

Antena plana para aplicaciones en las bandas L1 y L2 de GPS

Plannar antenna for L1 and L2 GPS bands applications

Carlos Arturo Suárez Fajardo*

Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia)

Johanna López Cárdenas**

Universidad Sergio Arboleda (Colombia)

Gustavo Adolfo Puerto Leguizamón***

Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia)

* Profesor titular facultad de Ingeniería, Investigador asociado al grupo de investigación Laboratorio de Ingeniería de Microondas Electromagnetismo y Radiación - LIMER, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Doctor en Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Valencia (España). csuarezf@udistrital.edu.co

** Ingeniera de Sistemas y Telecomunicaciones, Escuela de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Sergio Arboleda. Investigadora asociada al grupo ESINUSA. johannak.lopez@hotmail.com

*** Profesor asistente facultad de Ingeniería, Investigador asociado al grupo de investigación Laboratorio de Ingeniería de Microondas Electromagnetismo y Radiación - LIMER, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Doctor en Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Valencia (España). gapuerto@udistrital.edu.co

Correspondencia: Carlos Arturo Suárez, carrera 7 No. 40B - 53 Piso 7, sala de profesores. Bogotá (Colombia), Teléfono: (571) 3239300, ext. 2413-1409.

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de una antena con polarización circular y doble resonancia usando sustratos de baja constante dieléctrica y bajo precio, mostrando resultados comparables frente a diseños convencionales. El diseño consta de dos parches rectangulares separados por un espacio de aire, que incluyen dos cortes triangulares y dos parches parásitos ubicados en caras opuestas, logrando brindar un grado de libertad adicional que permite obtener una apropiada relación axial y acoplamiento aceptable a las frecuencias deseadas. La antena se optimizó mediante análisis paramétrico llevado a cabo sobre diversas variables que hacen parte de la geometría. El prototipo implementado permite la operación simultánea de la antena en las bandas de GPS de 1,227 GHz (banda L2) y 1,575 GHz (banda L1). La antena presenta un ancho de banda de impedancia medido de 18,03MHz ($f_{c1} = 1,227\text{GHz}$) y 17,66 MHz ($f_{c2} = 1,575\text{GHz}$), para $VSWR \leq 2:1$, los resultados de las simulaciones para la ganancia fueron de 5,4dBi y 6,8dBi y relación axial de 8,1MHz y 10,2MHz en las bandas L2 y L1 respectivamente. Las simulaciones numéricas concuerdan con las medidas sobre el prototipo experimental probando que la antena se comporta de acuerdo a lo esperado.

Palabras clave: antenas microstrip, antenas de frecuencia múltiple, antenas para GPS, polarización circular.

Abstract

This paper presents the development of an antenna with circular polarization and double resonance using a substrate of low dielectric constant and low price, showing comparable results in front of conventional designs. The design is made up of two rectangular patches isolated by an air gap including two triangular cuts and two parasitic patches located in the opposite direction giving a certain degree of additional freedom which allows a suitable axial ratio and an acceptable coupling to the desired frequencies. The antenna was optimized by means of parametric analysis carried through diverse variables which belong to geometry. The implemented prototype allows the simultaneous operation of the antenna in the GPS (Global position systems) bands of 1,227 GHz (band L2) and 1,575 GHz (band L1). The antenna shows a measured impedance bandwidth of about 18,03MHz ($f_{c1} = 1,227\text{GHz}$) and 17,66MHz ($f_{c2} = 1,575\text{GHz}$), for $VSWR \leq 2:1$ (Voltage Standing Wave Ratio), the simulated results for antenna gain were of 5,4dBi and 6,8dBi and axial ratio of 8,1MHz and 10,2MHz in the L1 and L2 bands respectively. The numeric simulations agree well with the measurements on the experimental prototype proving the antenna behaves according to what was expected.

Keywords: circular polarization, GPS antennas, microstrip antennas, multifrequency antennas.

