POLYPUBLIE

Estudio de la Radiación de Antenas CRLH Leaky-Wave Excitadas por Pulsos Temporales

J. S. Gomez-Daz, Shulabh Gupta, M. Martinez-Mendoza, Alejandro Alvarez-Melcon, Christophe Caloz

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

Date	2008
Type	Communication de conférence / Conference or Workshop Item Communication écrite/Paper
Version	Version officielle de l'éditeur / Published version
URL de PolyPublie PolyPublie URL	https://publications.polymtl.ca/36951/
Évaluation par les pairs Peer reviewed	Révisé par les pairs / Refereed
Conditions d'utilisation Terms of use	Creative Commons Attribution-Utilisation non commerciale-Pas d'oeuvre dérivée 4.0 International / Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND)
Référence Citation	Gomez-Daz, J. S., Gupta, S., Martinez-Mendoza, M., Alvarez-Melcon, A., & Caloz, C. (septembre 2008). Estudio de la Radiación de Antenas CRLH Leaky-Wave Excitadas por Pulsos Temporales [Communication écrite]. 23o Simposium Nacional de la Union Cientifica de Radio URSI, Madrid, Spain. https://repositorio.upct.es/entities/publication/fc92d69c-470c-4225-a14d-f04c5f1f3d3d

Publication officielle
Official publication

Nom de la conférence Conference name	23o Simposium Nacional de la Union Cientifica de Radio URSI
Date et lieu Date and location	2008-09-22 - 2008-09-24, Madrid, Spain
Maison d'édition Publisher	
URL officielle Official URL	https://repositorio.upct.es/entities/publication/fc92d69c-470c-4225-a14d-f04c5f1f3d3d
Mention légale Legal notice	El contenido de este sitio está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada (by-nc-nd : https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/), salvo que se indique lo contrario.

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal
https://publications.polymtl.ca

Estudio de la Radiación de Antenas CRLH Leaky-Wave Excitadas por Pulsos Temporales

J.S. Gómez-Díaz[(1)], S. Gupta[(2)], M. Martínez-Mendoza[(1)], A. Alvarez-Melcon[(1)] y C. Caloz[(2)]
jsebastian_gomez@ono.com, alejandro.alvarez@upct.es, christophe.caloz@polymtl.ca
[(1)]Universidad Politécnica de Cartagena, Antiguo Cuartel de Antigones, 30202 Cartagena, Murcia, España
[(2)]École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada

***Abstract*—A new time-domain Green's function approach is used to characterize a composite right/left handed (CRLH) leaky-wave structure as a function of time under ultra-short modulated pulse excitation. This analysis is efficiently performed in the far-field region for both, a single CRLH element and for an array. Several novel broadband applications, such as a real-time spectrum analyzer (RTSA) (which exploits the unique frequency-space mapping conversion of the CRLH) or an instantaneous radar scanning (based on the time-frequency relation of chirp-modulated pulses), are presented and discussed. Full-wave simulations and measurements are provided to validate the results. The semi-analytical formulation developed is compact, flexible and fast, avoiding stability conditions as in other completely numerical time-domain methods.**

I. Introducción

En la actualidad se está prestando una especial atención a los sistemas de banda ultra ancha (UWB), debido a su alta capacidad de transmisión de datos y a su inmunidad a las interferencias multi-camino [1]. Estos sistemas presentan interesantes retos, tanto por los nuevos dispositivos que será necesario diseñar, como por la necesidad de herramientas numéricas que los describan de forma rápida y precisa.

En particular, los sistemas UWB-IR (*Impulse Radio*) [1] basados en la transmisión de pulsos ultra-cortos están teniendo una gran aceptación, encontrando aplicaciones variadas, tanto en sistemas RF-ID (identificación de objetos por radiofrecuencia) como en las redes de sensores. Para analizar este tipo de sistemas, métodos puramente numéricos (como FDTD) son normalmente empleados. Sin embargo, este tipo de técnicas requieren de una gran cantidad de recursos computacionales, presentan problemas de inestabilidad y no son capaces de mejorar la comprensión física del problema.

