

# EVALUACIÓN DEL SAR PROVOCADO POR UNA ANTENA PIFA PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

**Por:** MSc. Domingo Pimienta del Valle; Dr. Raidel Lagar Pérez; Ing. Maura Padrón Cruz, Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”; Ing. Lester M. Bustio Canals, Especialista de la Empresa Copextel de Pinar del Río.  
*domipimientav@gmail.com; lagar@upr.edu.cu; mauratkm@gmail.com; lester@pr.copextel.com.cu*



## RESUMEN

Por la cercanía en que operan los dispositivos con respecto al usuario es necesario controlar la radiación hacia este. Uno de los parámetros empleados para evaluar la radiación absorbida por el tejido biológico del usuario es el parámetro SAR —*Specific Absorption Rate*— el cual se encuentra regulado por normas internacionales y nacionales. Por este motivo en el presente trabajo se evalúa de manera simulada el impacto de la radiación de una antena PIFA que opera en las bandas GSM 900 y 1800, en un modelo SAM —*Specific Anthropomorphic Mannequin*— de cabeza y mano empleando el software CST MICROWAVE STUDIO. Como resultados se obtiene la distribución de SAR para 1 g de tejido biológico en los modelos analizados, y se evalúa el impacto de la colocación de los modelos de cabeza y usuario cerca del terminal.

**Palabras clave:** radiación, PIFA, antena para dispositivos móviles, evaluación del SAR

## ABSTRACT

*Due to the proximity of equipment performance in relation to users, it is required radiation towards the latter. One of the parameters used to assess radiation assimilated by the user's biological tissue is the SAR parameter —Specific Absorption Rate— regulated by international and national standards. For this reason, this paper assesses, in a simulated manner, the PIFA antenna radiation impact operating in GSM 900 and 1800 bands, in a SAM model —Specific Anthropomorphic Mannequin— head and hand using the software CST MICROWAVE STUDIO. As a result, SAR distribution for 1 g of biological tissue in models analyzed is obtained; the impact of head model allocation and user near equipment is assessed.*

**Key words:** radiation, PIFA, antenna for mobile equipment, SAR assessment

## Introducción

Un diseño óptimo y una antena integrada no solo permiten una conexión confiable de los terminales de comunicaciones personales inalámbricas independientemente de la orientación, sino que ayudan a prever un consumo excesivo de la batería mejorando la eficiencia. Como la unidad normalmente opera en una región cercana al usuario, es necesario entender y tener en cuenta la interacción mutua entre la antena y el cuerpo humano. La implementación de la antena representa un proceso cíclico donde intervienen cuatro etapas [1] y se detiene cuando el diseño alcanza los requerimientos esperados. En el presente trabajo, solo se tendrá en cuenta la etapa del diseño de antena y la evaluación de la interacción de la antena y el usuario.

Estudios han revelado que más de 90% de los teléfonos móviles en el mercado presentan dos tipologías de antena fundamentales: antenas monopolos (estructuras abiertas) y antenas PIFA —*Planar Inverted F Antenna*— (estructuras cerradas) [2]. Estas comúnmente son internas a los dispositivos. La mayoría de los fabricantes han adoptado confinar la antena dentro del dispositivo, fundamentalmente por razones mecánicas y estéticas, así como por ser menos propensas a dañarse. Estas son básicamente soluciones basadas en configuraciones de antenas planas. Como es conveniente poseer un dispositivo móvil que pueda operar en diversas bandas

de frecuencia, es común encontrar antenas PIFA que tengan comportamiento multibanda. Existen diversas maneras de lograr que esta trabaje en más de una banda de trabajo [3-7] como la técnica de insertar ranuras en el parche radiador.

Con el objetivo de realizar evaluaciones del impacto de la radiación de las antenas de dispositivos móviles en los usuarios, se han desarrollado diversos modelos para simular la composición del tejido humano. Sin embargo, el equipamiento de prueba es costoso, por lo que resulta conveniente realizar estas pruebas de manera simulada empleando softwares.

