un doble objetivo. Por una parte el indicado, el de permitir la lectura de datos y su posterior representación gráfica, pudiendo seleccionar los distintos parámetros S del dispositivo así como el formato de visualización (parte real o imaginaria, módulo, fase y formato lineal o logarítmico, lo que da lugar a la representación de magnitudes como coeficientes de reflexión, pérdidas de retorno o atenuación).

Por otra parte el programa realizado es capaz de recalcular los parámetros S para cualquier nuevo valor de impedancia de referencia y representar los datos o bien generar un nuevo fichero de salida con el nuevo valor de impedancia. Este extremo permite realizar el proceso de medida con el analizador de redes con cualquier valor de impedancia y kit de calibración (habitualmente de 50Ω) para posteriormente generar parámetros S con la impedancia de referencia correspondiente a estas redes (75Ω).

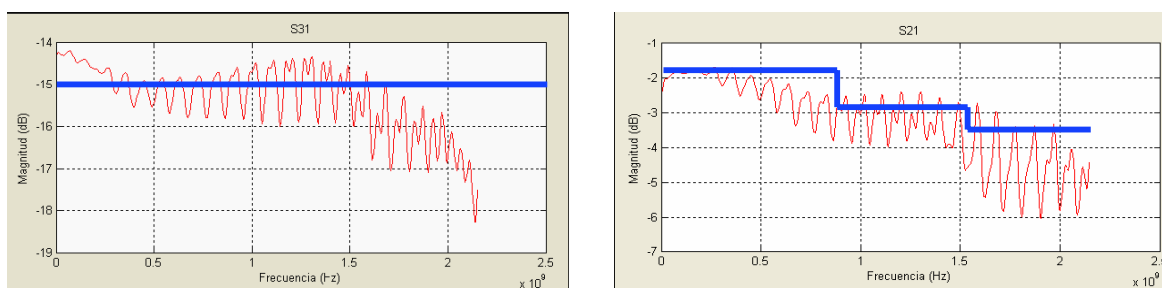


Figura 4. Comportamiento medido de un derivador de 4 salidas.

A efectos de simulación no existe ningún inconveniente en trabajar con los ficheros definidos para una impedancia de 50Ω a pesar de no ser la correspondiente al sistema. Simplemente habría que cargar todos los puertos con la propia, es decir 75Ω , y calcular las medidas; atenuaciones, adaptaciones... Los valores obtenidos serían perfectamente válidos. La ventaja de disponer de parámetros S referenciados a una impedancia igual a la del sistema es que al analizar los parámetros definidos de esta forma se obtiene una interpretación directa del funcionamiento del dispositivo en un sistema de dicha impedancia. De este modo si analizamos por ejemplo cualquier parámetro S_{ii} obtendremos información directa del coeficiente de reflexión en la puerta i cuando el dispositivo esta funcionando en un sistema de impedancia igual a la de referencia. Y de forma análoga para un coeficiente tipo S_{ij} , la información obtenida proporciona el coeficiente complejo de transmisión entre la puerta j y la i . (tomando $20\log |S_{ii}|$ obtendríamos la pérdidas de retorno y mediante $20\log |S_{ij}|$ directamente la atenuación).

Tal y como se apuntó en la introducción, los datos manejados sobre los dispositivos en la realización de proyectos de redes de distribución así como los proporcionados por los fabricantes son simplificados, no detallando la respuesta en frecuencia. Sin embargo siguiendo los pasos del procedimiento propuesto se puede profundizar en el comportamiento real con la ventaja añadida de que una vez disponibles los ficheros correspondientes puede realizarse el estudio sin la necesidad de la presencia de los dispositivos e incluso sin la necesidad de un costoso analizador vectorial de redes.

