

# Análisis de las técnicas aplicadas a la antena plana en forma de F invertida para adaptar y/o mejorar su operación en los teléfonos celulares de última generación

Ahmad Osman, Aymara Loyo Arteaga, Alfonso Zozaya\*

*Laboratorio de Electromagnetismo Aplicado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Campus de Bárbula, Valencia, Venezuela.*

---

## Resumen.-

En este artículo se presenta un estudio de la antena plana en forma de F invertida (PIFA), ampliamente utilizada en terminales de redes inalámbricas. Son dos los aspectos que constituyen el presente estudio. Inicialmente se muestran, de manera general, las características de radiación de la PIFA; luego se realiza una síntesis de las técnicas más usadas en el diseño de antenas para dispositivos inalámbricos a fin de mejorar su desempeño y optimizar sus dimensiones. Las técnicas utilizadas en este estudio se clasifican en: técnicas de miniaturización, técnicas de ensanchamiento de ancho de banda y técnicas para operación multibanda. Para observar los efectos de dichas técnicas, se usó una antena de prueba diseñada para operar a 1800 MHz. De manera simultánea, se muestran los resultados de aplicar dichas técnicas, a la antena de prueba. Finalmente, se exponen las conclusiones del estudio.

**Palabras clave:** Antena, PIFA, miniaturización, multibanda, ancho de banda

## Analysis techniques applied to planar inverted F antenna to adapt and / or improve its operation for the last generation mobile phones

### Abstract.-

In this paper a patch inverted “F” antenna (PIFA) is studied. This antenna is widely used in wireless terminals. Two main aspects of PIFA are revisited in this article. First, the radiation characteristics of the PIFA are set, and then the techniques used to design the PIFA are also revisited. Several techniques are used to improve the performance of PIFA, some of them are also revisited in this paper as bandwidth widening techniques, miniaturization techniques, and multiband operation techniques. To look at the effects of these techniques, we used a test antenna designed to operate at 1800 MHz. At the same time, the results of applying the above mentioned techniques to the test antenna are shown. Finally, the conclusions of the study are presented.

**Keywords:** Antenna, PIFA, miniaturization, multiband, bandwidth

Recibido: mayo 2012

Aceptado: agosto 2012.

### 1. Introducción

La *Planar Inverted F Antenna* (PIFA) es una de las antenas más usadas en los teléfonos celulares

de última generación, debido a su bajo perfil y su facilidad para incorporarla al teléfono, además de eso, presenta la ventaja de que mediante el uso de distintas técnicas de diseño se puede, de manera sencilla, reducir su tamaño, ensanchar su ancho de banda y/o adaptarla para que opere en múltiples bandas de frecuencia. El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección II, se describe la geometría de la

---

\*Autor para correspondencia

Correo-e: azozaya@uc.edu.ve (Alfonso Zozaya)

PIFA y sus características de radiación. En la sección III, se analizan las técnicas de miniaturización, ensanchamiento de ancho de banda y de operación multibanda mas comúnmente usadas. Finalmente, en la sección IV, se analizan los resultados obtenidos de la simulación y de la aplicación de dichas técnicas a una antena PIFA de prueba.

## 2. Planar Inverted F Antenna

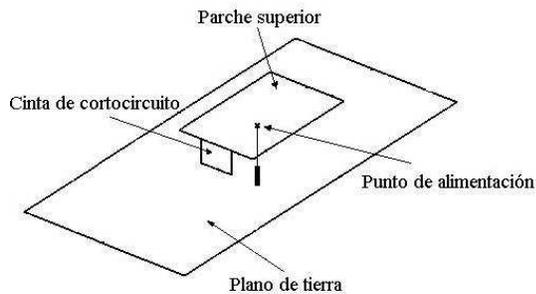


Figura 1: Partes de la PIFA.

Una PIFA está constituida por un parche superior, un plano de tierra, un cable de alimentación, y un *pin* o cinta de cortocircuito que se conecta entre el parche superior y el plano de tierra [2]–[4], como se muestra en la Figura 1.