Existen en la bibliografía internacional consultada diversos artículos que evalúan el impacto de las antenas diseñadas sobre distintos modelos, construyéndose uno de mano [3], o empleando el CST MICROWAVE STUDIO (CST MWS) mediante un SAM —*Specific Anthropomorphic Mannequin*— [5], [6] para evaluar el SAR. Sin embargo, a pesar del interés que se le ha dado al diseño de antenas en la bibliografía nacional, no se encuentra abundante información sobre el tema de la evaluación del SAR. Por lo antes expuesto, se considera necesario realizar evaluaciones al impacto del SAR a los dispositivos móviles que se puedan diseñar o comprar para ser empleados en la sociedad. Siguiendo esa necesidad, en el presente trabajo, se presenta

de manera simulada la evaluación del impacto de la radiación de una antena PIFA doble banda en un modelo SAM de cabeza y mano. Primeramente, se presenta una antena PIFA diseñada para operar las frecuencias del estándar GSM 900 y 1800. Posteriormente, se define el parámetro SAR empleado frecuentemente en la evaluación del impacto de la radiación en el usuario. Por último, se presentan los resultados simulados obtenidos con el software CST MWS.

**Consideraciones para la simulación**

**Obtención del comportamiento multibanda de la PIFA**

Para obtener la doble frecuencia de resonancia se sigue el principio de diseñar dos estructuras por separado que aporten las frecuencias de resonancias independientemente (realizar el diseño de una PIFA para la banda GSM 900 y otro para la de GSM 1800) y luego integrarlas. Mediante modificaciones a sus dimensiones es posible reajustar las frecuencias de resonancias. [6]

Los parámetros geométricos finales de la antena se muestran en la tabla 1. Para obtener la estructura final de la figura 1 que

se muestra se partió de unir las dimensiones de un parche diseñado para la frecuencia GSM 1800 y el GSM 900 manteniendo las posiciones del pin de cortocircuito y la alimentación.

Para la obtención de los valores iniciales de los parches se empleó la siguiente ecuación [8]:

$$(L + W + h)\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}} \approx \frac{\lambda}{4} \text{ donde } (1) \epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_{\text{aire}} (h_s + h_{\text{aire}})}{\epsilon_r \cdot h_{\text{aire}} + \epsilon_{\text{aire}} \cdot h_s} \quad (1)$$

Donde  $L$  y  $W$  representan las dimensiones del parche,  $h$  la altura del pin de cortocircuito,  $\lambda$  la longitud de onda y  $\epsilon_{\text{reff}}$  es la constante dieléctrica efectiva entre el aire y el sustrato FR-4. Entre los dos parches se deja una separación con los valores de la tabla 1, y se les une mediante 1 mm de cobre. La separación entre el borde donde se encuentra el pin de cortocircuito y la alimentación es de 4 mm.

Los ajustes finos a la estructura se realizarán mediante reducciones al borde exterior (reducción vertical) para ajustar

Parámetro	Valor (mm)	Parámetro	Valor (mm)	Parámetro	Valor
L	16	G <sub>2</sub>	2	h (altura del pin)	7,58 mm
L <sub>1</sub>	8	ε <sub>r</sub> (constante dieléctrica del FR-4)	4,3	tan δ (tangente de pérdidas del FR-4)	0,025
W <sub>1</sub>	34,2	h <sub>aire</sub> (altura de aire)	6	Pin de cortocircuito	0,6 x 1mm <sub>2</sub>
W <sub>2</sub>	44	h <sub>s</sub> (altura de FR-4)	1,58	Altura vertical total	8,215 mm
W <sub>3</sub>	26,7	h <sub>pt</sub> (altura del plano tierra metálico)	0,6	h <sub>c</sub> (grosor del parche)	0,035
G <sub>1</sub>	1,5				

Tabla 1. Parámetros geométricos de la antena PIFA. Fuente: Elaboración propia.