En la Figura 4 se muestra, a modo de ejemplo la respuesta medida de un derivador real de cuatro salidas. Un elemento de este tipo dispone de 4+1 salidas, cuatro de ellas se denominan salidas en derivación que son las empleadas para dejar señal en una planta de un edificio y la quinta se la conoce como salida en prolongación que continuará llevando señal al resto de la instalación. En concreto según los datos del fabricante, para las 4 salidas en derivación se especifican unas atenuaciones de 15 dB; esto supondría una respuesta plana lo que no se ajusta a la realidad (ver gráfica S_{31}). Para la salida en prolongación los datos proporcionados indican una atenuación $\leq 1,9$ dB de 5 a 862 MHz, $\leq 2,8$ dB de 950 a 1550 MHz y $\leq 3,5$ dB de 1551 a 2300 MHz (ver gráfica S_{21}).

5. Simulación y medida de una red de distribución

En último lugar y una vez obtenidos datos acerca del comportamiento real de los distintos elementos que conforman una red de distribución, es proceder a la simulación de una red completa. Con este objetivo se puede utilizar algún programa comercial de diseño de circuitos de microondas que habitualmente son capaces de manejar ficheros en formato Touchstone y realizar cálculos con los parámetros S que contienen.

En el presente trabajo se ha utilizado el Microwave Office y sobre este programa se ha realizado el diseño completo de una red concreta cuya topología se corresponde con una instalación real existente en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid (Figura 5). El objetivo es simular una red concreta realizada mediante unos dispositivos concretos y poder comparar los resultados con una instalación real realizada con esos mismos elementos. De este modo se puede comparar y validar en su caso el método propuesto. La simulación desarrolla la red correspondiente a un edificio de 4 plantas, con cuatro viviendas por planta y tres tomas finales en cada vivienda. La topología es conforme a la normativa ICT.

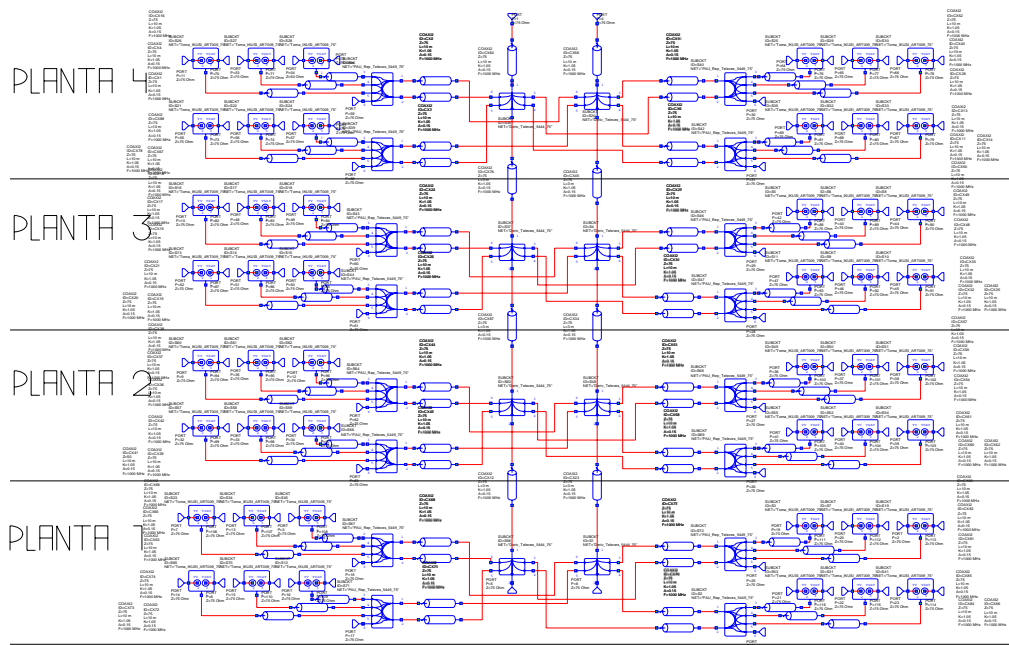


Figura 5. Esquema de la red simulada

Los resultados de la simulación de la red han sido contrastados con medidas reales mediante un analizador vectorial de redes sobre la instalación ubicada en la E.U.I.T.T. de la UPM indicada anteriormente. En la Figura 6 se muestra la atenuación para una salida de TV terrenal de la planta tercera, en la que puede observarse la respuesta correspondiente a la simulación hasta la tercera planta (ICT) y la medida capturada sobre la instalación física en esa misma planta (Respuesta_ICT_Cabecera_Toma_P3).