En este contexto, los metamateriales [2], gracias a su naturaleza dispersiva, pueden proporcionar nuevas y originales soluciones de banda ancha. Entre una de las aplicaciones más interesante de los metamateriales se encuentran las líneas de transmisión *composite right/left handed* (CRLH) [2], capaces de comportarse como antenas *leaky-wave* (LWA) en un determinado rango frecuencial. En este rango son capaces de proporcionar un barrido completo de haz (desde *backfire* hasta *endfire*), incluyendo la dirección *broadside*. Sin embargo, este tipo de antenas (como la mayoría de metamateriales) han sido únicamente analizados hasta la fecha en régimen armónico.

En esta comunicación, se presenta un nuevo método formulado en el dominio del tiempo para analizar líneas de transmisión excitadas por pulsos ultra cortos. La técnica combina la teoría de propagación de pulsos con el concepto de función de Green, con el objetivo de analizar líneas de transmisión CRLH. Tras caracterizar algunos pulsos de excitación tipo, el método es extendido para analizar la radiación de antenas leaky-wave CRLH en función del tiempo. De esta forma, tanto la radiación de un único elemento CRLH como una agrupación bidimensional de antenas es considerada, obteniendo una formulación eficiente para el campo eléctrico radiado. El empleo de software comercial y medidas experimentales confirman la precisión del método propuesto. La formulación presentada es compacta, rápida y flexible, ya que la dependencia temporal es introducida de forma intrínseca en la formulación.

Finalmente, el método propuesto se emplea en la descripción de novedosas aplicaciones de banda ancha. En primer lugar, se propone el empleo de una única antena leaky-wave CRLH como un analizador de espectros en tiempo real (RTSA). Esta aplicación se basa en la conversión frecuencia-espacio realizada de forma intrínseca por la CRLH LWA, y permite caracterizar de forma única una señal desconocida. En segundo lugar, se propone el empleo de una agrupación bidimensional de CRLH LWA excitadas por pulsos ultra-cortos que presenten una modulación "chirp". De esta forma es posible realizar un barrido cuasi-instantáneo del espacio, usando un haz tipo 'lápiz', con aplicación en sistemas radar.

II. Formulación en el dominio del tiempo

Recientemente se ha presentado una nueva formulación, basada en la función de Green de la estructura bajo estudio, para estudiar los campos radiados en función del tiempo [3]. En este análisis, la función de Green diádica $\overline{\overline{G}}$ se expresa como el producto de una contribución espacial $\overline{\overline{G_S}}$ y otra temporal G_T

$$\overline{\overline{G}}(\vec{r},\vec{r}';\omega;t,t') = \overline{\overline{G}}_S(\vec{r},\vec{r}';\omega)\cdot G_T(\vec{r}';t,t'), \qquad (1)$$

donde $G_T(\vec{r}';t,t')$ considera la dependencia temporal exacta de la fuente, que en principio está distribuida en el espacio. En algunos casos, por ejemplo cuando se utilizan pulsos modulados Gaussianos como excitación, esta dependencia (que está relacionada con la transformada de Fourier de la derivada de la señal de entrada [3]) se puede obtener de forma analítica. Esto elimina la presencia de la variable (t'), y reduce de una forma más que considerable el coste computacional.

