

# Análisis comparativo de las características de radiación de antenas monopolo de microcinta para dispositivos móviles basados en tecnología 4G - LTE

Rainer García Aldama, José Luis Medina Monroy, Ricardo Arturo Chávez Pérez

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada; Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas, C.P. 22860, Ensenada, B. C. México.  
rainer@cicese.edu.mx, jmedina@cicese.mx, chavez@cicese.mx

*Paper received on 01/10/12, Accepted on 25/10/12.*

**Abstract.** En este trabajo se presenta el análisis comparativo de tres estructuras diferentes de antenas impresas tipo monopolo, diseñadas para dispositivos móviles 4G basados en tecnología LTE. Estas estructuras deberán cubrir las bandas de microondas de ultra-ancho de banda definidas para LTE, manteniendo un tamaño reducido adecuado para dispositivos móviles. Se realiza un análisis comparativo de resultados del análisis electromagnético de las tres estructuras diseñadas con respecto al ancho de banda de impedancias, el patrón de radiación, la ganancia y el tamaño de los mismos. Entre los resultados, se han logrado antenas pequeñas con ganancia, patrones de radiación omnidireccionales y anchos de banda fraccionales superiores al 93%, entre otros.

**Keywords:** antena de microcinta, antena monopolo, banda ultra-ancha (UWB), comunicaciones inalámbricas 4G.

## 1 Introducción

Los requerimientos de servicios cada vez mayores de las redes de comunicaciones móviles, han llevado consigo un desarrollo vertiginoso de las tecnologías móviles existentes, en busca de ofrecer un mayor ancho de banda y de incrementar la eficiencia espectral de los sistemas de comunicaciones existentes. La tecnología móvil de 4ta generación LTE (Long Term Evolution) aparece como una solución viable a los requerimientos establecidos.

LTE brinda la posibilidad de seleccionar entre un gran número de canales y bandas de frecuencia de microondas, en el momento de realizar su implementación y posterior explotación. Estas bandas de frecuencia de microondas comienzan desde los 1428MHz y se extienden hasta los 2690MHz, lo cual constituye el único requerimiento de un sistema 4G – LTE relativo a las antenas. El resto de los requerimientos de la interfaz aérea 4G – LTE están relacionados con el aprovechamiento

to óptimo de las capacidades del canal, el traspaso suave entre celdas y el control de potencia de la señal, por lo que no son de interés para el tema abordado.

En aras de permitir que los dispositivos móviles 4G sean capaces de operar en diferentes bandas, ampliando su mercado y su posible área de cobertura, se han desarrollado estructuras radiantes capaces de cubrir bandas específicas del espectro donde se han detectado solicitudes de autorización de licencias de explotación. Estas estructuras generalmente se presentan como sistemas radiantes del tipo multi-banda, capaces de abarcar regiones discretas dentro de determinado rango de frecuencias, a través de múltiples resonancias, mayormente de banda estrecha. Estructuras como las descritas pueden encontrarse en la literatura [1–5].

Sin embargo, la norma LTE define bandas de comunicaciones que se presentan de forma continua en el espectro. Esto ocasiona que en las regiones del espectro que se encuentran entre las resonancias multi-banda anteriormente descritas, las estructuras radiantes posean valores de pérdidas por regreso tales que no puedan ser consideradas aceptables para ser utilizadas, debido al desacoplamiento de la antena con el receptor y transmisor del equipo y ocasiona una pérdida de cobertura para el dispositivo móvil.

Recientemente se han hecho esfuerzos de desarrollar estructuras de antenas de banda ultra-ancha diseñadas para cubrir regiones amplias del espectro. A pesar de ello, las estructuras encontradas en la literatura [6–10] presentan un límite inferior de su banda de trabajo, superior al requerido para cubrir las primeras bandas de frecuencia de microondas autorizadas para LTE cercanas a los 1428 MHz. Una reducción de la frecuencia mínima de operación de estas estructuras, ocasiona un aumento de sus dimensiones físicas, lo cual dificulta su implementación o instalación dentro de un dispositivo móvil 4G - LTE.

En este trabajo, se presentan resultados del diseño y análisis electromagnético de tres estructuras geométricas diferentes de antenas monopolo diseñadas para: cubrir el rango de frecuencias requerido para la aplicación 4G – LTE, tener un patrón de radiación omnidireccional que permite incrementar la cobertura espacial, y mantener un tamaño reducido. Asimismo, se presenta una comparación de los resultados de las tres estructuras estudiadas, incluyendo sus patrones de radiación, anchos de banda, ganancias y pérdidas por regreso en toda la banda de trabajo.