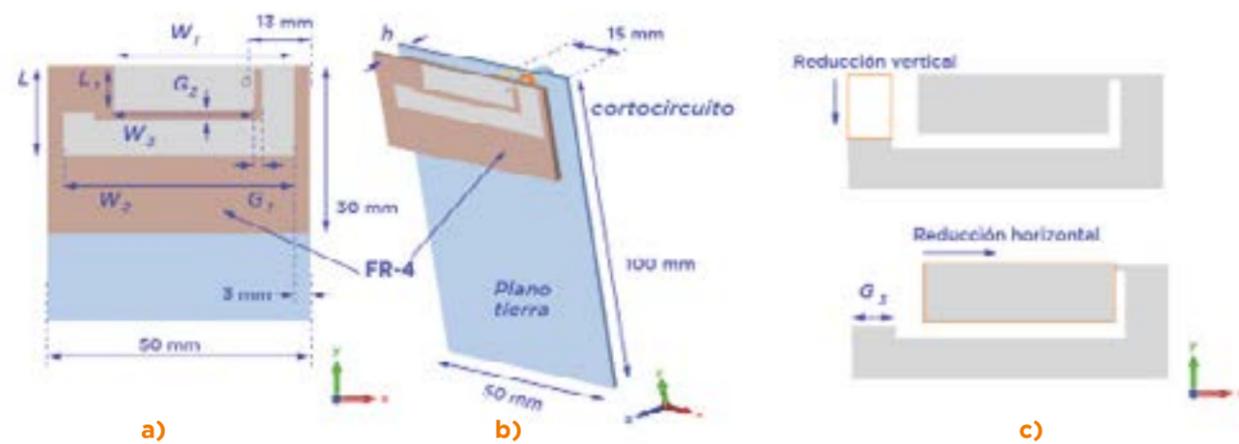


Figura 1. Configuración para la PIFA. a) vista frontal, b) vista en perspectiva, c) reducciones a la estructura para un ajuste fino de las frecuencias. Fuente: Elaboración propia.

la frecuencia inferior, y reducciones al tamaño del parche interior (reducción horizontal) para ajustar la frecuencia superior, como se muestra en la figura 1c.

Los ajustes finos a la estructura se realizarán mediante reducciones al borde exterior (reducción vertical) para ajustar la frecuencia inferior, y reducciones al tamaño del parche interior (reducción horizontal) para ajustar la frecuencia superior, como se muestra en la figura 1c.

En la figura 2 se muestra el coeficiente de reflexión (parámetro S<sub>11</sub>) y el patrón de radiación de la antena diseñada. Se toma como valor límite de ancho de banda el valor de S<sub>11</sub>=-6 dB para dispositivos móviles [1]. Los principales parámetros obtenidos se muestran en la tabla 2.

**Razón de Absorción Específica (SAR)**

Los campos electromagnéticos provocados por las corrientes en la superficie y bordes de la antena se propagan cuando las manos y la cabeza del usuario están cercanas a la estructura. Esta exposición a la radiación, si no se regula, puede causar daños a la salud del usuario. Para antenas de dispositivos de manos, localizados cercanos al tejido humano, una porción de la potencia radiada por la antena es absorbida por el tejido. La razón de absorción específica (SAR) se define como la derivada en el tiempo de la energía incremental (dW) absorbida por una masa incremental (dm) contenida en un elemento de volumen (dV) de una densidad de masa del tejido dada (ρ).

Siendo σ la conductividad del tejido, E es la amplitud total del campo eléctrico (valor cuadrático medio), y J es el vector de densidad de corriente.

El SAR es un parámetro importante cuando se discute los riesgos de salud asociados con la absorción de la potencia electromagnética. Organizaciones nacionales e internacionales brindan estándares para el SAR máximo permitido (valor máximo de la ecuación (2) para un promedio de masa dada) producto a las antenas en los dispositivos móviles. El estándar ANSI/IEEE C95.3-2002 RF Safety Guideline [9] sugiere que el SAR total debe ser menor que 0,08 W/Kg como promedio para un cuerpo entero, y no se debe exceder de un valor máximo espacial de 1,6 W/kg, como promedio sobre 1 g de tejido cualquiera (definido como volumen de tejido en forma de cubo), excepto para las manos, muñecas, pies, y tobillos donde el pico espacial de SAR no debe exceder los 4 W/kg, como promedio sobre 10 g de tejido cualquiera (definido como un volumen de tejido en la forma de un cubo). En Cuba, la Resolución Número 8 del 2015 del Ministerio de Comunicaciones [10] referencia el valor máximo de 1,6 W/kg para la Tasa de Absorción Específica (TAE, denominación cubana del SAR) como promedio sobre 1 g de tejido, sin ir más allá.

$$SAR = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{\rho \cdot dV} \right) = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2 = \frac{J^2}{\sigma \cdot \rho} \quad [W/kg] \quad (2)$$

Parámetro	Valores (GSM 900)	Valores (GSM 1800)
Ancho de banda	889-963 MHz(74 MHz)	1744-1883 MHz(139 MHz)
Ganancia/ Directividad Máximas	1,23 dB /2,34 dBi	3,98 dB /4,23 dBi
Impedancia de entrada (920 MHz)	58 -j,2,2 ff (a 920 MHz)	45 -j,10,2 ff (a 1800 MHz)

Tabla 2. Principales parámetros de las antenas PIFA. Fuente: Elaboración propia.