En general, el campo radiado por la fuente puede obtenerse empleando el Método de los Momentos

$$\vec{E} = \overline{\overline{G}} \otimes \vec{J}, \qquad (2)$$

donde la fuente se expande empleando funciones base. El análisis se puede restringir a una situación más sencilla, como es el caso de líneas de transmisión. Para este caso

particular, la fuente se considera puntual, con lo que se reduce la complejidad del problema, y la función de Green diádica se transforma en un escalar. Para la corriente en la línea la función de Green es:

$$G_S(\vec{r},\vec{r},\omega) = \frac{e^{-j\gamma(\omega)R}}{Z_0} \tag{3}$$

donde $\gamma(\omega)$ es la constante de propagación compleja de la línea (o la relación de dispersión), Z_0 es la impedancia característica, y $R = |\vec{r} - \vec{r}\,'|$ es la distancia entre el punto de observación ($\vec{r}$), situado a lo largo de la línea y la posición del generador ($\vec{r}\,'$). Si la línea de transmisión estuviera formada por un conjunto de líneas, como se muestra en la Fig. 1, la función de Green asociada se obtendría mediante el equivalente Thevening a lo largo de cada una de las líneas [4].

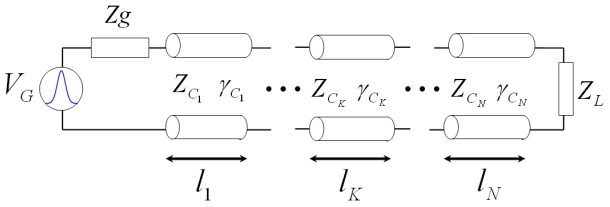


Fig. 1. Línea de transmisión general, compuesta por N-líneas de diferentes características, excitada por una fuente puntual.

Es importante destacar que al emplear la función de Green asociada a la corriente de la línea de transmisión [4], la magnitud que se calcula es directamente la corriente total. Así se obtiene la corriente a lo largo de la línea en función del tiempo. También hay que señalar, que líneas de transmisión complejas, como la *composite right/left handed* (CRLH), pueden fácilmente ser incluidas en el análisis, sin más que introducir su constante de propagación compleja $\gamma(\omega)$.

Con el fin de obtener la radiación de una antena CRLH LWA, se calcula con el método descrito la corriente a lo largo de la línea (que se encuentra adaptada) en función del tiempo. Posteriormente, se emplean fórmulas estándar para obtener la radiación de campo lejano en un punto de observación cualquiera a partir de esa corriente. La combinación de ambas formulaciones permite obtener la radiación de pulsos electromagnéticos por antenas leaky-wave de forma rápida y precisa.

III. Pulsos modulados usados como excitación

La formulación presentada es capaz de trabajar con cualquier señal de entrada definida en el tiempo, sin más que definir el término $G_T(\vec{r}\,';t,t')$, asociado a la transformada de Fourier de la derivada de la señal [3]. Para un señal genérica, estas operaciones se pueden realizar de forma numérica.

Los pulsos Gaussianos son relativamente fáciles de generar en la práctica, y son convenientes para caracterizar sistemas de banda ancha. La corriente producida por una fuente puntual que transmite un pulso modulado Gaussiano se puede expresar como

$$\vec{J}(\vec{r}\,',t) = J_0\delta(\vec{r}\,')e^{j\omega_0 t}e^{-\frac{1}{2}(\frac{t-t_0}{\sigma})^2}, \tag{4}$$

donde $\vec{r}\,'$ es la posición de la fuente, ω_0 es la frecuencia de modulación, σ es la anchura temporal del pulso, y t_0 es el centro temporal del mismo. La modulación del pulso Gaussiano también puede ser de tipo "chirp", variando la frecuencia instantánea en función del tiempo (este tipo de señales son muy utilizadas en radar, por ejemplo). En este caso, la expresión de la corriente transmitida por la fuente es

$$\vec{J}(\vec{r}\,',t) = J_0\delta(\vec{r}\,')e^{j\omega_0 t}e^{-\frac{1}{2}(1+jC)(\frac{t-t_0}{\sigma})^2} \tag{5}$$

donde C es la constante chirp, que controla la variación de la frecuencia en función del tiempo.

Otra señal interesante es el pulso modulado cuadrado, que se puede obtener de forma muy sencilla en la práctica. Para este caso, la expresión de la fuente es

$$\vec{J}(\vec{r}\,',t) = J_0\delta(\vec{r}\,')e^{j\omega_0 t}[u(t) - u(t-T)] \tag{6}$$

donde $u(t)$ es la función escalón y T es la duración temporal del pulso.