En la Figura 2, se muestra la geometría de la PIFA simulada, la cual está diseñada para operar en la banda de 1800 MHz y cuyas dimensiones son:  $W_p = L_p = 21,05\text{mm}$ ,  $W_{cc} = 3,55\text{mm}$ , donde  $W_p$  y  $L_p$  son el ancho y el largo del parche superior de la antena respectivamente, y  $W_{cc}$  el ancho de la cinta de corto circuito; la altura del parche superior de 6,45 mm, el espesor del parche superior y de la cinta de cortocircuito de 0,2 mm,  $W_c = 41,05\text{mm}$ ,  $L_c = 101,05\text{mm}$ , donde  $W_c$  y  $L_c$  son el ancho y el largo del plano de tierra respectivamente, y por último el espesor del plano de tierra  $T_c = 0,3\text{mm}$  [5].

En la Figura 3, se muestra que la antena opera a 1,811 GHz, con un ancho de banda, para pérdidas de retorno de 10 dB, de 7,65 % (138,7 MHz), la impedancia característica de dicha antena es de  $(50,58 - j4,594) \Omega$ , mientras que el patrón de

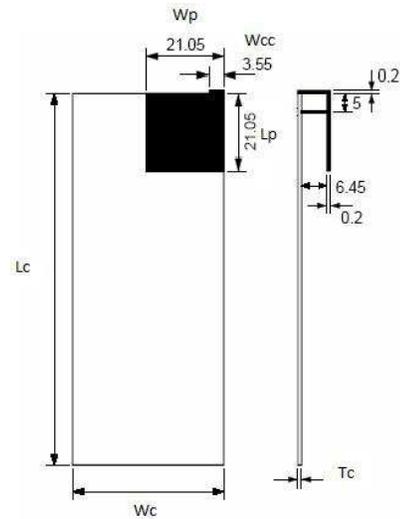


Figura 2: Dimensiones de la PIFA simulada.

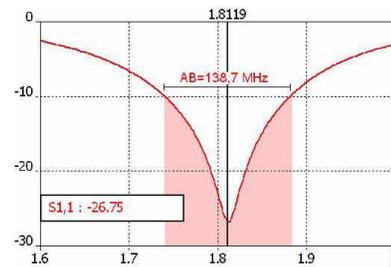


Figura 3: Pérdidas de retorno en dB en función de la frecuencia de la antena PIFA simulada.

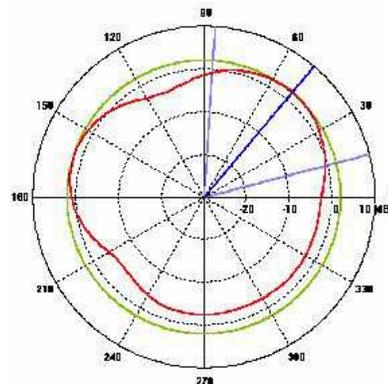


Figura 4: Diagrama de Radiación de la antena PIFA que se muestra en la Figura 1. Plano xy.

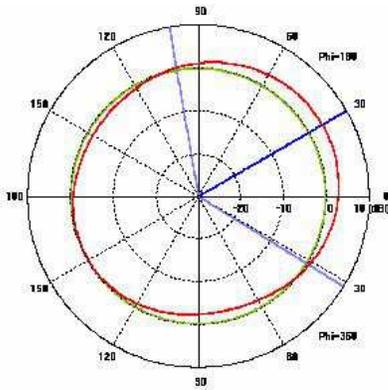


Figura 5: Diagrama de Radiación de la antena PIFA que se muestra en la Figura 1. Plano xz.



Figura 6: Antena PIFA cargada con un dieléctrico de bajas pérdidas.  $\epsilon_r = 2$

radiación es omnidireccional, como se aprecia en la Figura 4 y en la Figura 5, con una directividad de 4,411 dBi y eficiencia de 0,94.