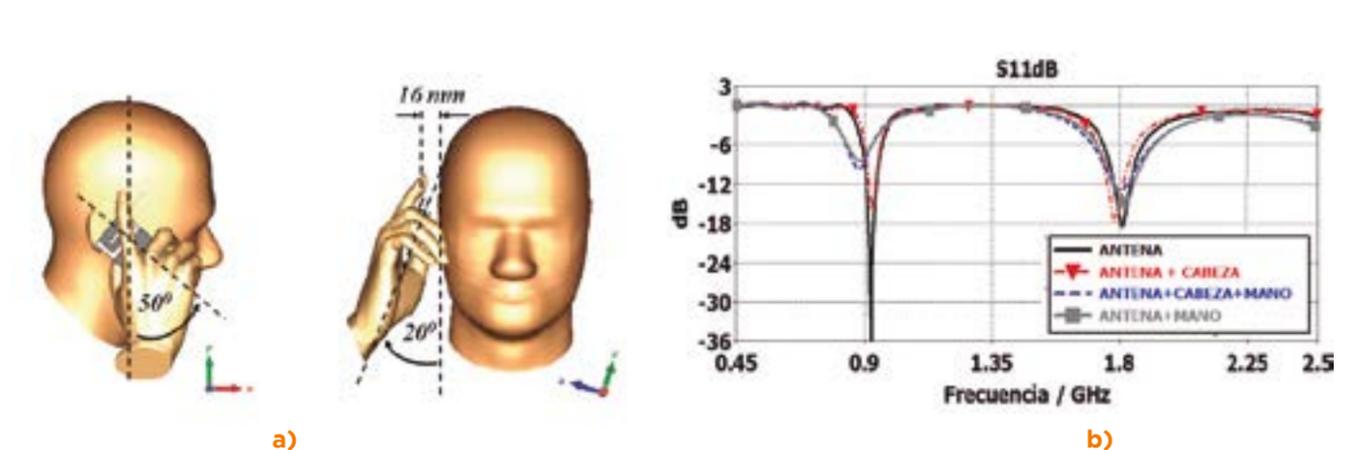


Figura 2. a) Vista de la antena PIFA con los modelos de cabeza y mano, b) Comparación de S<sub>11</sub> según las diferentes configuraciones PIFA-cabeza-mano. Fuente: Elaboración propia.

### Resultados de la evaluación del SAR

Para realizar la evaluación del SAR se emplearán los modelos de cabeza y mano dados por el software CST MWS, con las propiedades de la tabla 3.

Las potencias radiadas por la antena en cada banda se seleccionan a partir de valores prácticos del estándar GSM [7], donde se emplea una potencia de 24 dBm (0,25 W) para la frecuencia de la banda GSM 900 y una potencia de 21 dBm (0,125 W) para las bandas de frecuencias superiores. Esto se debe a que las potencias máximas en que pueden transmitir los móviles en el sistema GSM son de 2W a 900 MHz y de 1 W a 1800 MHz. Sin embargo, como se emplea TDMA, la potencia promedio

es mucho menor (aproximadamente la octava parte: 0,25 W y 0,125 W respectivamente). La configuración de los modelos y la antena se representa en la figura 1, existiendo una separación entre la cabeza y la antena de 16 mm.

Se realizaron tres experimentos para evaluar la interacción entre la antena y los modelos: antena-cabeza, antena-mano, y antena con cabeza y mano. En la figura 2b se muestra el parámetro  $S_{11}$  para los tres experimentos simulados. Los resultados de su evaluación SAR son los mostrados en la tabla 4, y su distribución se muestra en la figura 3a. Además, en la figura 3b se muestran los patrones de radiación para la antena interactuando con la cabeza y la mano.

	920 MHz			1800 MHz		
	$\epsilon_r$	$\sigma$ (s/m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\epsilon_r$	$\sigma$ (s/m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
SAM	41,46	0,0016	1000	40	0,0016	1000
mano	20	1	1000	20	1	1000

Tabla 3. Modelos de cabeza y mano empleados con el software CST MWS. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	cabeza		mano		cabeza	
	0,92 GHz	1,8 GHz	0,92GHz	1,8GHz	0,92GHz	1,8GHz
Potencia de entrada simulada (W)	0,25	0,125	0,25	0,125	0,25	0,125
SAR total (potencia absorbida en tejido/ masa del tejido (rms) (W/kg))	0,016	0,004	0,230	0,158	0,027	0,016
SAR máximo para la masa analizada (rms) (W/kg)	0,945	0,398	6,496	1,803	6,425	1,829

Tabla 4. Parámetros SAR para un volumen de 1g de masa. Fuente: Elaboración propia.