La principal característica de estos pulsos de entrada es que pueden obtenerse expresiones analíticas para el término $G_T(\vec{r}\,';t,t')$, simplificando de forma sustancial el análisis de antenas leaky-wave basadas en CRLH.

IV. Validación Experimental y Aplicaciones

En este apartado se validará de forma experimental el cálculo del voltaje en una línea de transmisión CRLH, cuando es excitada por pulsos Gausianos. Una vez validada la teoría de base, se presentarán dos interesantes aplicaciones de banda ancha que aprovechan las características dispersivas de las líneas CRLH.

A. Validación experimental

Para la validación de la teoría presentada, se obtendrá el retardo de grupo de una línea CRLH en el dominio del tiempo. Para ello, se medirá la diferencia temporal entre el máximo del pulso Gausiano tanto a la entrada como a la salida de la línea. La línea CRLH empleada está compuesta por 30 celdas, con parámetros $C_R = 2.1$ pF, $C_L = 1$ pF, $L_R = 4.2$ nH y $L_L = 2$ nH [2]. En la Fig. 2 se puede observar como el acuerdo entre el retardo obtenido con el método propuesto y el obtenido de forma experimental (ambos en el dominio del tiempo) es bastante bueno. En la misma figura se presenta el retardo de grupo obtenido en el dominio frecuencial de forma estándar [2] como validación.

Para terminar de caracterizar la propagación de pulsos en las líneas CRLH, la Fig. 3 muestra la envolvente de los pulsos Gaussianos utilizados a la entrada y a la salida de la línea, para dos frecuencias de modulación diferentes (1.9 y 3.0 GHz). Cabe destacar que la línea CRLH es un sistema capaz de proporcionar un retardo diferente en función de la frecuencia de modulación, lo que puede ser aprovechado en múltiples aplicaciones [5]. Finalmente, indicar que la comparación entre los resultados experimentales y simulados es más que satisfactoria.

B. Analizador de espectros en tiempo real

Las antenas CRLH LWA radian cada componente espectral a una región diferente del espacio, siguiendo la ecuación

$$\theta_{MB} = sin^{-1}\left[\frac{\beta(\omega)}{k_0}\right] \tag{7}$$

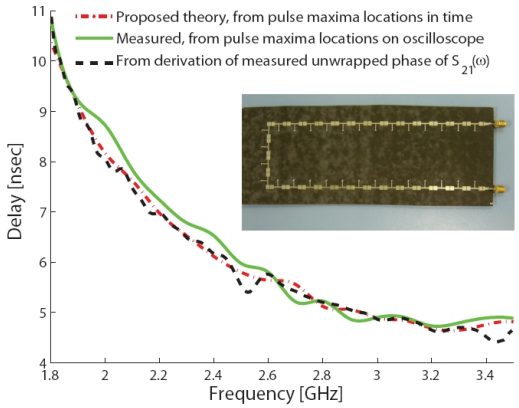


Fig. 2. Retardo de grupo obtenido con el método propuesto midiendo la diferencia temporal entre el máximo del pulso Gaussiano a la entrada y a la salida de la línea CRLH, en función de la frecuencia de modulación. Resultados experimentales, obtenidos tanto en el dominio temporal como frecuencial, son incluidos como validación.

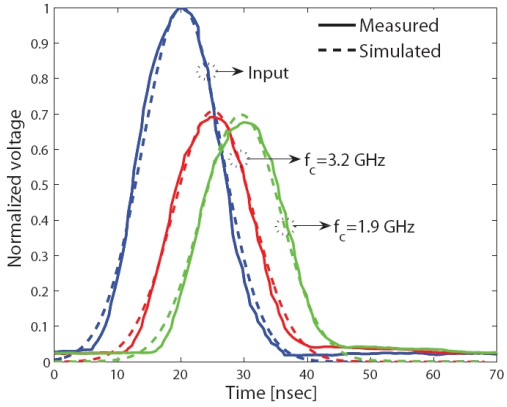


Fig. 3. Envolventes de un pulso Gaussiano usado para excitar una línea CRLH, a la entrada y salida de la misma, para dos frecuencias de modulación diferentes. Resultados experimentales son incluidos como validación.