Fecha de recepción: 24 de febrero de 2014
Fecha de aceptación: 17 de diciembre de 2015

INTRODUCCIÓN

En años recientes, el mercado de las telecomunicaciones ha evolucionado de manera vertiginosa ofreciendo nuevos desarrollos tecnológicos y de aplicaciones, tendientes a satisfacer las demandas cada vez más exigentes de diversos sectores de nuestra sociedad, como es el caso del comercio, la medicina, la industria, las aplicaciones militares, entre otros, lo cual ha generado la necesidad de diseñar nuevas antenas que satisfagan estas exigencias. Dentro de las características deseables en los elementos radiantes, tendientes a satisfacer los requerimientos de las nuevas aplicaciones o servicios se encuentra el de desarrollar antenas con altos anchos de banda o con resonancia en múltiples frecuencias, alta ganancia, así mismo la doble polarización, aspecto que permite la reutilización de frecuencias al igual que la diversidad de polarización. Por otra parte, es necesario el desarrollo de antenas con polarización circular para ciertas aplicaciones como es el caso de GPS. Todos estos nuevos diseños deben satisfacer las especificaciones técnicas exigidas para cada aplicación en particular, al igual que las restricciones en sus costos de fabricación, tamaño, peso, etc. [1].

Los sistemas GPS que operan en las bandas L1 (1575 ± 3 MHz) o banda L2 (1227 ± 3 MHz), han ganado enorme popularidad en los últimos años teniendo en cuenta que aparte de la constelación americana de satélites, dos modernos sistemas GPS están siendo desplegados gradualmente en el espacio como es el caso del sistema ruso GLONASS (Global Navigation Satellite System), sistema que opera en las bandas 1602-1616 MHz o 1246-1257 MHz y del sistema europeo GALILEO que opera en las bandas (1555-1596 MHz), (1258-1300 MHz) o (1146-1238 MHz), todos con polarización circular a derechas (RHCP), [1], [2]. Estos sistemas proveerán servicios de localización a nivel mundial a sistemas móviles como es el caso de sistemas de aeronavegación, barcos, vehículos en tierra, contenedores, personas y muchos otros. La antena es uno de los aspectos fundamentales a tener en cuenta en estos sistemas desde el punto de vista de precisión de posición y reducido tiempo de adquisición.

Una gran variedad de soluciones de antenas para GPS para operación en una sola banda ha sido propuesta en la literatura especializada, como es el caso de [3] donde se lleva a cabo un estudio comparativo de antenas de alto desempeño para GPS, en [4] se propone el diseño de una antena con

geometría en hélice con cuatro hilos, en [5] se presenta el desarrollo de una antena compuesta por parches ubicados dentro de anillos de choque. Por otra parte, en lo que respecta a antenas con resonancia múltiple que incluye operación en GPS, en [6] se propone el diseño de una antena coplanar con doble resonancia para aplicaciones en GPS (banda L2) e ITS (Intelligent Transport Systems), en [7] se presenta el diseño de una antena con doble resonancia compuesta por dos parches apilados que opera simultáneamente en las bandas L1 de GPS al igual que en WLAN (Wireless Local Area Network), en [8] se relacionan los resultados de una antena compuesta por dos parches circulares cada uno con 4 ranuras perpendiculares lo cual permite doble resonancia y polarización circular para operación en las bandas de GPS y SDARS (Satellite Digital Audio Radio Service). De igual manera, en [9] se logran resultados similares a los obtenidos en [8] con algunos cambios en su geometría.

Recientemente han sido exploradas nuevas técnicas para el diseño de antenas para GPS, como es el caso de [10] donde se propone el uso de metamateriales para el diseño de una antena que opera en la banda L1 de GPS compuesta por múltiples capas orgánicas y sustratos cerámicos de alta constante dieléctrica. Por otra parte, en [11] se presenta el diseño de un parche en el cual las dimensiones de la antena y del plano de masa son iguales, reduciendo así el tamaño total de la antena.