## 2 Análisis de las Antenas Monopolio

Se efectúa el análisis electromagnético de tres estructuras de antenas monopolo: la triangular, la rectangular y la circular en el intervalo de frecuencias de 500MHz a 5GHz mediante el software CST Microwave Studio®. Las tres estructuras se diseñaron empleando un substrato FR-4 con espesor  $h = 1.5778\text{mm}$ , permitividad  $\epsilon_r = 4.08$  y tangente de pérdidas  $Tan\delta = 0.018$ , lo cual permite disminuir los costos de fabricación; sin embargo pueden obtenerse estructuras más pequeñas utilizando substratos con mayor permitividad, pero a un costo mayor.

Para definir si el tamaño de la antena es adecuado para un dispositivo móvil 4G se consideraron los dispositivos de última generación desarrollados por las empresas líderes que dominan el mercado actual en esta materia: Samsung, Apple, BlackBerry y Nokia. El equipo con menor ancho ( $We=58.6\text{mm}$ ) es el de la gama iP-

hone (versiones 4, 4S y 5) y el de menor altura ( $Le=105\text{mm}$ ) es el Blackberry Bold. Por lo tanto estas dimensiones establecen el tamaño máximo que deberán cumplir las antenas monopolo a diseñar.

## 2.1 Antena Monopolo Triangular

La geometría del monopolo triangular propuesto se muestra en la Fig. 1, conjuntamente con el valor y descripción de cada una de las variables de diseño. La antena ocupa un área total de  $74.5 \times 44 \text{ mm}$ , lo cual constituye una opción viable tomando en consideración el requerimiento definido.

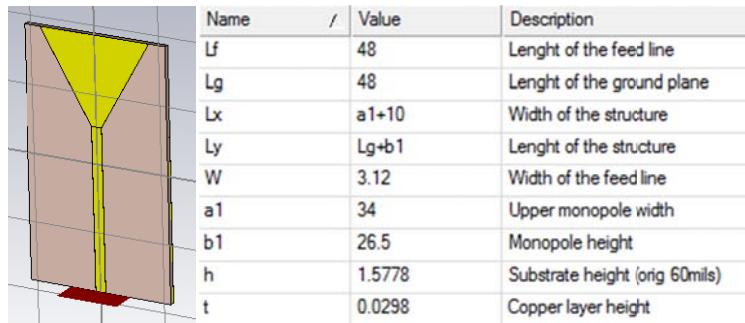


Fig. 1. Antena monopolo triangular y sus variables de diseño

Es importante mencionar que la longitud de la línea de alimentación  $L_f$  y la altura del monopolo  $b_1$  establecen la frecuencia mínima de la banda de trabajo.

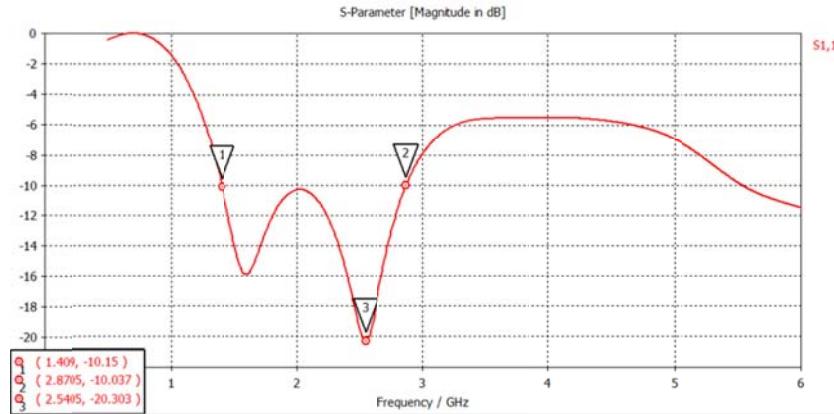
Los resultados del análisis de la antena monopolo triangular presentan dos frecuencias de resonancia. Al disminuir el parámetro  $a_1$  se provoca un acercamiento entre ambas frecuencias de resonancia, así como una disminución del ancho de banda de impedancias. Por el contrario si se aumenta el parámetro  $a_1$ , las frecuencias de resonancia se separan, a expensas de aumentar las pérdidas en la región intermedia entre ambas resonancias, llegando a exceder el límite de los -10dB.

En la Fig. 2 se muestra como el ancho banda de impedancias para esta estructura queda definido entre 1.41GHz y 2.87GHz, obteniéndose un ancho de banda fraccional de 68.9%. Este rango de frecuencias cumple con el requisito de diseño de ancho de banda establecido. Se puede observar que la reflexión mínima se localiza en 2.54GHz, donde las pérdidas de retorno alcanzan los -20.3dB.