donde θ_{MB} es el ángulo de radiación del haz principal, $\beta(\omega)$ es la constante de propagación y k_0 es el número de onda de espacio libre. La Fig. 4 muestra esta relación frecuencio-espacial para un antena leaky-wave CRLH compuesta de 16 celdas con parámetros circuitales $C_R = 1.2$ pF, $C_L = 0.56$ pF, $L_R = 3.0$ nH y $L_L = 1.4$ nH. Medidas experimentales se han incluido como validación.

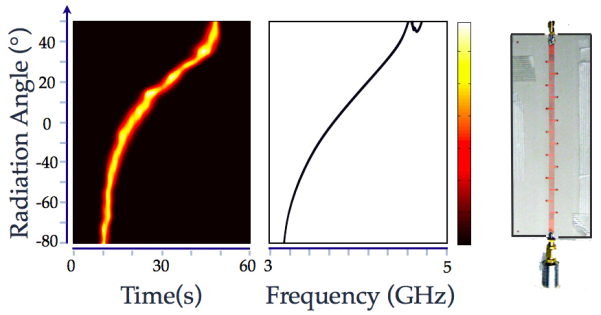


Fig. 4. Resultados experimentales obtenidos con 27 medidas en campo lejano separadas de forma uniforme (5^o) en el plano de radiación de la antena. Respuesta ante una rampa frecuencial lineal (izquierda), y relación frecuencio-espacial de la ecuación 7 (derecha).

Esta descomposición frecuencio-espacial puede ser aprovechada en un sistema analizador de espectros en tiempo real, como el propuesto en la Fig. 5. En este sistema, una

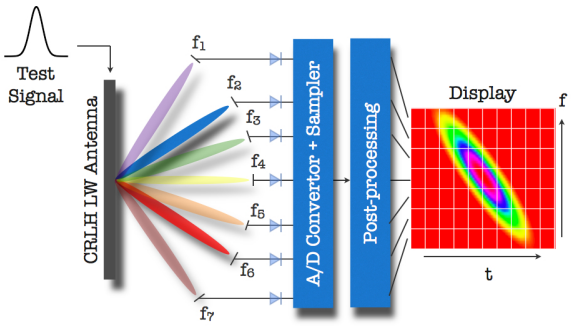


Fig. 5. Esquema del analizador de espectros en tiempo real propuesto. Los receptores se encargan de captar la señal en función del tiempo en distintas regiones del espacio, donde sólo estarán presentes frecuencias discretas.

señal desconocida es radiada por la antena, que enviará cada componente espectral a una zona diferente del espacio. Estas componentes serán recogidas, en función del tiempo, por detectores situados en el espacio. Con esta información se generará un espectrograma, capaz de identificar de forma única la señal de entrada. Actualmente, estos sistemas se realizan empleando la *short-time Fourier transform*, que requiere un enventanado temporal de parte de la señal de entrada, y por ello presenta un compromiso entre la resolución en tiempo y la resolución en frecuencia. El método propuesto supera por primera vez esta limitación, pues la descomposición frecuencial es realizada de forma intrínseca por la CRLH LWA.