### 3. Técnicas de Miniaturización

Luego de una extensa revisión tanto bibliográfica como comercial de las antenas utilizadas en redes inalámbricas de última generación, se encontró que algunas de las técnicas aplicadas a la antena PIFA con el fin de mejorar su desempeño en dichas redes, son las descritas a continuación [6]–[18].

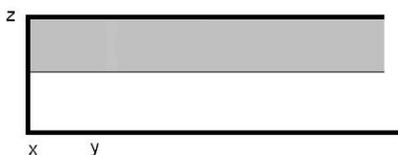


Figura 7: Antena PIFA cargada con un dieléctrico de bajas pérdidas.  $\epsilon_{r1} = 2$  y  $\epsilon_{r2} = 1$

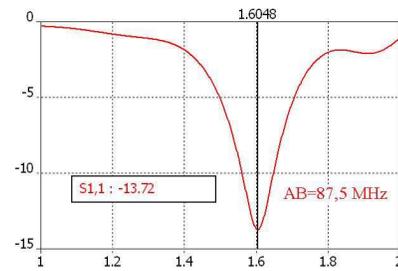


Figura 8: Pérdidas de retorno en dB en función de la frecuencia de la antena PIFA cargada con un sustrato.  $\epsilon_{r1} = 2$

#### 3.1. Inclusión de dieléctrico de bajas pérdidas

Para observar el efecto que tiene la inclusión de un dieléctrico sobre la radiación de la antena PIFA, se simuló la antena cargada con un sustrato de constante dieléctrica igual a 2, cuyo espesor es igual a la altura de la antena, es decir, ocupa todo el espacio entre el parche radiante y el plano de tierra, como se aprecia en la Figura 6. Luego, se simuló la misma antena parcialmente rellena con el mismo dieléctrico y aire, como se muestra en la Figura 7. Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Con  $\epsilon_r = 2$ , la frecuencia de operación disminuye de 1,8 GHz a 1,604 GHz, como se muestra en la Figura 8, esto implica una reducción en el valor de la frecuencia de aproximadamente 11 %. El ancho de banda obtenido fue de 5,455 % (87,5 MHz) esto implica que sufrió una ligera reducción, en comparación al de la antena inicial que fue de 7,65 %. El patrón de radiación de la antena, no experimentó grandes cambios, se mantuvo casi omnidireccional con una ganancia de 3,07 dB y con eficiencia igual a 0,8773.

Con  $\epsilon_{r1} = 2$  y  $\epsilon_{r2} = 1$ , la frecuencia de operación para la nueva antena es 1,682 GHz (6,55 % menos del valor de la frecuencia inicial) con pérdidas de retorno de -15,719 dB y ancho de banda de 6,331 % (106,5 MHz), como se aprecia en la Figura 9. El diagrama de radiación sigue siendo omnidireccional, la ganancia obtenida fue 3,9 dB y la eficiencia total fue de 0,8979.

Comparando los resultados obtenidos hasta este punto, se puede concluir que al cargar una antena con un dieléctrico de bajas pérdidas se reduce

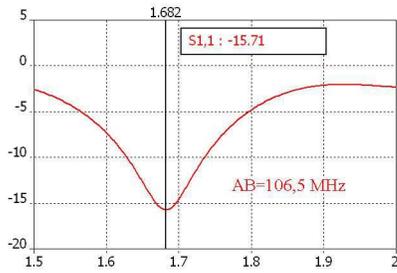


Figura 9: Pérdidas de retorno en dB en función de la frecuencia de la antena PIFA cargada con un sustrato.  $\epsilon_{r1} = 2$  y  $\epsilon_{r2} = 1$

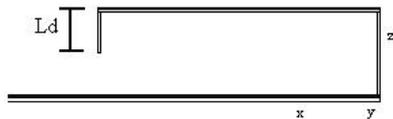


Figura 10: Antena PIFA con su parche superior doblado una longitud  $L_d = 3$  mm.

su frecuencia de operación, como consecuencia, el ancho de banda sufre una ligera disminución y las pérdidas de retorno aumentan. Una opción más eficiente y la más utilizada, a la hora de aplicar ésta técnica de miniaturización, es dejar parte del espacio entre los parches relleno de aire, esto implica una disminución de pérdidas en el dieléctrico y un aumento del ancho de banda con respecto a la antena de prueba rellena de un solo sustrato.