En cuanto a propuestas de diseño de antenas que operen simultáneamente en las dos bandas L1 y L2, en [12] se reporta el diseño de una antena para aplicaciones en las bandas L1 y L2 de GPS, haciendo uso de la tecnología de ranuras cargadas y excitación por proximidad. Para reducir el tamaño total de la antena, los investigadores hacen uso de sustratos de alta constante dieléctrica y ranuras con geometría en serpentin. El funcionamiento en las dos bandas lo obtienen excitando el modo parche para la banda L2 y el modo ranura para la banda L1. Por otra parte, la polarización circular a derechas (RHCP) se logra conectando dos terminales de excitación mediante un acoplador superficial de 90°. Los valores de ganancia obtenidos para esta antena son de 3.2dBi y 3.5dBi. En [13] se propone el diseño de una antena compuesta por dos parches microstrip apilados con geometría cuadrada, donde el mecanismo de alimentación de la antena se lleva a cabo sobre el parche superior, excitando dos puntos ubicados sobre dos ejes ortogonales; así mismo, en el parche inferior se practican dos agujeros por los que

atraviesan los dos terminales de excitación, los cuales van a los puertos de salida de un combinador con fase en cuadratura. En [14] y [15] se presenta el diseño de dos parches microstrip apilados, ambos con geometría en anillo elíptico, la excitación se lleva a cabo sobre el parche superior en un punto, para lo cual se practica un agujero en el parche inferior por el que atraviesa el terminal de excitación. En esta propuesta, los parches son separados por un espacio de aire y los bordes internos de los anillos elípticos son unidos y cortocircuitados con el plano de masa, logrando de esta manera que la antena opere simultáneamente en las dos bandas L1 y L2.

Finalmente, en [16] se propone el diseño de una antena para GPS de banda múltiple con polarización circular (RHCP), compuesta por dos dipolos cruzados sobre sustrato microstrip, los cuales incorporan una línea de transmisión con geometría circular y desfase de 90° . Para lograr la resonancia múltiple, cada brazo del dipolo se divide en cuatro brazos adicionales con diferentes longitudes, incorporando en el extremo de los mismos un inductor con geometría en flecha para de esta forma reducir el tamaño total de la antena. La propuesta hace uso de un reflector con geometría piramidal para mejorar la ganancia total de la antena y aumentar la relación delante atrás en las bandas L1 y L2. Usando un reflector piramidal con altura de 40mm se logran ganancias de 6.15dBi y 7.48dBi.

En este artículo se propone el diseño de una antena que permita doble resonancia para GPS en las bandas L1 (1575 ± 3 MHz) y banda L2 (1227 ± 3 MHz), con polarización circular a derechas (RHCP). El propósito de la investigación es mostrar que el uso de sustratos de constante dieléctrica reducida y precio económico, hace factible desarrollar antenas para este tipo de aplicaciones con resultados comparables a los obtenidos mediante las técnicas convencionales. Por otra parte, se pretende mostrar que el uso de dos parches rectangulares separados por un espacio de aire que incluyen dos cortes triangulares y dos parches parásitos ubicados en dos caras opuestas, brindan un grado de libertad adicional que permite obtener una apropiada relación axial y acoplamiento aceptable a las frecuencias deseadas. Así mismo, en esta investigación se explora la estrategia de combinar el método de excitación por proximidad, [17], [18], para lograr que el parche inferior resuene en la banda L2 (inferior), junto con el método de excitación directa, [17], para propiciar que el parche superior resuene en la banda L1 (superior). La geometría de los parches principales y la de los parásitos, junto

con la apropiada ubicación de los puntos de excitación, permiten compensar el problema del acoplamiento entre los dos parches, posibilitando de esta manera satisfacer todos los parámetros de diseño propuestas.

