

# Diseño de una antena multimodo sobre sustrato textil para aplicaciones corporales.

Jesús Santiso Bellón<sup>(1)</sup>, Marta Cabedo Fabrés<sup>(1)</sup>, Eva Antonino Daviu<sup>(1)</sup>, Miguel Ferrando Bataller<sup>(1)</sup>.

jesanbel@epsg.upv.es, marcafab@dcom.upv.es, evanda@upvnet.upv.es, mferrand@dcom.upv.es

<sup>(1)</sup>Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia. Universidad Politécnica de Valencia.

Camino de Vera, s/n,

46022 Valencia

**Abstract-** A textile antenna designed for Zigbee Wireless Body Area Network (WBAN) is presented. The antenna is based on a capacitive loaded metallic circular ring that exhibits multimode characteristic at 2.4 GHz. The multimode behaviour is obtained using four feeding ports excited with specific phase configurations. The proposed antenna can be easily integrated into clothing due to its thickness and flexibility. Furthermore, its multimode behaviour helps to reduce the attenuation originated by NLOS (Non Line of Sight) environments and multipath propagation. The performance of the multimode antenna is similar to a MIMO system, but using a single antenna, so the space necessary in human body is minimized. For this reason, the multimode antenna is the best solution for WBAN applications.

## I. INTRODUCCIÓN.

Las aplicaciones corporales (On-body Applications) constituyen un campo muy interesante dentro de las redes de área personal inalámbricas. El término Redes de Área Corporal (Body Area Networks, BAN) se emplea para referirse a aquellas redes que se implementan situando directamente sobre el cuerpo humano, o cerca de él, un conjunto de transmisores que permiten la interconexión entre varios dispositivos, que pueden ser sensores, un teclado, un teléfono móvil, o un sistema de almacenamiento de datos.

Los campos de aplicación más prometedores de las redes de área corporal inalámbricas (Wireless Body Area Networks, WBAN) son los sistemas de información y monitorización de signos vitales para usuarios especializados, como bomberos y otro personal de emergencias, los sistemas de seguridad personal y monitorización médica, y aplicaciones para el ocio y el deporte.

A la hora de implementar redes WBAN, es de especial importancia la elección del sistema inalámbrico. El más conocido es Bluetooth [1], basado en el estándar IEEE 802.15.1 y que opera en la banda libre de ICM (Industria, Ciencia y Medicina) a 2.4 GHz. El principal inconveniente de Bluetooth son los altos niveles de potencia con que transmiten los equipos, que se traduce en un mayor consumo de las baterías de los dispositivos, y con ello una menor duración de las mismas. Este es uno de los motivos por los que no se suele emplear el estándar Bluetooth para aplicaciones corporales.

Una alternativa a Bluetooth es la tecnología Ultra Wide Band (UWB), que opera en la banda de 3.1 a 10.6 GHz. La principal ventaja de UWB es el reducido consumo de potencia. La potencia radiada utilizando UWB es tres órdenes inferior a la emitida por Bluetooth. Sin embargo, los bajos niveles de emisión de UWB pueden verse reducidos todavía más por la proximidad del cuerpo humano, llegando a resultar

insuficientes para establecer la comunicación. Otro inconveniente es la degradación que puede experimentar la comunicación debido al retardo de grupo no constante introducido por las antenas [2]. Este retardo de grupo debe ser constante en toda la banda de operación, para que las antenas no distorsionen los pulsos transmitidos.

Otra alternativa y la más interesante es la tecnología Zigbee [3], basada en el estándar IEEE 802.15.4 y que opera, al igual que Bluetooth, a 2.4 GHz en la banda libre de ICM. Una de sus ventajas son los bajos niveles de potencia que manejan sus equipos, que aunque son superiores a los de UWB, son aceptables en el ámbito corporal. Otra ventaja de Zigbee es que opera con un ancho de banda mucho menor que UWB, y no se ve afectada por el retardo de grupo no constante que puedan introducir las antenas.