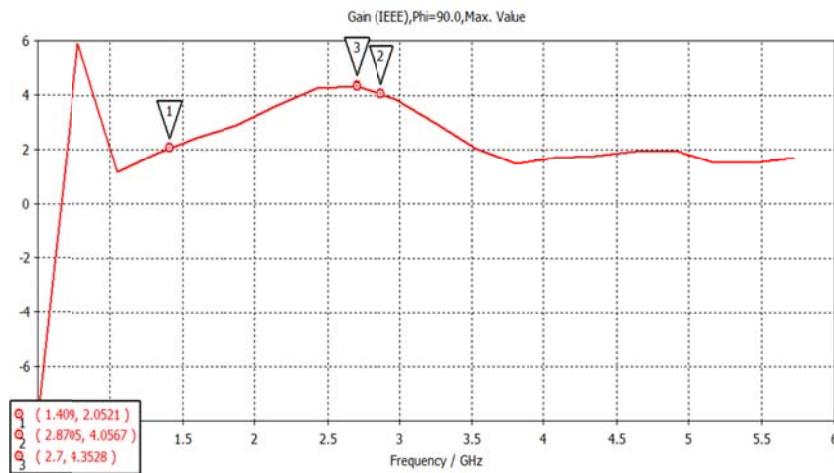
El comportamiento de ganancia de la antena triangular se muestra en la Fig. 3, donde los marcadores 1 y 2 representan los límites del ancho de banda de impedancias definido, mientras el marcador 3 señaliza la frecuencia a la cual se tiene la ganancia máxima, manteniéndose dicha ganancia en el rango de 2.05dB a 4.35dB.

El patrón de radiación de la antena triangular en el plano H se muestra en la Fig. 4 para las frecuencias límites de la banda de trabajo, ya que es omnidireccional en el plano E. A la frecuencia mínima, el patrón de radiación presenta un comportamiento omnidireccional, con máximos aproximadamente perpendiculares al plano de la antena. En el límite superior de la banda se observa un corrimiento de  $25^\circ$  en la dirección de máxima radiación, acompañado de un estrechamiento de  $30.6^\circ$  en

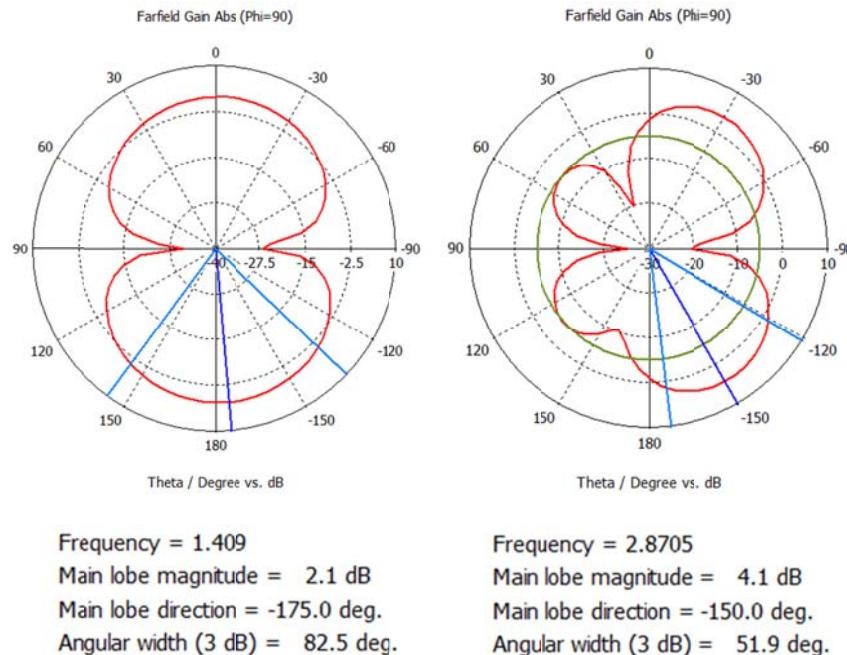
el ancho del haz de mediana potencia (HPBW). El comportamiento simétrico del patrón y su buen ancho del haz de mediana potencia, permiten al dispositivo móvil mejorar su rango espacial de cobertura.



