



Ing. Alberto Tama Franco
Asesor de la Gerencia General
Corporación Eléctrica del Ecuador,
CELEC, EP

LOS META-MATERIALES

RESUMEN

En las décadas de los años 1990 y 2000 se renovó el interés y el entusiasmo en el campo del electromagnetismo, especialmente en lo relativo a la integración de un tipo especial de materiales dieléctricos artificiales, los denominados Metamateriales. La palabra "meta", en metamateriales, es un vocablo griego que significa "más allá"; es decir, que los metamateriales, son "más allá que materiales", término que es ampliamente utilizado para representar materiales que son fabricados artificialmente para tener propiedades electromagnéticas y físicas ventajosas, inusuales e inclusive insólitas, que van más allá de las que fácilmente se encuentran en la naturaleza. De hecho, la palabra ha sido utilizada para representar materiales que microscópicamente son intrínsecamente no homogéneos, contruidos a partir de arreglos metálicos que exhiben formaciones periódicas.

La palabra metamaterial puede abarcar superficies texturizadas de ingeniería, superficies artificiales de impedancia, conductores magnéticos artificiales, materiales DNG (doble negativo), superficies de frecuencia selectivas, superficies PhotonicBand-Gap (PBG), superficies/estructuras ElectromagneticBand-Gap (EBG) e incluso los fractalesquirales.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento eléctrico de un material, cuando es sometido a campos electromagnéticos, es caracterizado por sus parámetros constitutivos; es decir, por su conductividad eléctrica σ , su permitividad eléctrica ϵ y su permeabilidad magnética μ . Es así que los materiales se clasifican en: **lineales, homogéneos, no dispersivos e isotrópicos** cuando los parámetros constitutivos de aquellos no son una función del campo aplicado, de la posición, de la frecuencia y de la dirección del precipitado campo, respectivamente.

El aire, por ejemplo, es cercanamente lineal para campos eléctricos aplicados de hasta cerca de 1×10^6 [V/m]; por encima de este valor, se produce la ruptura dieléctrica y exhibe un alto grado de no linealidad. Vale precisar, que casi todos los materiales exhiben algún grado de no homogeneidad; sin embargo, para la mayoría de los materiales utilizados en la práctica, la no homogeneidad es tan pequeña que los materiales son tratados como puramente homogéneos.

Sin embargo de lo anterior, y si solo se consideran la permitividad eléctrica ϵ y la permeabilidad magnética μ como referencia, los materiales pueden ser clasificados en cuatro categorías, exhibiendo tal como se muestra en la Figura No. 1, lo siguiente:

- Permitividad negativa y permeabilidad y positiva; denominados como materiales ENG (épsilon negativo).
- Permitividad positiva y permeabilidad y positiva; denominados como materiales DPS (doble positivo).
- Permitividad negativa y permeabilidad y negativa; denominados como materiales DNG (doble negativo).
- Permitividad positiva y permeabilidad y negativo; denominados como materiales MNG (mu negativo).



Figura No. 1 Caracterización de los materiales de acuerdo a los valores de sus permitividad y permeabilidad

una permitividad eléctrica y una permeabilidad magnética negativas, produciendo que, por ende, su índice de refracción tome un valor negativo.

Una condición necesaria, para que un metamaterial se comporte como un material homogéneo, con un índice de refracción negativo, es que la dimensión máxima de sus componentes sea menor que la longitud de la onda incidente. De no cumplirse esto, no serían metamateriales sino cristales fotónicos, con un índice de refracción positivo. Con lo cual se puede concluir que **el signo del índice de refracción tiene una relación entre la dimensión máxima de los componentes del metamaterial y la longitud de la onda incidente.**



Figura No. 3
Cómo se vería un objeto en un vaso que tuviera agua con índice de refracción negativo.
Fuente: Ortwin Hess. *Nature*, 455, 299-300 (18 de septiembre de 2008).

DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DNG

Los materiales que han capturado recientemente la atención y la imaginación de los ingenieros y científicos electromagnéticos son aquellos denominados "Doble Negativo" <DNG>; que, como se ha indicado en la figura anterior, no se encuentran disponibles en la naturaleza, pero pueden ser obtenidos artificialmente. Los materiales **DNG** también se conocen como **NRI** (índice de refracción negativo), **NIM** (material de índice negativo), medios **BW** (hacia atrás), y medios zurdos (LH), por nombrar unas cuantas denominaciones. Sin embargo, para mayor claridad y simplicidad, nos quedaremos con la designación **DNG**.

La clase DNG ha creado una intensa actividad por cuanto muchos han tratado de incorporar estas características de esos materiales para diseñar, mejorar o aumentar el rendimiento de las lentes, circuitos de microondas, líneas de transmisión, antenas, variadores de fase, divisores de potencia de banda ancha, antenas de anillo eléctricamente pequeñas, camuflaje o invisibilidad, nanohilos plasmónicos, cristales fotónicos, y la miniaturización, entre otros.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS METAMATERIALES

Figura No. 2 Refracción negativa a partir de una capa de material DNG de anchura "d". Fuente: "Optical Society of America". Recordemos que el índice de refracción es una medida de cuanto se desvían las ondas electromagnéticas al propagarse de un medio a otro. Pues bien, por su constitución, los metamateriales presentan un índice de refracción negativo, lo que implica que las ondas incidentes desvíen hacia el otro lado de la perpendicular a la superficie normal (de frontera o de borde) que separa los medios.

Por esta razón, los metamateriales son denominados materiales o medios zurdos. Esto es debido a que dichos materiales exhiben simultáneamente

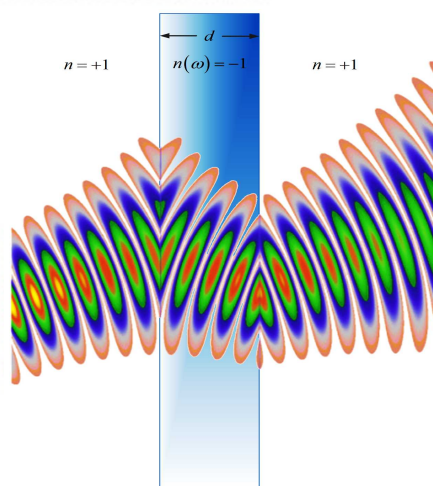


Figura No. 2
Refracción negativa a partir de una capa de material DNG de anchura "d". Fuente: "Optical Society of America".

APLICACIONES Y TENDENCIAS

De acuerdo a los registros históricos, se puede considerar que la ingeniería de los metamateriales tuvo sus inicios en el año 2000 con la síntesis del primer metamaterial zurdo. A pesar de la relativa juventud de esta disciplina científica, existe un plétórico número de trabajos de investigación que se están realizando a nivel mundial, con la esperanza de lograr rápidos avances, tanto a nivel teórico como a nivel tecnológico, suscitando un elevado interés por parte tanto de la comunidad científica como por parte de los potenciales usuarios.

Entre las aplicaciones de los metamateriales que se pueden considerar, hoy por hoy, más prometedoras, aunque se espera que en los próximos años surja un abanico aun mayor de aplicaciones, se encuentran:

- 1) Encubrimiento o Invisibilidad;
- 2) Superresolución;
- 3) Mejora de las prestaciones de los dispositivos de RF;
- 4) Desarrollo de nuevos dispositivos de Terahercios; entre otras.

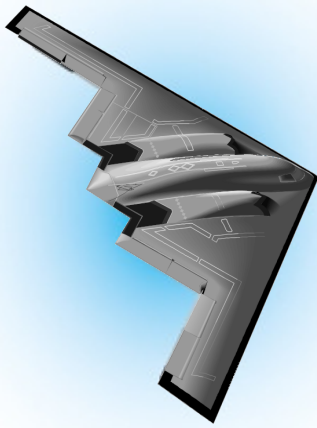


Figura No. 4
Bombardeo B-2 con superficies
absorbentes al radar

Una de las aplicaciones que ha captado muchísimo interés, fundamentalmente en el área de defensa, es la relacionada al **Encubrimiento o Invisibilidad**, dentro del cual se destaca:

- la Invisibilidad Electromagnética,
- la Invisibilidad Acústica; y,
- la Reducción de la firma.