En cuanto al diseño de las antenas en aplicaciones corporales, hay varios factores a tener en cuenta. Diversos experimentos demuestran que si el cuerpo bloquea la comunicación entre el transmisor y el receptor, el nivel de señal se atenúa considerablemente, además de las atenuaciones debidas a la propagación multicamino. Estos efectos se pueden mitigar utilizando antenas con comportamiento MIMO (Multi-Input Multi-Output). Una forma de conseguir comportamiento MIMO es emplear múltiples antenas en transmisión y recepción, solución no adecuada para aplicaciones corporales, dado el reducido espacio presente en el cuerpo humano. La solución adoptada en el presente artículo se basa en utilizar una antena multimodo [4]-[5], en la que se excitan de forma independiente diferentes modos de radiación ortogonales, proporcionando diversidad multimodo y comportamiento MIMO sin necesidad de aumentar el espacio necesario. En definitiva, la combinación del sistema Zigbee con una antena multimodo con comportamiento MIMO, permite aumentar la eficiencia espectral, y proporcionar robustez frente a la propagación multicamino.

Otro de los factores a tener en cuenta es la integración de la antena en el entorno corporal. Dichas antenas deben ser ligeras, compactas y discretas, de forma que su integración sea lo más confortable posible. La opción más adecuada para cumplir estas condiciones es utilizar para el diseño de la antena sustratos textiles, de forma que pueda ser integrada en prendas de vestir.

En la sección II explicaremos la importancia de caracterizar de forma precisa los sustratos textiles.

Finalmente, en la sección III explicaremos el diseño de la antena multimodo propuesta en el presente trabajo.

## II. CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS TEXTILES.

A la hora de diseñar antenas microstrip, es necesario conocer las propiedades dieléctricas de los materiales utilizados como sustratos dieléctricos. Normalmente estas propiedades dieléctricas son aportadas por el fabricante, pero en el caso de sustratos textiles estas propiedades son totalmente desconocidas, y es por ello necesario una fase de caracterización de los textiles. Hay algunos métodos para extraer las propiedades dieléctricas de los materiales, como son los métodos de cavidades resonantes, coaxial terminado en abierto, métodos de transmisión-reflexión, etc. El problema de estos métodos es que las muestras a caracterizar tienen que tener una forma adecuada al método que se utiliza. Por ejemplo, en el caso de cavidades resonantes las muestras deben tener la forma de la cavidad, y deben ocupar totalmente o parcialmente la cavidad, minimizando los espacios de aire que puedan dar errores en la medida. Es por esta razón que estos métodos no son adecuados para sustratos textiles.

En nuestro caso, utilizaremos la técnica expuesta en [6] para extraer las propiedades dieléctricas de nuestro sustrato textil. Básicamente, se trata de medir los parámetros de dispersión de dos líneas TFMSL (Thin Film Microstrip Line) de diferente longitud. Estas líneas se definen de esta forma dado que el sustrato es de espesor similar a la metalización de la línea, a diferencia de las líneas microstrip convencionales, donde el espesor del sustrato es mayor que el de la metalización. Suponiendo propagación quasi TEM, la línea TFMSL se puede modelar mediante un circuito equivalente formado por una resistencia y una inductancia serie, y una capacidad y una conductancia en paralelo [7]. Los valores  $C$ ,  $G$ ,  $L$  y  $R$ , se pueden extraer a partir de los parámetros de dispersión medidos en la línea. Los parámetros  $C$  y  $G$  están relacionados con las propiedades dieléctricas del sustrato a caracterizar (permitividad dieléctrica y tangente de pérdidas respectivamente), mientras que los parámetros  $L$  y  $R$ , están relacionados con la metalización de la línea. Con los valores de  $C$  y  $G$ , y mediante las formulas de Hammerstad y Jensen [8], se puede calcular fácilmente los valores de la permitividad dieléctrica y la tangente de pérdidas.

El proceso anteriormente descrito se ha aplicado al textil elegido para implementar nuestra antena, obteniéndose un valor de 1.7 para la permitividad dieléctrica, y un valor de 0.02 para la tangente de pérdidas.

## III. DISEÑO DE LA ANTENA MULTIMODO.

Como se comentó anteriormente, debido al bloqueo que el cuerpo ejerce entre el transmisor y receptor, y a la propagación multicamino, en redes de área corporal inalámbricas es muy aconsejable el uso de un sistema MIMO que contrarreste las atenuaciones en la señal por estos efectos. La solución en el entorno corporal, debido a la falta de espacio, es utilizar antenas multimodo. Una antena multimodo es aquella donde diferentes modos de radiación son excitados independientemente a la misma frecuencia [9]. El resultado es una diversidad multimodo, diversidad en polarización y en diagrama de radiación, que proporciona respuestas impulsionales del canal incorreladas.