**Fig. 2.** Pérdidas de retorno de la antena monopolo triangular



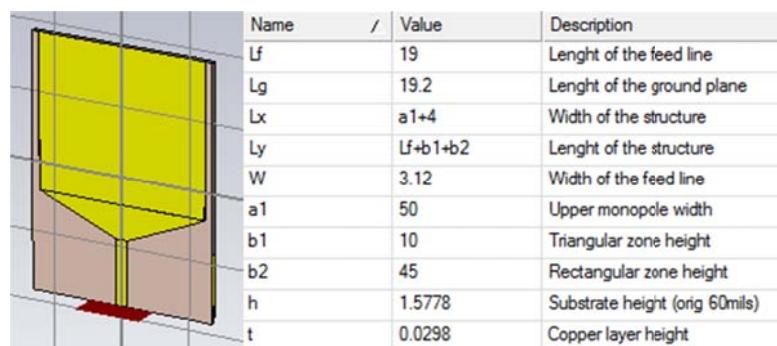
**Fig. 3.** Comportamiento de la ganancia en dB de la antena monopolo triangular



**Fig. 4.** Patrones de radiación de la antena triangular en 1.409GHz y 2.8705GHz

## 2.2 Antena Monopolo Rectangular

En la Fig. 5 se muestra la antena monopolo rectangular propuesta, así como los valores de cada variable de diseño. Esta antena presenta, al igual que la antena triangular, dos frecuencias de resonancia. La altura  $b_1$  del acoplador triangular determina si el monopolo se comporta como una antena de ultra-ancho de banda o del tipo multi-banda. La antena presenta un área de 74 X 54 mm, acorde con los requerimientos necesarios.



**Fig. 5.** Antena monopolo rectangular y sus dimensiones físicas

El comportamiento de las pérdidas por retorno se muestra en la Fig. 6, donde se puede apreciar su ancho de banda de impedancias desde 1.4GHz hasta 3.2GHz, con un ancho de banda fraccional de 78.6%, lo cual cumple con la especificación de diseño. Las pérdidas de inserción menores (-17.2dB) están localizadas en 1.667GHz.

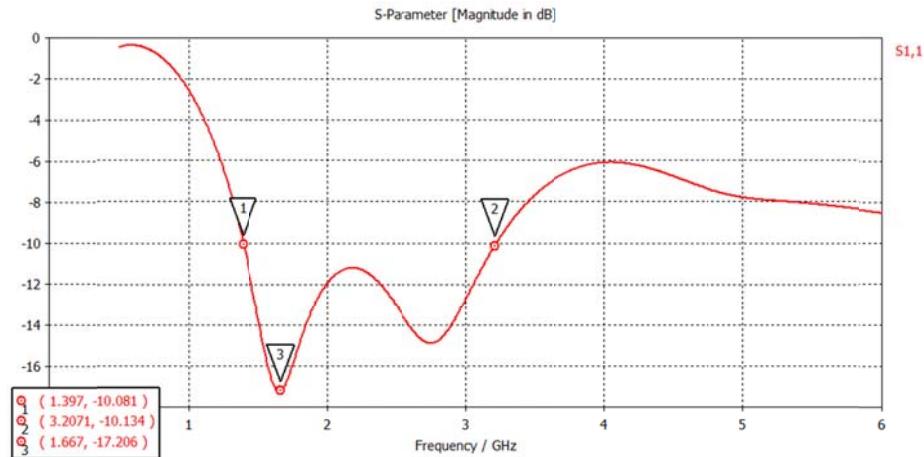


Fig. 6. Pérdidas de retorno de la antena monopolo rectangular

En la Fig. 7 se muestra el comportamiento de ganancia la cual está acotada entre 2.415dB y 4.9264dB dentro del mismo ancho de banda de impedancias. Los marcadores 1 y 2 representan los límites de la banda de trabajo, mientras el marcador 3 señala la frecuencia a la cual la ganancia es máxima.