La detección de objetos por ondas electromagnéticas se logra por dos tipos de efectos: **reflexión** de las ondas por parte del objeto y **sombra** que produce el objeto sobre las ondas electromagnéticas del fondo. Un objeto sería perfectamente invisible en un determinado rango del espectro electromagnético si no reflejase ni dispersa las ondas incidentes en otras direcciones y tampoco crease ninguna sombra, de tal manera que el objeto se comportaría como si fuera transparente a dichas ondas.

Una manera de conseguir dicha **transparencia** sería recubriendo al objeto con una estructura que permita a las ondas electromagnéticas "rodear o bordear" a dicho objeto, emergiendo en el lado contrario como si hubieran atravesado un espacio vacío. De esta forma, tanto el objeto junto con la estructura que lo recubre serían efectivamente invisibles.

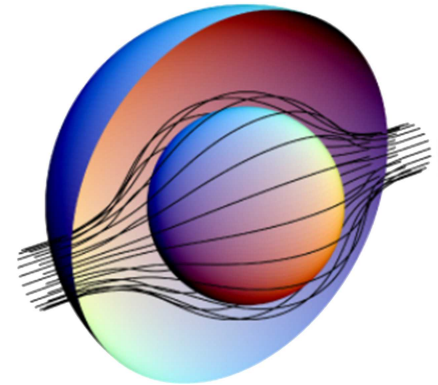


Figura No. 5
Esquema en tres dimensiones
del Principio de Invisibilidad.
Fuente: J. B. Pendry, D. Schurig, D. R. Smith.
"Controlling Electromagnetic Fields".

CONCLUSIONES

Sin duda alguna, hoy en día, las aplicaciones potenciales de los meta materiales se deben principalmente a las constantes necesidades de las funcionalidades de los dispositivos de banda ancha y multibanda. Es ahí donde encaja potencialmente la tecnología de los metamateriales, por la posibilidad de superar las limitaciones de las tecnologías convencional es al ser capaces a) de guiar y controlar de manera eficiente las ondas electromagnéticas, b) dar lugar a medios de transmisión que presentan velocidad de fase y de grupo antiparalelas, c) de tener comportamientos de filtros pasa banda, d) de presentar efecto Doppler inverso, entre otras propiedades.

Finalmente, es válido destacar que el desarrollo de los metamateriales es una línea de investigación disruptiva y no evolutiva, que podría suponer avances revolucionarios y dejar obsoletas a otras líneas de investigación convencionales. Lo cierto es que en poco tiempo hemos pasado de imaginar ciertas propiedades a disponer de la capacidad de fabricar materiales que las hacen realidad, constituyéndose los Metamateriales en los materiales del Futuro.

Alberto Tama Franco

Ingeniero en Electricidad, ESPOL.

Magister en Administración de Empresas, ESPOL.

Master in Business Administration, Université du Québec à Montréal, Canadá.

Profesor Titular Auxiliar de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, ESPOL.

Asesor de la Gerencia General de la Corporación Eléctrica del Ecuador, CELEC EP.

Miembro 41613211 de la IEEE

Miembro 09-03-0271 del CRIEEL

Referencias Bibliográficas:

Constantine A. Balanis,

"Advanced Engineering Electromagnetics", 2nd Edition, 2012, John Wiley & Sons Inc.

Ortwin Hess. Nature, 455, 299-300

(18 de septiembre de 2008).

<http://www.nature.com>

Optical Society of America.

<http://www.osa.org>

Dr. Sunny Bains, Specialist in combining modern technology with traditional editorial expertise to improve technical communication.

<http://www.sunnybains.com>