La polarización circular y el mejoramiento de la relación axial se pretende lograr mediante la combinación de diversas técnicas como es el caso de excitación de dos parches casi cuadrados sobre la diagonal, al igual que con cortes triangulares en dos de las esquinas de los parches pero con excitación sobre la diagonal a diferencia del método tradicional [17], asimismo se explora la técnica de adicionar dos parches parásitos ubicados convenientemente sobre dos de los lados de cada uno de los parches para mejorar su relación axial.

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE LA ANTENA

La metodología implementada para el desarrollo de la antena propuesta en este artículo, parte del cálculo de una geometría preliminar que hace uso de los modelos de línea de transmisión y cavidad resonante expuestos en [17], para luego optimizarla mediante análisis paramétricos llevados a cabo sobre tres aspectos a saber: optimización de la geometría preliminar, optimización del espaciado entre los dos parches (GAP) y optimización de la relación axial. Estos análisis se llevarán a cabo mediante el uso de software comercial para análisis electromagnético. Los parámetros de la antena serán analizados, optimizados y luego validados con medidas experimentales llevadas a cabo sobre prototipos construidos.

Mediante el estudio paramétrico llevado a cabo sobre las siete variables enunciadas a continuación se mostrará la manera en que el diseñador puede asumir el control total de parámetros como: resonancia, ganancia, polarización y relación axial de la antena. Las variables de control son: separación entre parches (t), las medidas de los parches ($Lp1$, $Ap1$) y ($Lp2$, $Ap2$), el tamaño del plano de masa ($Lgnd$, $Agnd$), ubicación del punto de excitación respecto al centro ($Pexc-x$, $Pexc-y$), tamaño del corte de las secciones triangulares de las esquinas ($Lt1$, $Lt2$), tamaño del agujero de excitación por proximidad del parche inferior ($Lexc$, $Aexc$) y dimensiones de los parches parásitos laterales ($Lep1-2$, $Aep1-2$). El diseño de esta antena se hace sobre un sustrato con constante dieléctrica de 3,0, tangente de pérdidas de 0,0014 y

espesor de 1,524mm y su geometría incluyendo las variables antes notadas se muestra en la Figura 1.

Las Figuras 1(a), 1(b) y 1(c) muestran la geometría de los parches inferior y superior de la antena y la vista lateral respectivamente. Como se nota en la figura, el sistema de excitación se compone de un agujero en el parche inferior, de tal manera que el terminal de excitación atraviesa este sustrato para ser conectado con el parche superior.