### Conclusiones

La antena presentada opera satisfactoriamente en las bandas GSM900 y 1800, y es el resultado del diseño de dos estructuras independientes que luego son integradas y sintonizadas. Al evaluar la interacción antena-modelos con el software CST MWS, se observa que la introducción de la mano es la que más influye en el funcionamiento de la antena, al provocar una disminución marcada en la frecuencia de la banda GSM 900, sin embargo en la segunda banda la contribución es moderada, esto se debe a la composición del modelo. Este mismo estudio se puede realizar en dispositivos de las futuras redes 3G y 4G.

El parámetro SAR máximo no es excedido para la interacción cabeza-antena, mientras que el parámetro SAR total es cumplido para la interacción antena con cabeza y manos. Además, del patrón de radiación de la estructura se observa que este se encuentra direccionado en sentido opuesto al modelo de cabeza del usuario, esto resulta conveniente, ya que esta es la zona más sensible y por tanto necesaria a proteger en el usuario.

Los modelos empleados se consideran buenos para una aproximación inicial. Sin embargo, si se desea realizar una evaluación más profunda de la interacción de la antena con el usuario es necesario emplear modelos más realistas y los demás componentes de un dispositivo móvil.

### Referencias bibliográficas

- [1] Balanis, C. A. *Modern Antenna Handbook*, John Wiley & Sons, Inc. 2008.
- [2] Picher, C.; Risco, S. y Anguera, J. “Análisis del comportamiento de antenas multibanda en presencia del cuerpo humano”. 8vo. Certamen Universitario “Arquimides”, Universidad “Ramón Llull”, España, 2009.
- [3] Vehovský, R.; Pokorný, M. y Pitra, K. “User Hand Influence on Properties of a Dual-Band PIFA Antenna”. *Radioengineering*, vol. 23, no. 3, pp. 819-823, 2014.
- [4] Huang, Y. y Boyle, K. *Antennas: From Theory to Practice*, John Wiley and Sons Ltd. 2008.
- [5] Firoozy, N. y Shirazi, M. “Planar Inverted-F Antenna (PIFA) Design Dissection for Cellular Communication Application”. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, Vol. 3, pp. 406-411, 2011.
- [6] Padrón Cruz, M. “Diseño de antenas PIFA para dispositivos móviles con estándar GSM”. UPR, Pinar del Río, 2015.
- [7] Montaser, A. M.; Mahmoud, K. R. y Elmikati, H. A. “An interaction study between PIFAs handset antenna and a human handhead in personal communications”. *Progress In Electromagnetics Research B*, vol. 37, pp. 21-42, 2012.
- [8] Kumar, G. y Ray, K. *Broadband Microstrip Antennas*. Artech House, Inc. pp. 58-60, 2003.
- [9] ANSI/IEEE C95.1: American National Standard. “Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz”. New York, 1999.
- [10] MINCOM. “Resolución No. 8/2015”. La Habana, 2015.

(Artículo recibido en noviembre de 2015 y aprobado en enero de 2016)

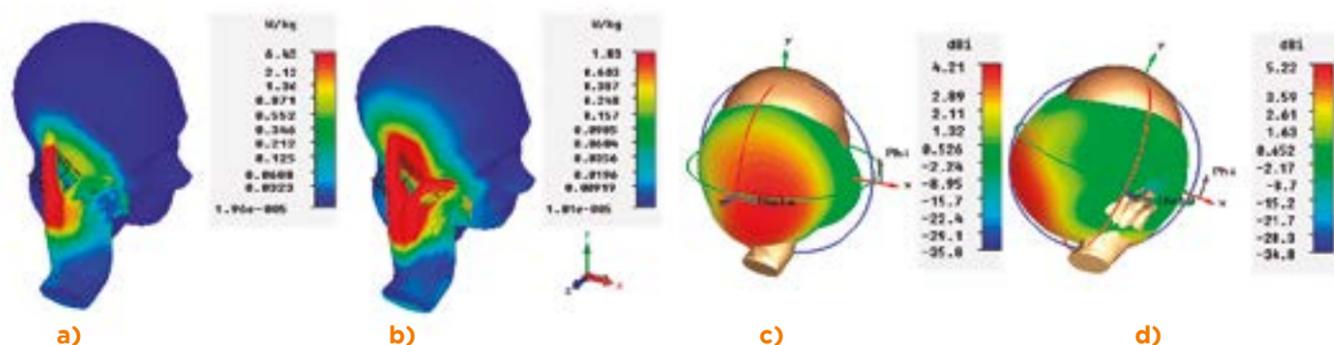


Figura 3. Distribución del SAR (1g) a) para 920 MHz y b) para 1800 MHz, y Patrón de radiación (directividad) c) para 920 MHz y d) para 1800 MHz. Fuente: Elaboración propia.