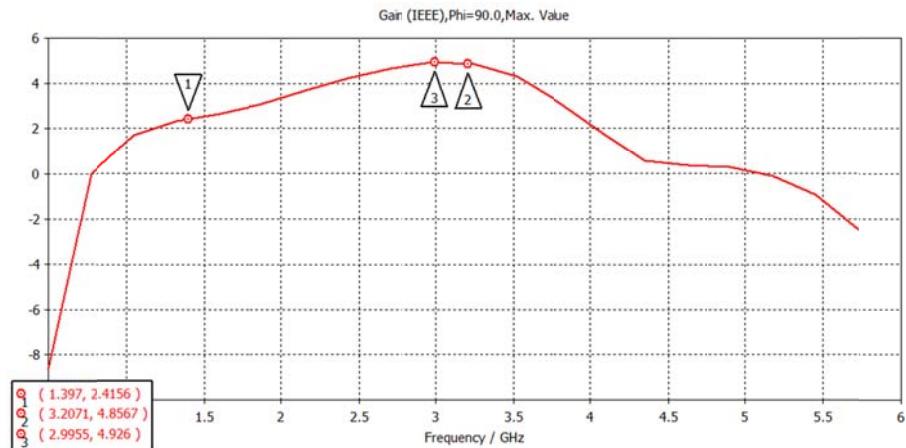
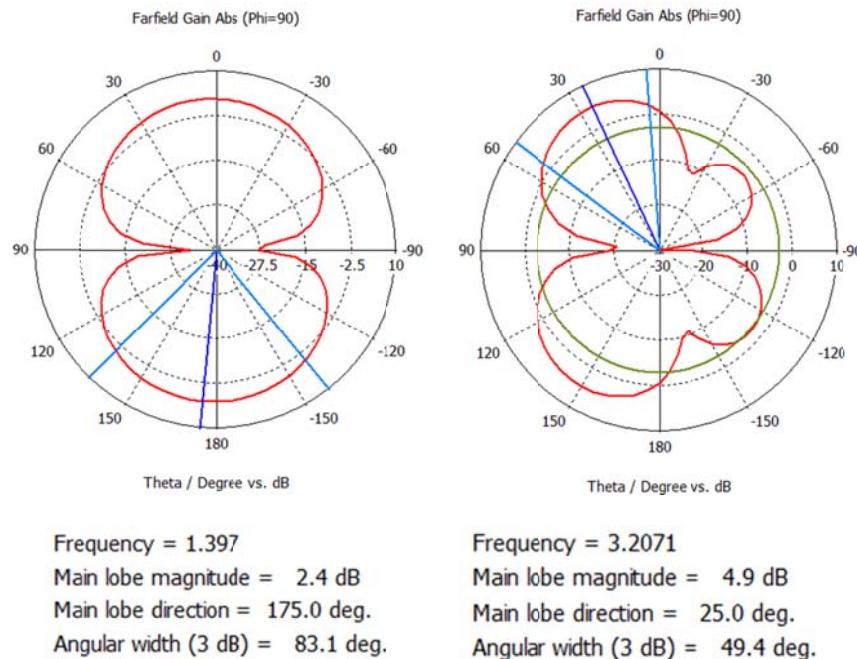


Fig. 7. Comportamiento de la ganancia en dB de la antena monopolo rectangular

En la Fig. 8 se muestra el comportamiento del patrón de radiación en el plano H, ya que en el plano E es omnidireccional. Se puede observar que en 1.397GHz la radiación es máxima en la dirección perpendicular al plano de la antena, mientras

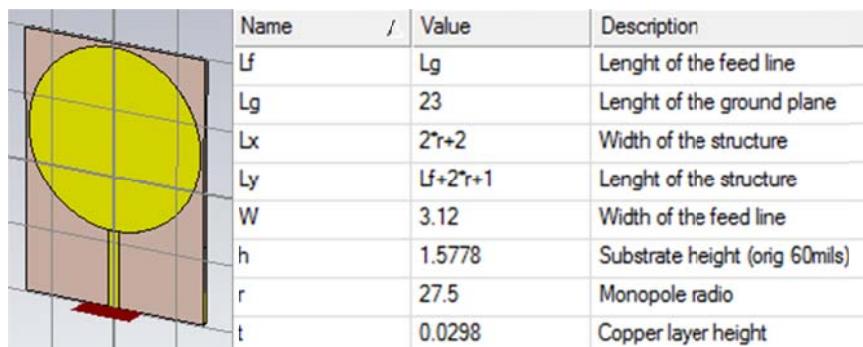
que a 3.2071GHz se presenta una reducción de  $33.7^\circ$  en el ancho del haz de mediana potencia así como un corrimiento de  $20^\circ$  en la dirección de radiación máxima.



**Fig. 8.** Patrones de radiación de la antena rectangular a 1.397GHz y 3.2071GHz

### 2.3 Antena Monopolio Circular

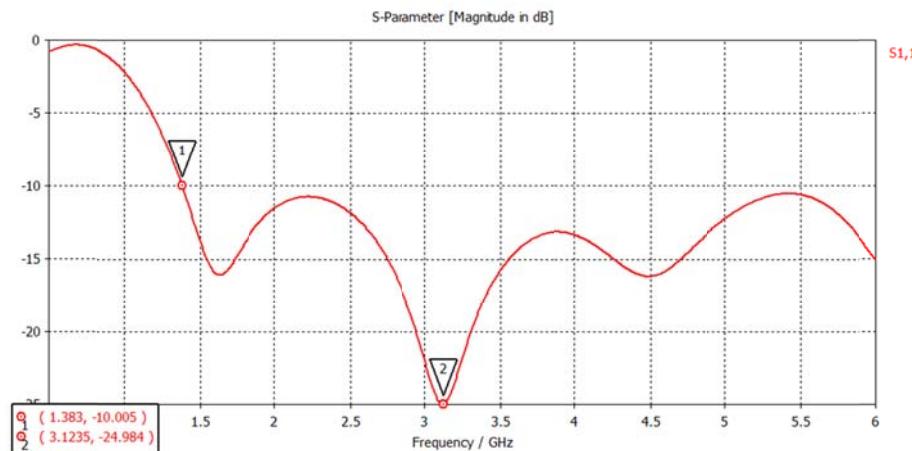
El tercer monopolio presenta una geometría circular y se muestra en la Fig. 9 con los valores correspondientes a todas sus variables de diseño. Esta antena presenta un área de 79 X 57 mm, lo cual cumple con las especificaciones de tamaño.