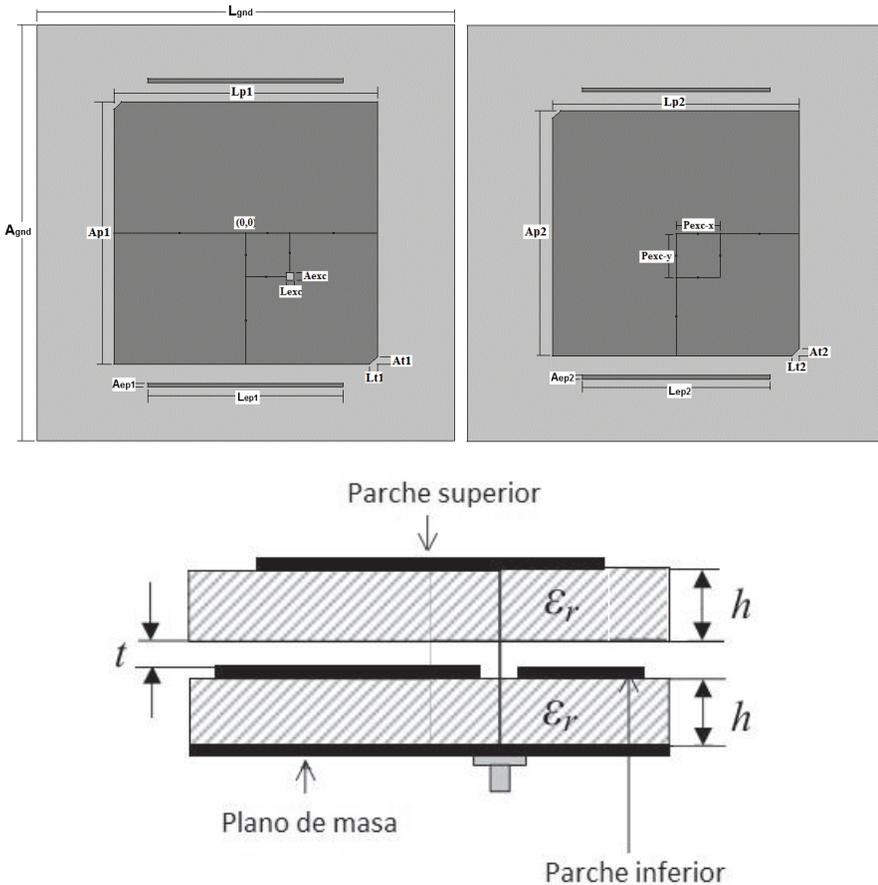


Figura 1. Geometría de antena doble banda con polarización circular: (a) vista superior parche inferior, (b) vista parche superior, (c) vista lateral antena..

El procedimiento empleado para el desarrollo de la antena propuesta en este trabajo, parte de los modelos de línea de transmisión y cavidad resonante [17] para, de esta forma, determinar el tamaño inicial de los parches independientes para cada frecuencia, para luego integrarlos en una sola antena corrigiendo los efectos de acoplamiento mutuo que resultan de este proceso mediante análisis paramétricos, para lo cual se parte de las especificaciones del sustrato seleccionado y las frecuencias de resonancia requeridas para las bandas L1 y L2 de GPS.

La Tabla 1 muestra las dimensiones iniciales de una geometría base denominada “geometría 1”, sobre la cual se pretende hacer uso del método de análisis paramétrico para lograr que la antena opere en las dos bandas L1 y L2 con polarización circular (RHCP). Para esta geometría base se asume una separación entre parches (t) de 1mm y las coordenadas del punto de excitación (P_{exc-x} , P_{exc-y}) se determinan haciendo coincidir el centro de la geometría con el origen de coordenadas; de igual manera, las dimensiones del orificio excitador en el parche inferior son: $L_{exc}=2mm$, $A_{exc}=2mm$ y las dimensiones del plano de masa son: $L_{gnd} = 111,0mm$ y $A_{gnd} = 109,4mm$.

Análisis paramétricos

El análisis paramétrico se divide en tres aspectos a saber: optimización de la geometría, espaciamiento entre parches y optimización de la relación axial. La optimización de cada uno de los aspectos notados antes afectará las frecuencias de resonancia, ganancia y relación axial, lo cual complica considerablemente el problema de determinar la geometría más apropiada.

Tabla 1. Análisis paramétrico para determinar las dimensiones apropiadas de los parches.

Geometría	Parche inferior (mm)		Parche superior (mm)		Alimentación P(x,y)	
	Largo (Lp2)	Ancho (Ap2)	Largo (Lp1)	Ancho (Ap1)	Pexc-x	Pexc-y
1	71	70	60	59	11,9	-11,6
2	71	70	66	65	12,3	-12
3	70,9	69,9	68	67	12,3	-12
4	70,8	69,9	69	68	12,3	-12

- Optimización de la geometría

Partiendo de la “geometría 1” relacionada en la Tabla 1, se modifican las dimensiones de los parches y la ubicación del punto de excitación con los valores mostrados en las geometrías 2 a 4. Los resultados de las simulaciones del coeficiente de reflexión para estas cuatro geometrías se muestran en la Figura 2, observando que la “geometría 4” arroja frecuencias de resonancia cercanas a las frecuencias centrales de las bandas L1 y L2; sin embargo, este resultado puede variar al optimizar el espaciamiento entre parches y la relación axial, de tal manera que la geometría 4 será tomada como base para los otros dos procesos de optimización.