En la Fig. 6 se pueden observar los espectrogramas (donde el eje x corresponde al tiempo, y el eje y a la frecuencia), gracias a la descomposición frecuencio-espacial. Esta descom-

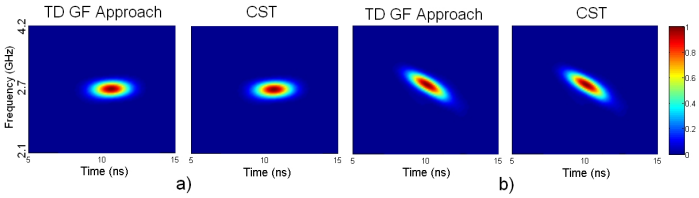


Fig. 6. Espectrogramas obtenidos con el método propuesto y con el software comercial CST© cuando la CRLH LWA es excitada por un pulso Gaussiano modulado por onda contínua (a) y con una modulación chirp (b).

posición se obtiene enviando un pulso Gaussiano (gráfica (a)) con $f_0 = 3.1$ GHz y $\sigma = 0.5$ ns. Además, se presenta el caso del pulso Gaussiano chirp (gráfica (b)), con $C = 1$, donde se puede observar la variación de la frecuencia en función del tiempo, caracterizando completamente la señal. Para validar los resultados obtenidos con el método propuesto, se ha empleado el software comercial CST©, obteniendo una muy buena concordancia. Sin embargo hay una enorme diferencia en cuanto a los recursos computacionales necesarios: 30 segundos por el método propuesto, frente a las 12.5 horas empleadas por el software comercial. Finalmente, la Fig. 7 presenta resultados experimentales y simulados (con el método propuesto), cuando se alimenta la CRLH LWA con un pulso modulado cuadrado. La comparación entre ambos casos es excelente.

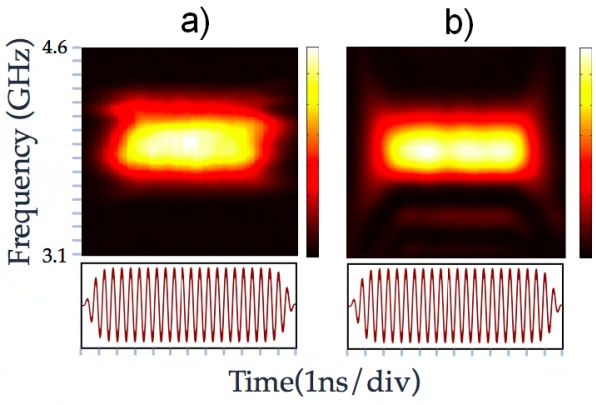


Fig. 7. Espectrogramas obtenidos de forma experimental (a) y con el método propuesto (b) cuando la CRLH LWA es alimentada por un pulso modulado rectangular.

C. Radar con barrido instantáneo y haz tipo 'lápiz'

La formulación presentada se puede extender de forma natural para el análisis de agrupaciones de antenas, como la presentada en la Fig. 8. En este caso, se emplean cinco antenas

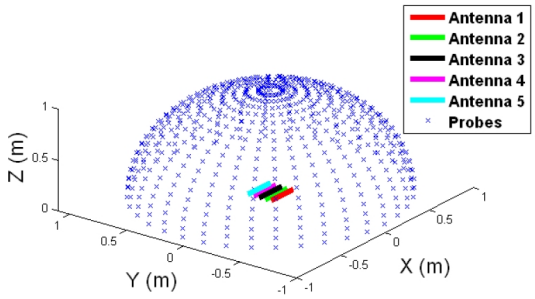


Fig. 8. Agrupación de 5 CRLH LWA empleadas para obtener un haz tipo 'lápiz' en cualquier posición del espacio. 1369 receptores son utilizados para analizar el campo radiado en el espacio.

como la del apartado anterior, separadas 5 cm en el eje y. Cuando las antenas son alimentadas de forma simultánea se obtiene un haz tipo 'lápiz', capaz de escanear el espacio (en función del desfase ϕ con el que se alimenten las antenas y de la frecuencia de la señal de entrada). Como aplicación práctica, se puede utilizar un pulso Gaussiano con modulación chirp para analizar de forma cuasi-instantánea el espacio.