### 3.2. Uso de un parche radiante plegado

Cuando se doblan los extremos de un parche radiante, lo que se hace es que se alarga la longitud eléctrica de la antena y como consecuencia la

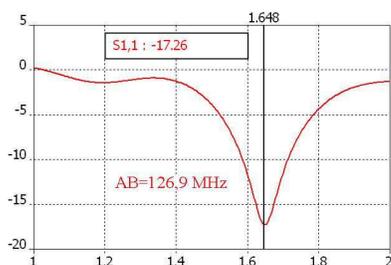


Figura 11: Pérdidas de retorno en dB en función de la frecuencia de la antena PIFA con su parche doblado.

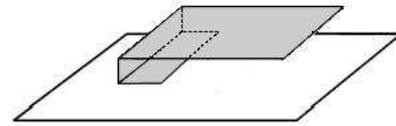


Figura 12: Configuración de la PIFA con más de un doblez en su parche superior



Figura 13: Antena PIFA con una ranura en el centro de su parche

frecuencia de operación disminuye. Para comprobarlo, se dobló uno de los extremos de la antena PIFA una longitud  $L_d$  de 3 mm, como se muestra en la Figura 10, sin alterar el valor del área del parche radiante de dicha antena. La frecuencia de operación resultante fue de 1,648 GHz, ancho de banda de 7,7 %, como se muestra en la Figura 11, ganancia de 3,311 dB y eficiencia de 0,841.

Si se quiere disminuir aún más el valor de la frecuencia de operación, se puede usar las configuraciones que se muestran en la Figura 12.

La técnica del doblez del parche radiante es muy efectiva, ya que solo habrá un leve incremento de las pérdidas por desadaptación de la impedancia característica de la antena, cuando se compara con las de la antena inicial (sin doblez), mientras que el ancho de banda se mantiene casi constante.

### 3.3. Uso de ranuras en el parche radiante

Al realizar una ranura delgada en el parche principal de la antena se logra el mismo efecto del caso anterior, se alargan las rutas de las corrientes superficiales en dicho parche. Para aplicar esta técnica a la antena de prueba, se realizó una ranura de longitud de 15 mm y con un ancho de 2 mm en el centro del parche tal como se muestra en la Figura 13.

En la Figura 14, se observa que la frecuencia de operación resultante fue de 1,663 GHz, lo cual

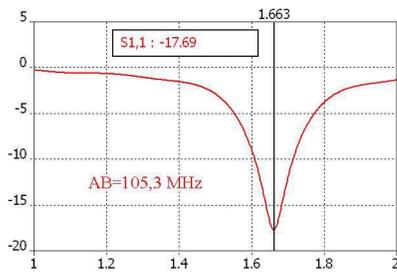


Figura 14: Pérdidas de retorno en función de la frecuencia de la antenna co una ranura en el centro de su parche superior.

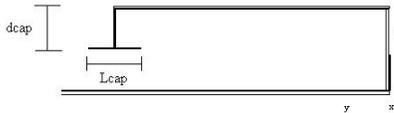


Figura 15: Geometría de la antenna cargada capacitivamente.

equivale a una reducción del 7,61 %. El ancho de banda obtenido fue de 6,331 % (105,2 MHz) y la ganancia de la antenna fue de 3,664 dB con una eficiencia total de 0,9291. Una extensión del uso de esta técnica, es la técnica *meandering*, la cual consiste en seguir modificando la geometría de la antenna mediante ranuras sucesivas en forma serpenteada de tal manera de seguir alargando la ruta de la corriente y así hacer que la antenna resuene a una frecuencia mucho más baja.