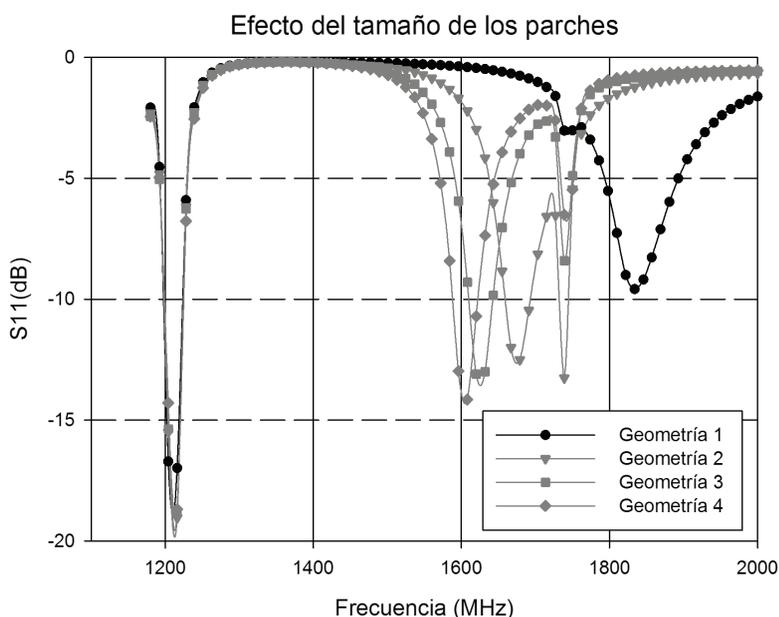


Figura 2. Efecto del tamaño de los dos parches.

- Espaciado entre parches (Gap)

En la Figura 3 se muestran los resultados de las simulaciones del coeficiente de reflexión debido al efecto del espaciado de aire (gap) entre los dos parches, (parámetro t) en la figura 1 (c), para distancias desde 0.5mm hasta 5mm. De esta figura se puede observar que se afecta la adaptación a la frecuen-

cia de resonancia inferior (mejora al aumentar la distancia); sin embargo, la resonancia no se desplaza en frecuencia, caso contrario ocurre con la resonancia superior en la cual ocurre un desplazamiento de la frecuencia de resonancia y se afecta la adaptación. Este parámetro agrega otro grado de libertad en el proceso de diseño, particularmente para la frecuencia de resonancia superior al igual que tiene incidencia en la polarización circular de la antena. El valor seleccionado para esta investigación fue de 0,5mm teniendo en cuenta que la frecuencia de resonancia superior se acerca al valor deseado para la banda L1.