Como demostración, se emplean un total de 1369 receptores en una configuración semi-esférica para captar la radiación de la agrupación bidimensional en todo el espacio. Como entrada a las antenas, se emplea un pulso Gaussiano con $f_0 = 3.1$ GHz y chirp $C = -3$, mientras que el desfase entre dos antenas consecutivas es de 45^o. De esta forma la frecuencia de modulación irá disminuyendo con el tiempo, moviendo la radiación desde *endfire* hacia *broadside*. Los resultados obtenidos en función del tiempo con el método propuesto (ver Fig. 9), muestran como se obtiene un haz de tipo 'lápiz', capaz de escanear el espacio de forma instantánea (unos pocos nanosegundos), gracias al empleo de la modulación chirp. Este barrido instantáneo presenta una gran utilidad en sistemas radar, junto a la interesante característica del haz tipo 'lápiz', que aumenta de forma considerable la resolución espacial de estos sistemas.

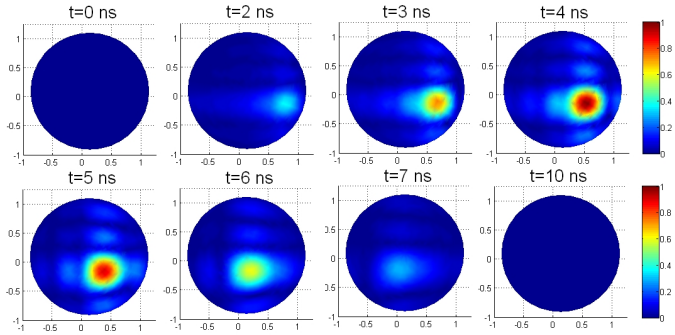


Fig. 9. Campo eléctrico normalizado radiado por la agrupación de antenas de la Fig. 8 obtenido con la técnica propuesta. Un pulso Gaussiano con modulación chirp es utilizado como excitación.

Finalmente destacar que el análisis fue realizado en un total de 65.5 minutos empleando el nuevo método propuesto. Por contra fue imposible hacer la misma simulación con el software comercial CST© debido a la insuficiente memoria del ordenador empleado (4 GB).

V. Conclusiones

Por primera vez se ha caracterizado la radiación de pulsos ultra-cortos en tiempo por antenas *composite right/left handed leaky-wave* (CRLH LWA). Para ello, se ha empleando una nueva formulación en el dominio del tiempo, combinada con la función de Green de la línea de transmisión. Pulsos modulados Gaussianos, tanto de onda continua como con una modulación chirp, y cuadrados se han empleado como excitación. Los resultados obtenidos se han validado con software comercial (CST©) y con medidas experimentales. Además, se han presentado dos novedosas aplicaciones de banda ancha. La primera consiste en el empleo de la antena descrita como un analizador de espectros en tiempo real para identificar señales desconocidas, aprovechando la característica única de descomposición frequencio-espacial de estas antenas. Como segunda aplicación, se propone el empleo de una agrupación bidimensional de antenas para realizar un barrido instantáneo del espacio, con un haz de tipo "lápiz". El método propuesto es compacto, flexible y rápido, y está libre de restricciones, como pueden ser los problemas de estabilidad en métodos completamente numéricos.

VI. Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por el Ministerio de Educación y Ciencia (Proyecto: TEC2007-67630-C03-02, Beca: FPU-AP2006-015).

References

[1] I. Oppermann, M. Hmlinen, and J. Iinatti, "UWB Theory and Applications", *John Wiley & Sons, 2004.*

[2] C. Caloz and T. Itoh, "Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications", *New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.*

[3] J.S. Gómez-Díaz, A. Álvarez-Melcón, C. Caloz, "Time-Domain Greenś Function Analysis and Phenomenology of Impulse-Regime Metamaterial Transmission Lines", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Submitted.

[4] P. Russer, "Electromagnetics, Microwave Circuit and Antenna Design for Communications Engineering", *Artech House Publishers, 2006*

[5] S. Abielmona, S. Gupta, C. Caloz, "Experimental Demonstration and Characterization of a Tunable CRLH Delay Line System for Impulse/Continuous Wave", *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, vol. 17, no. 12, pp. 864-866, December, 2007.