**Fig. 9.** Geometría y dimensiones físicas de la antena monopolo circular

A diferencia de los monopolos anteriores, donde cada una de las variables de diseño afectaba solo una de las dimensiones del plano, en este tipo de estructura la variación del radio del círculo afecta a ambas dimensiones espaciales. Esta condición impone una limitación de diseño.

En la Fig. 10 se muestra el comportamiento de las pérdidas por retorno, donde su ancho de banda de impedancias presenta como frecuencia límite inferior 1.383GHz y se extiende más allá de los 6GHz. El mejor valor de acoplamiento (-24.984dB) se encuentra en 3.1235GHz.



**Fig. 10.** Pérdidas de retorno de la antena monopolo circular

La Fig. 11 muestra el comportamiento de la ganancia en función de la frecuencia. A partir del inicio de la banda de trabajo de impedancias la antena posee ganancia hasta los 5.1GHz. Aunque el rango de frecuencias de interés para 4G – LTE culmina en los 2.69GHZ, dado el amplio ancho de banda de impedancias mostrado en la Fig. 10, se analiza su comportamiento hasta 3.8GHz ya que la estructura puede ser utilizada para dispositivos que implementen otras tecnologías móviles 4G, como WIMAX.

Se puede observar en la Fig. 11 que en el rango de frecuencias definido, la ganancia está acotada entre 2.176dB y 4.671dB. Se señalan los límites de esta banda 4G por medio de los marcadores 1 y 3, mientras el marcador 2 muestra la frecuencia a la que se alcanza la mayor ganancia y el marcador 4 la frecuencia a la cual la antena monopolo circular propuesta deja de tener ganancia.

En la Fig. 12 se muestra el patrón de radiación en el plano H. La dirección de máxima radiación, para la frecuencia de 1.383GHz, es perpendicular al plano del monopolo. Mientras que para 3.8GHz existe un corrimiento de 30° en la dirección de radiación máxima, acompañado de una disminución de 34° en el ancho del haz de mediana potencia. Este comportamiento omnidireccional del patrón de radiación unido a una ganancia adecuada en toda la banda de trabajo, favorece la cobertura espacial del dispositivo móvil.