En esta sección se presenta una antena multimodo para redes WBAN. Nuestro diseño, ofrece el mismo comportamiento MIMO que un array de antenas, pero

empleando una única antena con cuatro puertos de alimentación.

La Fig.1(a) muestra la geometría de la antena multimodo propuesta. Dicha antena consiste en un anillo circular metálico con cuatro ranuras situadas en  $\phi=\pm 45^\circ$  y  $\pm 135^\circ$  que actúan como cargas capacitivas. Estas ranuras permiten el control de las resonancias de los diferentes modos con el objetivo de que todos los modos resuenen en la misma banda de frecuencia. En este caso, las dimensiones de las ranuras se han elegido de forma que los modos resuenen cerca de los 2.45 GHz. En la Fig.1(b) se muestran las cuatro líneas microstrip de alimentación. Como se observa, estas líneas de alimentación se distribuyen simétricamente a lo largo de la estructura. Esta estructura se pega finalmente sobre el sustrato textil caracterizado.

El comportamiento multimodo se obtiene excitando los cuatro puertos de alimentación con unas fases específicas. Estas fases se obtienen mediante el diseño de una red de híbridos microstrip. La estructura de la red de híbridos simulada se muestra en la Fig.2.

	P1	P2	P3	P4	Modos Excitados
1 <sup>st</sup> Conf.	$1_{<0^\circ}$	$1_{<0^\circ}$	$1_{<0^\circ}$	$1_{<0^\circ}$	$J_0$
2 <sup>nd</sup> Conf.	$1_{<180^\circ}$	$1_{<180^\circ}$	$1_{<0^\circ}$	$1_{<0^\circ}$	$J_1, J_1'$
3 <sup>rd</sup> Conf.	$1_{<0^\circ}$	$1_{<180^\circ}$	$1_{<0^\circ}$	$1_{<180^\circ}$	$J_2$

Tabla 1. Alimentaciones (Módulo y Fase) para la excitación de los diferentes modos característicos de la antena.

La Tabla 1 resume las amplitudes y fases que debemos aplicar en cada puerto de alimentación con el objetivo de excitar los modos característicos  $J_0$ ,  $J_1$ ,  $J_1'$  y  $J_2$ . La forma de extraer los modos característicos de la antena es mediante la Teoría de Modos Característicos, desarrollada por Harrington y Mautz [10].

La Fig.3 muestra las distribuciones de corriente obtenidas a 2.45 GHz mediante las tres configuraciones descritas en la Tabla 1. Las flechas se han incluido para una visualización más clara del flujo de corriente. Para la obtención de estas distribuciones se ha usado el software de simulación electromagnética CST Microwave Studio. Se puede observar que mediante la primera configuración el modo excitado es el  $J_0$ , cuyas corrientes forman un lazo cerrado alrededor del anillo. La segunda configuración excita los modos degenerados  $J_1$  y  $J_1'$  simultáneamente, donde obtenemos una distribución de corriente con nulos a  $-45^\circ$  y  $135^\circ$ . Finalmente, la tercera configuración excita el modo de orden superior  $J_2$ , con nulos de radiación a  $\pm 45^\circ$  y  $\pm 135^\circ$ .

En la Fig.4 se muestra la simulación de las pérdidas de retorno para cada una de las configuraciones propuestas en la Tabla 1. Como se puede observar todas las resonancias están en torno a los 2.45 GHz.

Finalmente, la Fig.5 muestra los diagramas de radiación de la antena a 2.45 GHz para cada una de las tres configuraciones de alimentación. Estos diagramas 3D han sido simulados con CST Microwave Studio. Como era de esperar, cada diagrama asociado a cada modo excitado según su configuración de alimentación es ortogonal a los demás, lo que proporciona comportamiento MIMO mediante la antena multimodo.

#### IV. CONCLUSIONES.

En esta comunicación se ha demostrado que es posible obtener comportamiento MIMO mediante una única antena, sobre sustrato textil y combinando diagramas de radiación ortogonales. El modo de operación de la antena propuesta la hace muy interesante para aplicaciones corporales, tanto por motivos de atenuación (bloqueo corporal y propagación multicamino) como por motivos de integración en prendas textiles.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia Español bajo el contrato TEC2007-66698-C04-03 y por la Generalitat Valenciana bajo el contrato GVPRE/2008/ 392.