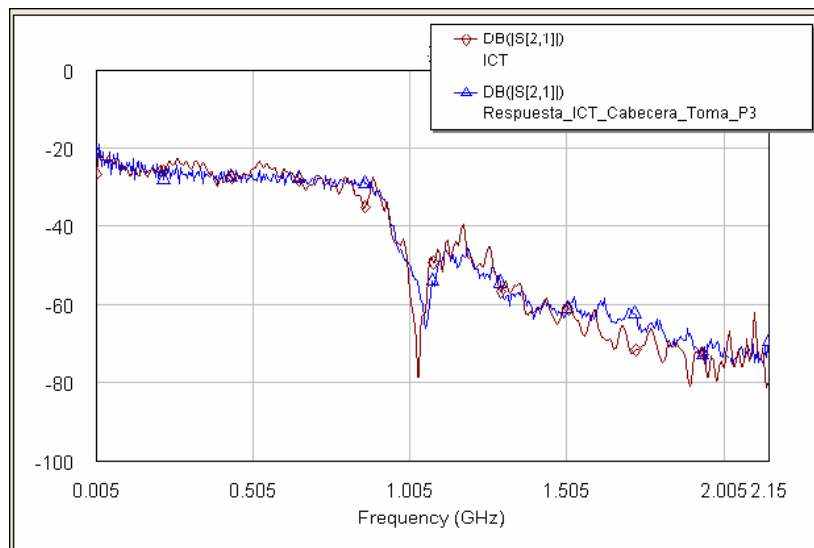


Figura 6. Respuesta de la red. Salida TV terrenal.

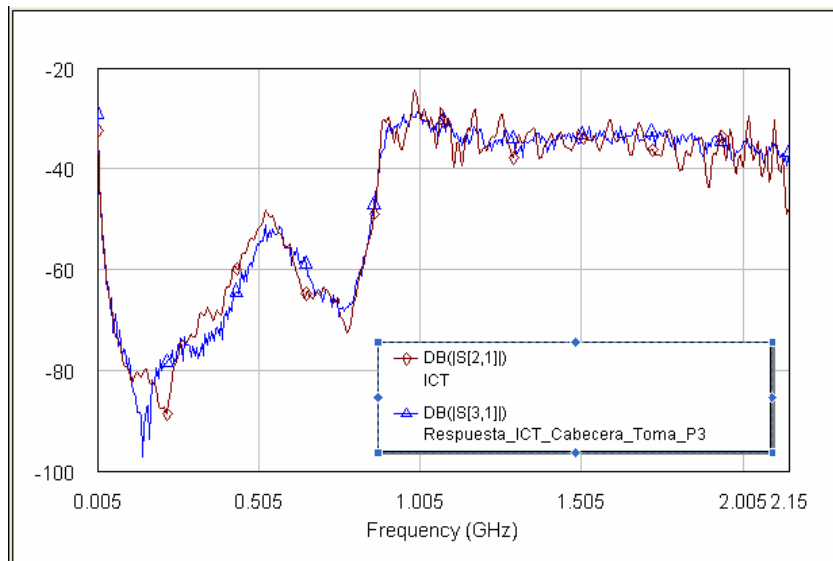


Figura 7. Respuesta de la red. Salida TV-Satélite.

De forma análoga y también para la tercera planta, se muestra en la Figura 7 el resultado para la salida de TV-satélite en una toma de usuario. La respuesta representada se corresponde a la simulación (ICT) y la medida física sobre la instalación (Respuesta ICT_Cabecera_Toma_P3).

Puede comprobarse que los resultados muestran una gran similitud con lo que puede considerarse que el método propuesto posee validez como método de predicción para la respuesta de una red de distribución de televisión. Hay que indicar que la red simulada, a pesar de pertenecer a una instalación relativamente sencilla, contiene una gran cantidad de datos en forma de parámetros S. Esto conlleva una elevada complejidad de cálculo que solo puede ser abordada con software adecuado.