### 3.4. Uso de carga capacitiva

Cuando se carga la antenna capacitivamente, se modifica la impedancia de la misma y baja la frecuencia de resonancia. La configuración de esta antenna se muestra en la Figura 15, donde  $d_{cap} = 3mm$ , es la altura del doblez del parche superior, la cual equivale a la mitad de la altura de la antenna; este valor se mantuvo fijo durante la realización de estas pruebas, al igual que el ancho del parche capacitivo ( $W_{cap} = W_{pifa}$ ), mientras se varió la longitud del parche capacitivo.

Para  $L_{cap} = 3mm$ , en esta oportunidad, como se puede ver en la Figura 16, la frecuencia de operación se ubicó en 1,594 GHz, el ancho de banda de la antenna fue de 10,7 % a dicha frecuencia. La impedancia característica de la antenna cambió ligeramente, la resistencia fue de

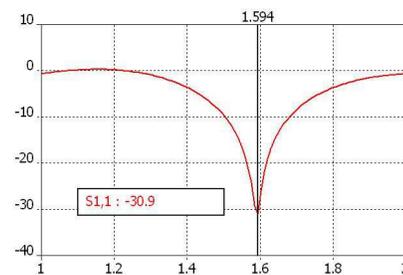


Figura 16: Pérdida de retorno para la antenna cargada capacitivamente. Con  $L_{cap}=3$  mm

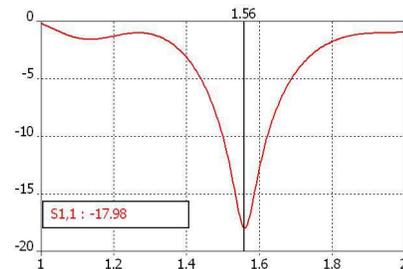


Figura 17: Pérdida de retorno para la antenna cargada capacitivamente. Con  $L_{cap}=6$  mm

49,46  $\Omega$  y la reactancia de 2,78  $\Omega$ , por lo que las pérdidas por desadaptación aumentaron un poco.

Para  $L_{cap} = 6mm$ , la frecuencia de operación disminuyó a 1,56 GHz, como se muestra en la Figura 17. Nuevamente, la impedancia característica cambia, los valores de resistencia y reactancia son 47,91  $\Omega$  y -12,27  $\Omega$ , respectivamente. En este caso, el ancho de banda fue de 7,95 %, mientras que la ganancia fue de 3,145 y la eficiencia de 0,839.

En general, para estos casos presentados, el patrón de radiación se mantiene omnidireccional. El ancho de banda de la antenna no disminuyó, al contrario, siempre fue mayor que el de la PIFA convencional. A medida que el ancho del parche aumenta, la frecuencia disminuirá hasta un valor en el cual, el parche empieza a radiar y solo se observaría un ligero aumento en el ancho de banda de la antenna.

## 4. Técnica de ensanchamiento de ancho de banda: uso de un resistor.

Esta técnica de ensanchamiento del ancho de banda de la antenna consiste en reemplazar el *pin*



Figura 18: PIFA con carga resistiva.

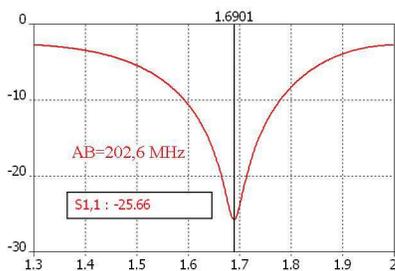


Figura 19: Pérdidas de retorno en función de la frecuencia de la antena con carga resistiva. Con  $R=3,3 \Omega$ .