#### REFERENCIAS

- [1] [www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com)
- [2] A. Rahman, A. Alomainy and Y. Hao, "Compact Body-Worn Coplanar Waveguide Fed Antenna for UWB Body-Centric Wireless Communications," EuCAP Conference, November 2007.
- [3] [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org)
- [4] T. Svantesson, "Correlation and Channel Capacity of MIMO Systems Employing Multimode Antennas," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 51, no. 6, November 2002.
- [5] C. Waldschmidt, and W. Wiesbeck, "Compact Wide-Band Multimode Antennas for MIMO and Diversity," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 52, no. 8, pp. 1963-1969, August 2004.
- [6] J. Grzyb, I. Ruiz, and G. Tröster, "An investigation of the material and process parameters for thin-film MCM-D and MCM-L technologies up to 100 GHz," in Proc. 53rd Electron. Compon. Technol. Conf. (ECTC2003), New Orleans, LA, May 2003, pp. 478-486.
- [7] F. Schnieder, W. Heinrich, "Model of Thin-Film Microstrip Line for Circuit Design," IEEE Trans. MTT, pp.104-110, vol.49, no.1, Jan. 2001.
- [8] E. Hammerstad and O. Jensen, "Accurate models for microstrip computer-aided design," in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., 1980, pp. 407-409.
- [9] T. Svantesson, "An Antenna Solution for MIMO Channels: The Multimode Antenna," in conf. Record 34th EUR. Microwave Conf., vol. 2, 2000, pp. 1617-1621.
- [10] R. F. Harrington and J. R. Mautz, "Theory of Characteristic Modes for Conducting Bodies," IEEE Trans. Antennas Propagat., AP-19, 5, September 1971, pp. 622-628.

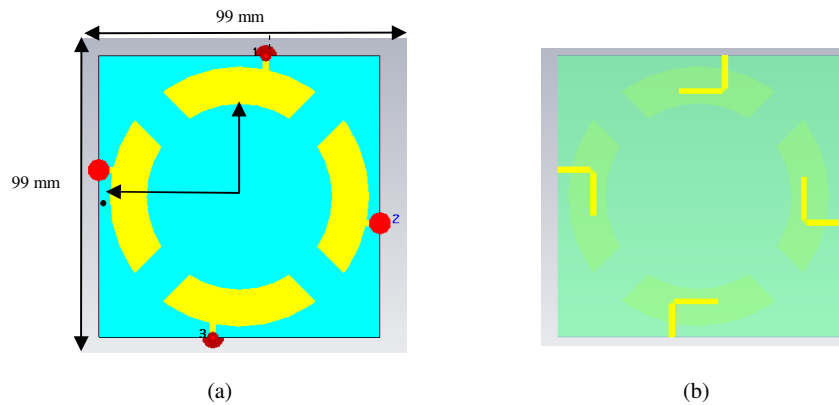


Fig.1. Geometría de la antena multimodo: (a) Anillo radiante con cuatro puertos de alimentación. (b) Líneas de alimentación Microstrip.

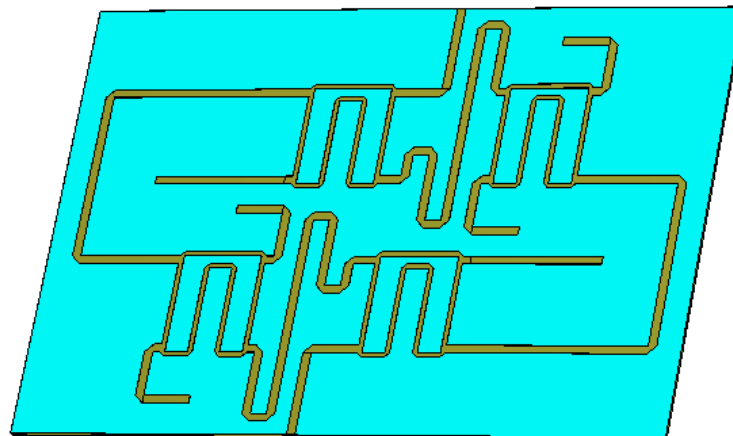


Fig.2. Estructura de la red de híbridos para la obtención de las fases específicas en cada puerto.