Por último, puede componerse una gráfica (Figura 8) con la respuesta conjunta de ambas salidas de modo que permita obtener la respuesta en frecuencia conjunta en toda la banda y así, de este modo representar la atenuación en toda la banda de trabajo de la red. Añadiendo la respuesta calculada mediante suma de las atenuaciones especificadas por los fabricantes se pueden comparar los métodos expuestos; cálculo convencional, simulación basada en parámetros S y medida de la instalación real.

De los resultados se deduce que el método basado en la simulación obtiene unos resultados que siguen con mayor precisión a las medidas reales. No obstante, se puede contrastar que el método convencional de cálculo se aproxima razonablemente a la medida real con lo que se corrobora, como se indicó anteriormente, que es un método válido para la predicción de la atenuación de la red.

No obstante, de la misma gráfica pueden observarse las limitaciones de este último método en la caracterización de la red y es que no predice las bandas rechazadas; por ejemplo en las salidas de TV-Satélite la señal correspondiente a la banda de TV terrenal (5 a 860 MHz) queda muy atenuada. (Obsérvese la Figura 8 en la que dos de los trazos están muy por debajo de 40 dB en la banda de TV Terrenal).

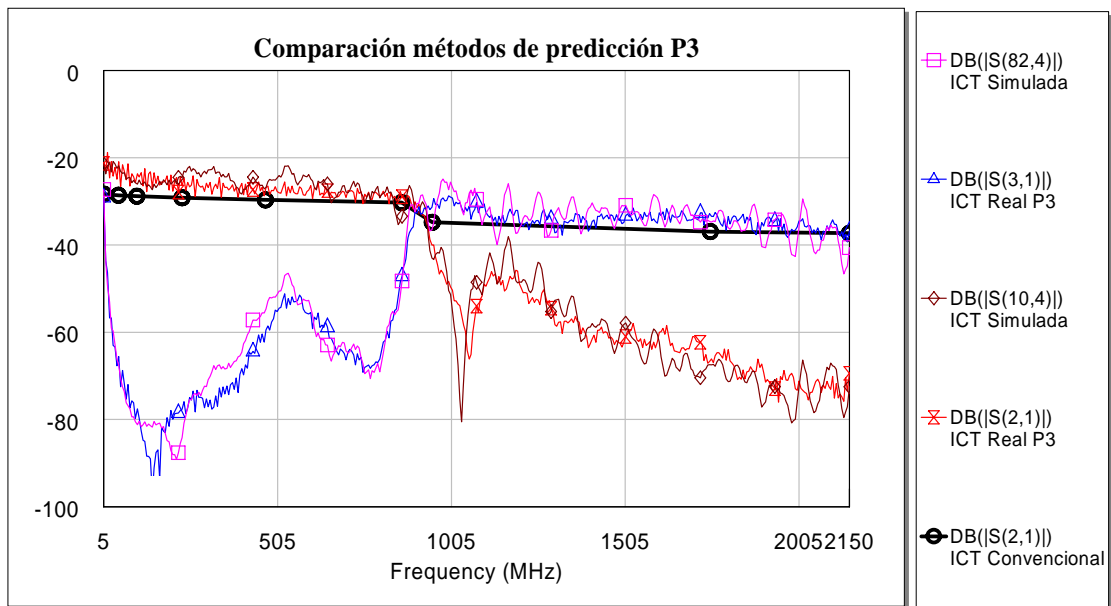


Figura 8. Comparación métodos de predicción

Desde el punto de vista académico el método de simulación ofrece posibilidades adicionales que permiten de una forma sencilla profundizar en el estudio de redes SMATV así como en los conceptos tales como atenuación, aislamiento, adaptación de impedancias y su relación con los parámetros S. Así, de un modo sencillo, trabajando sobre un programa de simulación, pueden estudiarse que implicaciones tendría sobre la red la desadaptación de las tomas de usuario (dejándolas en circuito abierto por ejemplo) o bien la realización de un estudio de las impedancias vistas en cualquier punto de la red.