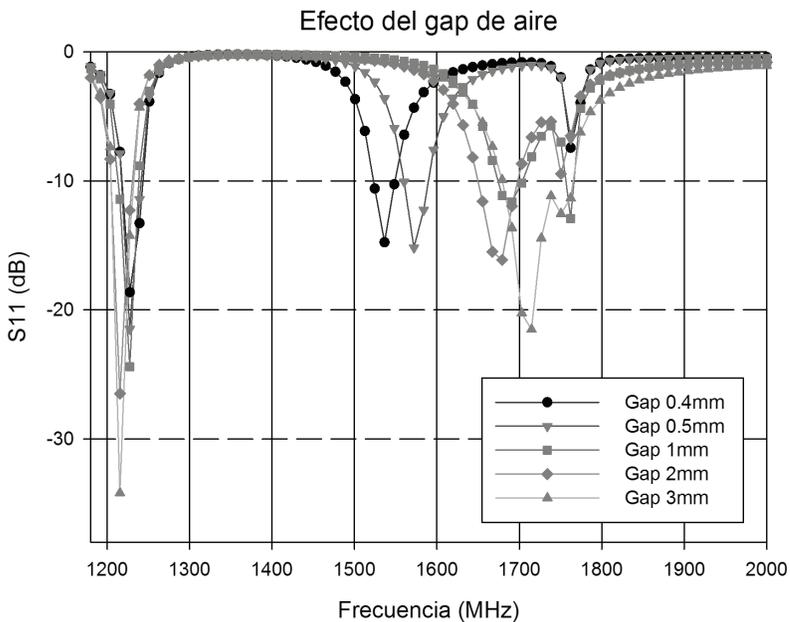


Figura 3. Efecto del GAP de aire entre los dos parches en el coeficiente de reflexión.

- Mejoramiento de la relación axial

Mediante la combinación de técnicas como es el caso de parche casi cuadrado con excitación en la diagonal y la adición de dos cortes de secciones triangulares (isósceles) en dos de las esquinas ubicadas sobre la misma diagonal de los parches se obtuvieron resultados satisfactorios, sin embargo se optó por mejorar aun más la relación axial mediante la estrategia de adicionar

dos parches parásitos en dos de las caras opuestas de cada parche (Figura 1). En la Tabla 2 se observa el comportamiento de las simulaciones obtenidas para la frecuencia de resonancia, coeficiente de reflexión, ganancia máxima, eficiencia y relación axial mínima para tres geometrías en las que se cambian las dimensiones de los elementos parásitos en los dos parches, los cuales se notan en la figura 1 (a) y 1 (b) como (Lep1-2, Aep1-2), dejando una separación constante de 5mm entre los parches principales y los elementos parásitos.

Tabla 2. Mejoramiento de la relación axial (AR) mediante parches parásitos

PARAMETROS	VALORES (mm)		
	1	2	3
Geometría	1	2	3
Plano de masa (LgndxAgnd)	111 x 109.4	111 x 109.4	111 x 109.4
Parche inferior (Lp2xAp2)	70 x 69	70 x 69	70 x 69
Largo parásito inferior (Lep1)	72	56	52
Ancho parásito inferior (Aep1)	2	1	1
Parche superior (Lp1xAp1)	65.5 x 64.5	65.5 x 64.5	65.5 x 64.5
Largo parásito superior (Lep2)	67	54	50
Ancho parásito superior (Aep2)	2	1	1
Punto de excitación (Pexc-x,Pexc-y)	(11.8, -11.5)	(11.8, -11.5)	(11.8, -11.5)
Frecuencia (GHz)	1.22	1.22	1.227
S11 mínimo (dB)	-17.13	-21.46	-22.46
Ganancia (dBi)	5.36	5.35	5.5
Eficiencia (%)	69.79	69.8	69.5
Relación axial mínima a fr (dB)	2.12	2.01	1.75

Para estas simulaciones se fijó el tamaño del corte de las secciones triangulares de las esquinas ($Lt1$, $Lt2$) en 2 mm teniendo en cuenta que este valor generó los mejores resultados en la relación axial. De los resultados de las simulaciones resumidas en la Tabla 2 se concluye que la longitud del elemento parásito no afecta grandemente las frecuencias objetivo, en cuanto a las frecuencias centrales de resonancia para el coeficiente de reflexión de la antena. Respecto a la adaptación de la impedancia de la antena en las dos frecuencias de interés se observa que al disminuir la longitud del parásito, también mejora su adaptación. El efecto de los parches parásitos se nota

en la relación axial y particularmente las dimensiones que arrojaron los mejores resultados son de $Lep1 = 52$ mm, $Lep2 = 50$ mm y ancho $Aep1-2 = 2$ mm. La distancia entre el parásito y el parche no afecta en gran medida el comportamiento general de la antena de tal manera que se fijó un valor de 5 mm para los dos parches, del mismo modo el ancho de estos parches parásitos tampoco incide grandemente de tal manera que este parámetro se estableció en 1mm.