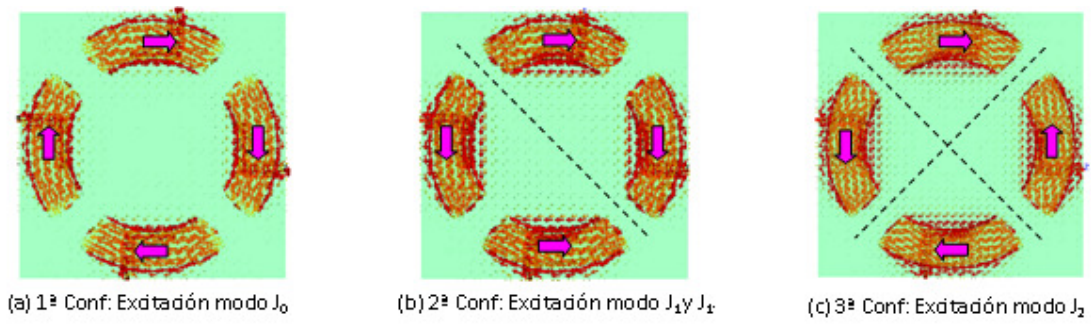


Fig.3. Distribución de corriente simulada a 2.45 GHz para las configuraciones de alimentación propuestas en la tabla 1.

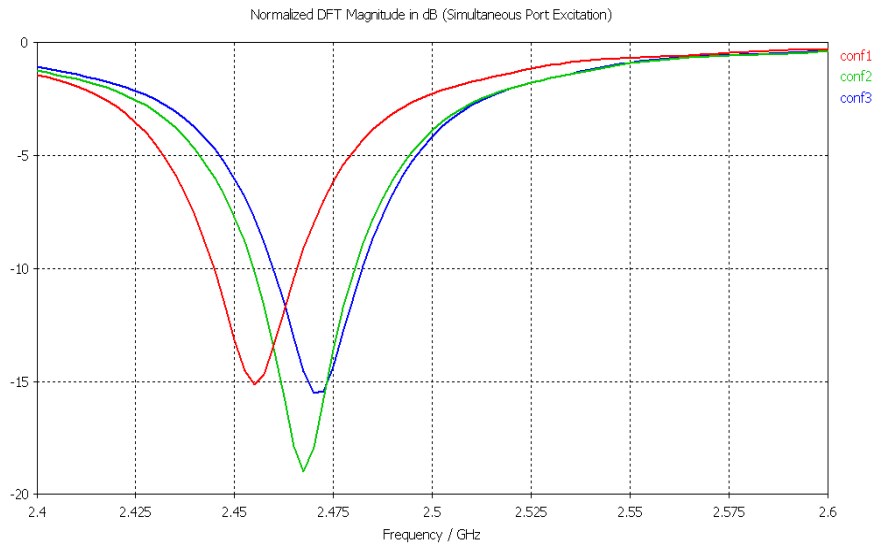


Fig.4. Perdidas de retorno para cada una de las configuraciones propuestas en la Tabla 1.

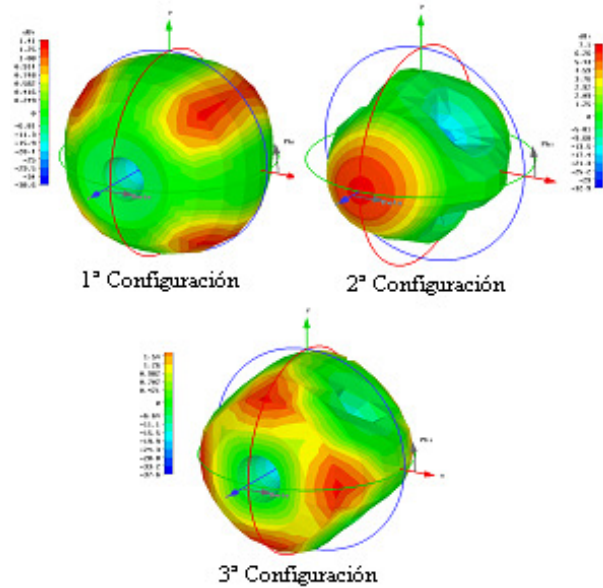


Fig.5. Diagramas de radiación a 2.45 GHz para cada una de las diferentes configuraciones.