Como ejemplo se muestran los resultados obtenidos mediante simulación del estudio de aislamiento realizado entre la instalación de un usuario y el resto de la red para distintas impedancias de carga. El esquema se muestra en la Figura 9 y en primer lugar se simulan las impedancias vistas hacia el resto de la red en toda la banda de frecuencias (Figura 10). Como puede observarse las impedancias vistas son distintas a cada frecuencia pero todas ellas quedan cercanas al centro de la carta de Smith (que representa la impedancia del sistema, 75 ohmios en redes SMATV). Esto indica que existe una adaptación aceptable pero en cualquier caso las impedancias vistas no son exactamente las del sistema.

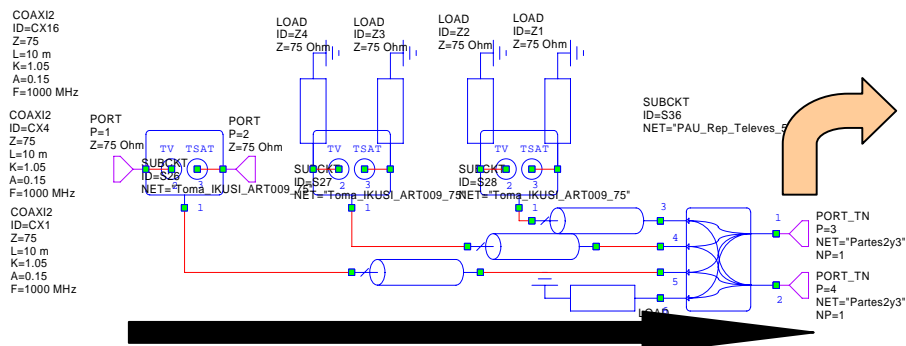


Figura 9. Instalación de Usuario

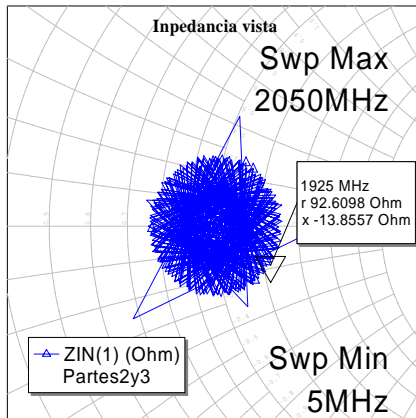


Figura 10. Impedancias vistas desde la instalación de usuario

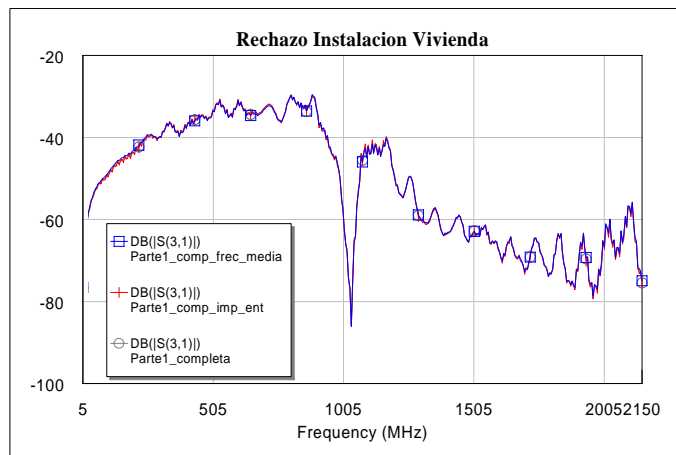


Figura 11. Aislamiento usuario-resto de la red

Realizando tres simulaciones, la primera sustituyendo el resto de la red por impedancias de 75Ω , la segunda por la impedancia vista en el centro de la banda ($62-15j \Omega$) y la tercera cargando con el resto de la red obtenemos la gráfica de la figura 11 en la que se muestra la atenuación de la red en sentido inverso (aislamiento). Los resultados son prácticamente idénticos, lo que en principio puede parecer extraño e invita a la reflexión. En realidad los resultados tan parecidos para diferentes impedancias de carga son consecuencia del propio aislamiento y de la propia atenuación de los dispositivos que mitigan las reflexiones de señal y ocasionan que estas redes presenten un funcionamiento robusto frente a desadaptaciones.