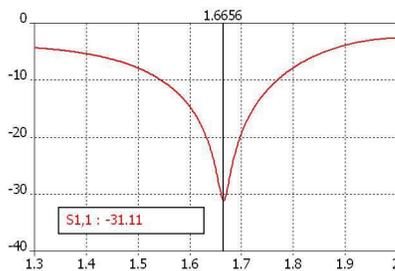


Figura 20: Pérdidas de retorno en función de la frecuencia de la antena con carga resistiva. Con  $R=6,8 \Omega$ .

o cinta de cortocircuito por una carga resistiva, tal como se muestra en la Figura 18. Para estudiar el efecto de dicho cambio en la antena de prueba, se varió el valor de la resistencia en 3,3 y 6,8  $\Omega$ , dichos valores fueron tomados de la referencia [11], los resultados obtenidos se describen en la Figura 19 y en la Figura 20.

Con  $R = 3,3 \Omega$ , en este caso, la frecuencia de operación se colocó en 1,69 GHz, las pérdidas de retorno disminuyeron a -25,68 dB, como puede verse en la Figura 19. El ancho de banda aumentó un 55,25 %, llegando a ser de 202,6 MHz. Por otra parte, el patrón de radiación se mantuvo omnidireccional, la ganancia bajó a 2,787 dB y la eficiencia a 0,749.

En la segunda prueba, la frecuencia de operación de la antena disminuyó a 1,665 GHz, como puede apreciarse en la Figura 20, el ancho de banda obtenido fue de 222,3 MHz, lo que significa que el ancho de banda aumentó 70,34 % en relación al de la PIFA convencional. La impedancia característica de la antena se mantuvo muy cerca de 50  $\Omega$ . La forma del patrón de radiación se mantuvo muy parecido al de las antenas anteriores, con notables cambios en la ganancia (1,482 dB) y la eficiencia (0,5616).

Esta técnica a pesar de que baja la frecuencia de operación de la antena, aumenta el ancho de banda, ya que al aumentar el valor del resistor; la frecuencia disminuyó apenas en 13,5 MHz ( $\sim 7,5$  % de la frecuencia inicial), mientras que el ancho de banda llegó a ser casi el doble del que se tenía para la PIFA convencional. También se observó que a medida que se aumentaba el valor de la resistencia, las pérdidas por desadaptación disminuyeron. Finalmente, al aplicar esta técnica, debe tomarse en cuenta el valor del resistor que se utilizará, ya que si dicho valor es muy grande, aumentará las pérdidas óhmicas y la antena se volverá ineficiente.

## 5. Técnica para operación multibanda: Uso de ranura en forma de L en el parche radiante.

El uso de ranuras en forma de L en el parche radiante, hace que la antena se divida en dos o



Figura 21: PIFA con una ranura en forma de L en su parche superior.

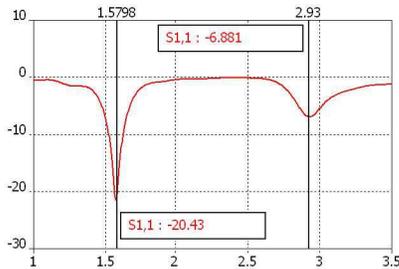


Figura 22: Pérdidas de retorno en función de la frecuencia para la PIFA con una ranura en forma de L en su parche superior.

más elementos radiantes de diferentes longitudes, lo que implica que las corrientes excitadas en dicho parche, tengan rutas de longitudes eléctricas distintas y como consecuencia, la antena resuena a dos frecuencias distintas. Al usar esta técnica, se pueden variar los valores de la frecuencia de resonancia, y la relación entre estos, cambiando las dimensiones de la ranura.

En esta prueba, el ancho de la ranura hecha en el parche de la antena es de 0,4 mm (ver Figura 21), el resultado es una antena resonante a 1,58 GHz y el segundo modo de resonancia aparece a 2,93 GHz, como se puede apreciar en la Figura 22. El ancho de banda a 1,58 GHz es de 6,51 %, mientras que para la frecuencia más alta, no se cumple el criterio aplicado para el cálculo del ancho de banda de la antena ( $|S_{11}| < -10\text{db}$ ). La impedancia de la antena se mantuvo cerca de 50  $\Omega$  operando a 1,58 GHz, pero a 2,93 GHz, se aleja considerablemente. Los diagramas de radiación mantuvieron su forma omnidireccional, con una ligera diferencia en la banda más alta; la eficiencia fue de 0,896 para la frecuencia menor y de 0,789 a 2,93 GHz.