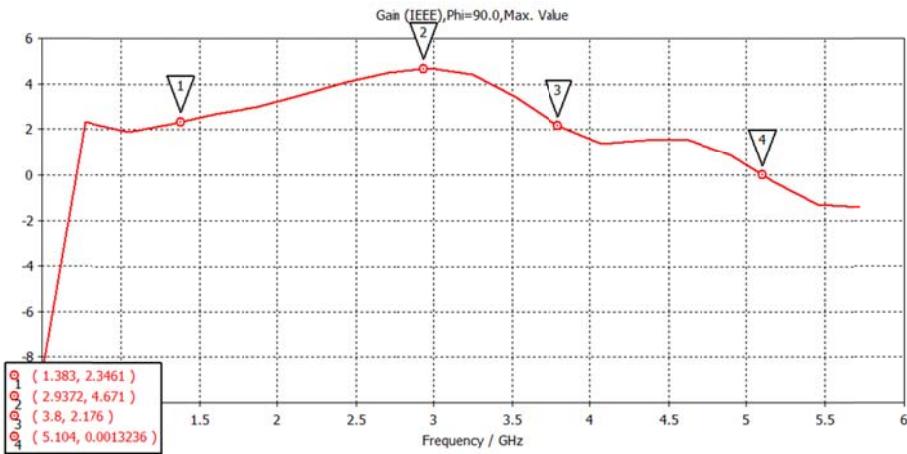


Fig. 11. Comportamiento de la ganancia en dB de la antena monopolo circular

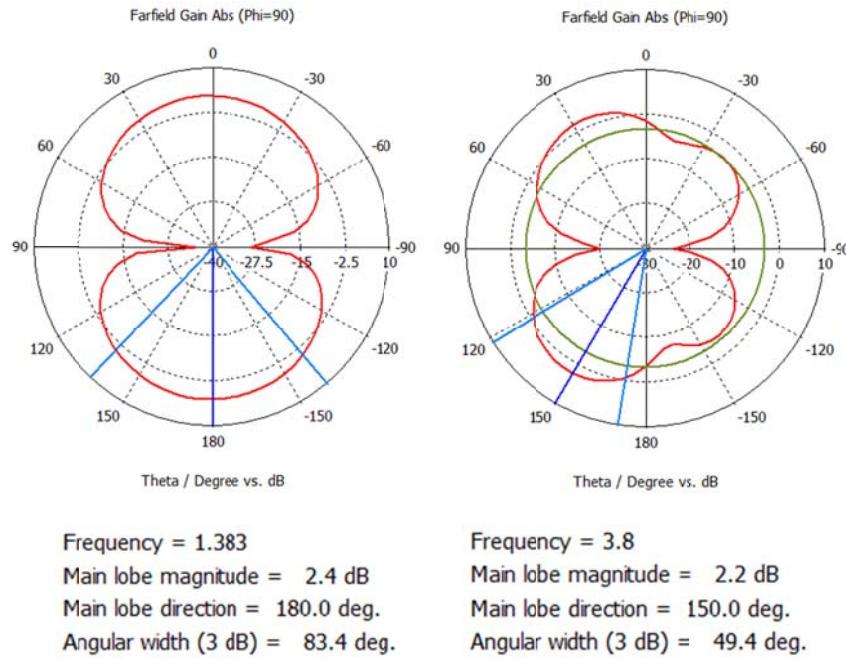
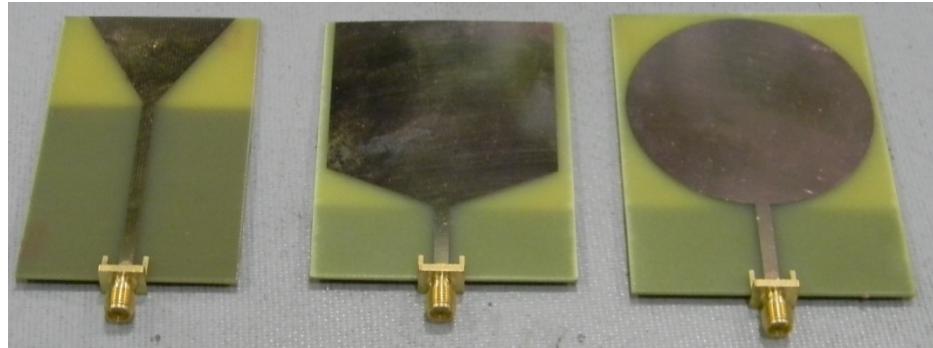


Fig. 12. Patrones de radiación de la antena circular para 1.383GHz y 3.8GHz

Tomando en consideración todas las figuras de mérito analizadas, se puede decir que la antena circular tiene un ancho de banda entre 1.383GHz y 3.8GHz, resultando un ancho de banda fraccional del 93.26%, el cual supera al ancho de banda requerido para 4G – LTE.

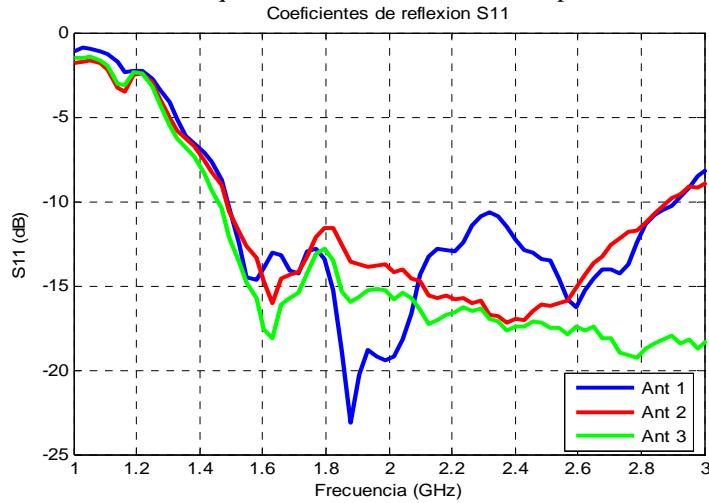
### 3 Resultados Experimentales

Las tres estructuras diseñadas y analizadas, se construyeron en un substrato FR-4 y se añadieron conectores SMA. La Fig. 13 muestra las antenas monopolo construidas, en donde sus dimensiones físicas coinciden con los valores obtenidos del diseño.