6. Propuesta académica

El presente trabajo, como se ha comentado posee aspectos de especial interés docente. En concreto uno de los resultados relevantes sería el origen de una asignatura que desarrollara el contenido expuesto a lo largo de un semestre. A la fecha de redacción de este artículo se encuentran en fase de propuesta el

nuevo panorama Universitario en España y en concreto la Universidad Politécnica de Madrid se encuentra inmersa en la definición de las titulaciones a impartir en un futuro. La elaboración de los nuevos Planes de Estudio se perfila en un horizonte cercano. Es por esto que este punto se perfila en forma de propuesta y no se puede hablar de una asignatura puesta en marcha.

Los objetivos de la asignatura de la asignatura serían:

“Estudio, caracterización y medida de redes SMATV y la Normativa española al respecto. Estudio de parámetros S y medidas necesarias para la caracterización de estas redes. Medida de dispositivos, captura de parámetros e interpretación de resultados. Simulación y medida de redes de distribución de señal de Televisión”

Para la consecución de objetivos académicos la asignatura contaría con 4 ECTS con un total de 100 horas cuyo reparto se muestra en la Tabla 1. Por una parte se desarrollaría la parte teórica del temario a lo largo de 10 semanas no consecutivas. Las horas de laboratorio ocuparían 5 semanas con presencia del profesor y el resto sería de trabajo propio del alumno en horas de libre acceso. También el alumno debería desarrollar un trabajo propio estimado en 37 horas consistente en estudio y realización de informes.

TEMA	CLASES TEORÍA	LABORATORIO	TRABAJO ALUMNO	
1 Redes SMATV	3	0	3	
2 Normativa ICT	3	0	3	
3 Parámetros S	3	3	7	
4 Dispositivos ICT y su caracterización	6	12	6	
5 Diseño de Redes SMATV	6	0	6	
6 Simulación y medida ICT	9	18	12	TOTAL
TOTAL PARCIAL	30	33	37	100

Tabla 1. Programación Asignatura

7. Conclusiones

En definitiva se ha propuesto un método para la predicción del comportamiento de redes de distribución de señal de TV. La principal dificultad, desde un punto de vista práctico es la de disponer de los datos adecuados para cada dispositivo dado que estos no son proporcionados por los fabricantes. Este extremo imposibilita la aplicación de este procedimiento como parte de la realización de proyectos de ICT llevando a la realización de cálculos que parten de aproximaciones que están lejos de la realidad.

Desde un punto de vista académico la propuesta posibilita, una vez capturados los datos de los elementos, una profundización en los principales conceptos que envuelven el funcionamiento de estas redes tales como funciones de transferencia, adaptación o aislamiento. La gran ventaja es que se pueden capturar los parámetros S correspondientes, realizarse distintas redes y obtener de una forma rápida y eficaz las medidas necesarias que permiten caracterizar el comportamiento de éstas.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen a los alumnos de la E.U.I.T. Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, Marta de Lucas, en la actualidad realizando el Proyecto Fin de Carrera en este área, y a Jon Arteaga, Julián Balerdi, Rafael González, Diego L. Pérez y Enrique Velasco alumnos de la asignatura de Proyectos, su trabajo en la realización de simulaciones y medidas que han permitido enriquecer el presente trabajo. También su interés y entusiasmo ante la propuesta, lo que ha sido decisivo en el nacimiento de la propuesta de una futura asignatura.

Referencias

- [1] *Real Decreto 401/2003V*, B.O.E. 27 de Mayo de 2003
- [2] J. A. Dobrowoski, *Introduction to Computer Methods for Microwave Circuit Analysis and Design*, Artech House, Boston 1991
- [3] G. González. *Microwave Transistor Amplifier: Analysis and Design*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey (1996)
- [4] D. Pozar, *Microwave Engineering*, Wiley & Sons, Massachusetts (2005)
- [5] D. Fernández, *Medida y Caracterización de Dispositivos de Señal de TV mediante Parámetros "S"*, UPM PFC Tutor C. Cortés, Madrid, 2006
- [6] V. Galisteo, *Estudio de una Red Pasiva de ICT*, UPM PFC Tutor C. Cortés, Madrid, 2006
- [7] Touchstone *File Specification Rev 1.1*, Agilent Corporation, 2003