## 6. Conclusiones

A partir de una antena PIFA convencional se puede obtener una antena con ciertas características de radiación mejoradas, generalmente en detrimento de otras, utilizando ciertas técnicas de miniaturización, de ensanchamiento de ancho de banda o de operación multibanda. El tamaño físico de una antena PIFA se puede reducir adicionando un dieléctrico de bajas pérdidas, o cargándola capacitivamente, usando un parche plegado, o haciéndole una ranura en su parche superior, mientras que, su ancho de banda se puede aumentar cargándola resistivamente. Así mismo, mediante la incorporación de una ranura en forma de L se puede lograr una operación multibanda.

## Referencias

- [2] Sayuj, H. and Lee, J. (2004): "Quad-Band PIFA for Mobile Phones". Syracuse University.
- [2] Bernhard, J. and Michielssen, E. (2002): "Antenna Parameters, Various Generic Antennas and Feed Systems, and Available Software". Handbook of Antennas in Wireless Communications, CRC Press.
- [3] Cummings, N. (2001): "Low Profile Integrated GPS and Cellular Antenna". Master Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [4] Causley, A. (2002): "Design of Conformal Antennas for Telephone Handsets". Master's Thesis. University of Queensland.
- [5] Ollikainen, J. (2004): "Design and Implementation of Techniques of Wideband Mobile Communications Antennas". Master's Thesis. Helsinki University of Technology.
- [6] Wong, K. (2003): "Antennas for Wireless Communications". Jhon Wiley and sons, inc.
- [7] Huynh, M. (2000): "A Numerical and Experimental Investigation of Planar Inverted-F Antennas for Wireless Communication Applications". Master's thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [8] Wong, K. and Yang, K. (1998): "Modified Planar Inverted F". Electronic Letter. Vol. 34. N° 1, pp. 7-8.
- [9] Rowell, C. and Murch, R. (1997): "A Capacitively Loaded PIFA for Compact Mobile Telephone Handsets". IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 45. N° 5, pp. 837- 842.
- [10] Liu, Z., Hall, P. and Wake, D. (1997): "Dual-Frequency Planar Inverted-F Antenna". IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 45. N° 10, pp. 1451-1458.
- [11] Rowell, C. and Murch, R. (1998): "A Compact PIFA Suitable for Dual-Frequency 900/1800 MHz

- Operation". IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 46. N° 4, pp. 596-598.
- [12] Chen, H., Wong, K. and Chiou, T. (2003): "PIFA with a Meandered and Folded Patch for the Dual-Band Mobile Phone Application". IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 51. N° 9, pp. 2468-2471.
- [13] Yang, M. and Chen, Y. (2001): "A Novel U-Shaped Planar Microstrip Antenna for Dual-Frequency Mobile Telephone Communications". IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 49. N° 6, pp. 1002-1004.
- [14] Chiu, C. and Lin, F. (2002): "Compact Dual-band PIFA with Multi-resonators". Electronic Letter. Vol. 38. N° 12, pp. 538-540.
- [15] Yeh, S., Wong, K., Chiou, T. and Fang, S. (2003): "Dual-Band Planar Inverted-F Antenna for GSM/DCS Mobile Phones". IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 51. N° 5, pp. 1124-1126.
- [16] Guterman, J., Moreira, A. and Peixeiro, C. (2004): "Microstrip Fractal Antennas for Multistandar Terminals". IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. Vol. 3, pp. 351- 354.
- [17] Kwon, Y., Moon, J. and Park, S. (2003): "An Internal Triple-Band Planar Inverted-F Antenna". IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. Vol. 2, pp. 341-344.
- [18] Khoo, C. (2002): "Multi-band Antenna for Handheld Tranceivers". Master's thesis. The University of Queensland.