**Fig. 13.** Antenas monopolo construidas

Las estructuras se caracterizaron mediante un analizador de redes vectorial en el intervalo de frecuencias de 1 a 3 GHz. En la Fig. 14 se muestran los resultados de la medición de las pérdidas de retorno, en donde para todas las estructuras se muestra un corrimiento de la frecuencia mínima de trabajo, llevándola hasta las 1.45GHz para la antena circular y hasta los 1.48GHz para el resto de las antenas. En todos los casos la frecuencia máxima se extiende más allá de 2.89GHz, cumpliendo exitosamente el requerimiento necesario en este aspecto.



**Fig. 14.** Resultados de la medición de las pérdidas de retorno para las antenas monopolos triangular (Ant 1), rectangular (Ant 2), y circular (Ant 3)

Es importante resaltar que la antena circular, extiende su frecuencia máxima más allá de los 7GHz, constituyendo la estructura con mejor ancho de banda.

La mayor variación en la frecuencia mínima de trabajo es inferior a los 0.08GHz y se atribuye a pequeños cambios en los valores de la permitividad eléctrica relativa y la tangente de pérdidas del substrato FR-4.

Una comparación de las tres estructuras presentadas anteriormente se muestra en la Tabla 1 la cual resume los valores de las figuras de mérito analizadas para cada antena.

**Table 1.** Valores de las figuras de mérito para las tres antenas monopolo propuestas

Antena Monopolio	Dimensiones físicas [mm]	Ancho de banda [GHz]	Ancho de banda fraccional [%]	Rango de ganancia [dB]	Variación de la dirección de radiación máxima
Triangular	74.5 X 44	1.46	68.9	2.05 – 4.35	25°
Rectangular	74 X 54	1.8	78.6	2.41 – 4.92	20°
Circular	79 X 57	2.417	93.26	2.17 – 4.67	30°

Se puede apreciar que las dimensiones resultaron inferiores a 79 X 57 mm, el ancho de banda fraccional fue superior al 68.9% y sus ganancias superan los 2.05dB en todos los casos.

#### 4 Conclusiones

Se proponen y analizan tres antenas monopolo para dispositivos móviles 4G – LTE.

Se estudiaron las geometrías triangular, rectangular y circular, en donde el análisis electromagnético demostró que estas estructuras son capaces de cumplir con los requerimientos de diseño.

La elección de la mejor antena monopolo entre las propuestas depende de la figura de mérito que se considere más importante. El monopolo triangular resulta el de menores dimensiones físicas, la estructura rectangular con tapper presenta la mayor ganancia y la antena monopolo circular muestra el mejor ancho de banda. En general las tres antenas construidas mostraron un comportamiento de ancho de banda desplazado 80MHz pero que excede lo especificado por la tecnología 4G – LTE.

## 5 Referencias

1. Liang, Z. et al: Simulation and design of multi-band planar meandered monopole antenna for mobile phone application. In: 2012 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMWT). IEEE Conference Publications. 1-4.
2. Mehdipour, A. et al: Compact Multiband Planar Antenna for 2.4/3.5/5.2/5.8-GHz Wireless Applications. In: Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE. (2012) 144-147.
3. Cihangir, A. et al: A novel multi-band antenna design with matching network for use in mobile terminals. In: 2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP). IEEE Conference Publications. 1667-1671.
4. Wen Tao, Li et al: Novel design of printed multiband antenna for wireless applications. In: 2012 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMWT). IEEE Conference Publications. 1-3.
5. Cho-Kang, Hsu et al: Low Profile Multi-band Antenna for Mobile Phones. In: 2012 15th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM). IEEE Conference Publications. 1-4.
6. Zhang, Y. et al: Miniaturized planar UWB antenna on a trapezoidal ground fed with a tapered microstrip line. In: Microwave and Optical Technology Letters. Volume 54. No. 11 (2012). 2468-2472.
7. Salmani, Z. et al: Design of log-periodic dipole array inspired antenna with very wide bandwidth. In: Microwave and Optical Technology Letters. Volume 54. No. 11 (2012) 2446-2450.
8. Moradhesari, A. et al: Band-notched UWB planar monopole antenna using slotted conductor-backed plane. In: Microwave and Optical Technology Letters. Volume 54. No. 10 (2012) 2237-2241.
9. Siahkal-Mahalle, B.H. et al: A new design of small square monopole antenna with enhanced BW by using cross-shaped slot and conductor-backed plane. In: Microwave and Optical Technology Letters. Volume 54. No. 11 (2012) 2656-2659.
10. Lin, S. et al: A UWB printed dipole antenna and its radiation characteristic analysis. In: Progress In Electromagnetics Research C. Volume. 31 (2012) 83-96.