Asimismo, en la tabla 2 se relacionan los resultados de las simulaciones para la ganancia y eficiencia de la antena en cada frecuencia de interés y particularmente se selecciona la geometría 3, cuyos resultados muestran una ganancia de 5,45 dBi con una eficiencia del 69,5% para la banda L2 y de 6,78 dBi con una eficiencia del 80,2% para la banda L1. Del mismo modo, los resultados de las simulaciones para la relación axial son satisfactorios obteniendo valores de 1,75 dB en la banda L2 y 2,5 dB en la banda L1.

RESULTADOS FINALES Y DISCUSIÓN

Como resultado del análisis paramétrico expuesto en la sección anterior se concluye que las dimensiones de la geometría optimizada denominada "geometría 3", relacionada en la Tabla 2, cumplen con los requerimientos exigidos para las bandas L1 y L2 de GPS, con lo cual se procedió a la fabricación y caracterización en impedancia de la misma. En la Figura 4 se observan fotografías de los dos parches independientes (antes de apilar). En la parte izquierda se aprecia la cara superior del parche que genera la frecuencia 1,573 GHz (sustrato superior de la antena) y al lado derecho el que genera la frecuencia 1,228GHz (sustrato inferior).

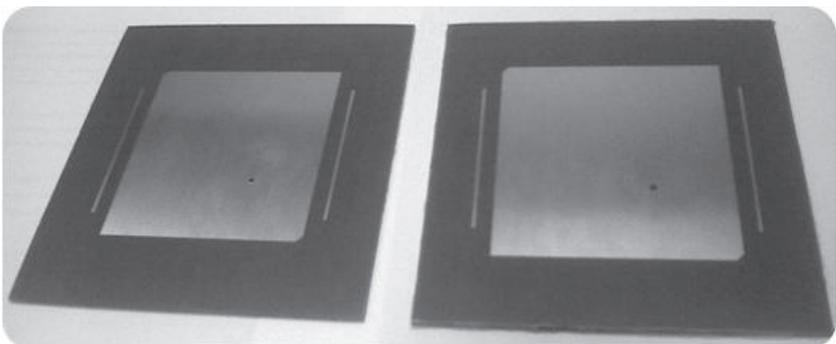


Figura 4. Cara superior de los sustratos.

En la Figura 5 se observa una foto de la vista lateral de la antena ensamblada con los dos sustratos apilados. El extremo final del terminal central del conector SMA (Sub Miniature version A) se fija a la cara superior del sustrato, el GAP de aire se realiza mediante cuatro arandelas en material dieléctrico.



Figura 5. Vista lateral de la antena construida.

El prototipo construido se caracterizó en su impedancia mediante el analizador vectorial de redes Anritsu MS-2036A. La Figura 6 muestra los resultados de las medidas frente a los simulados para el parámetro de coeficiente de reflexión de la estructura detallada en la Tabla 2, logrando la doble resonancia en las frecuencias objetivo (1,228 GHz con un acople de -17,14 dB y la frecuencia 1,573 GHz con un acople de -14,4 dB). Como era de esperar, el acoplamiento de la antena a la frecuencia superior es más complicado, teniendo en cuenta el efecto inductivo ocasionado por el tamaño del pin de excitación.

Respecto al ancho de banda, se resalta que para la banda L2 (1,227 GHz) la antena tiene un ancho de banda de 18,03 MHz (1,8%), frente a lo esperado en simulación de 20,53 MHz (2,05%). En el caso de la banda L1 (1,575 GHz) la antena construida generó un ancho de banda de 17,66 MHz (1,77%) frente a lo esperado en la simulación de 19,27 MHz (1,93%), esta diferencia puede ser explicada por los defectos de fresado de los parches, junto con la separación entre los dos sustratos (GAP de aire), el cual no fue exactamente de 0,5 mm.

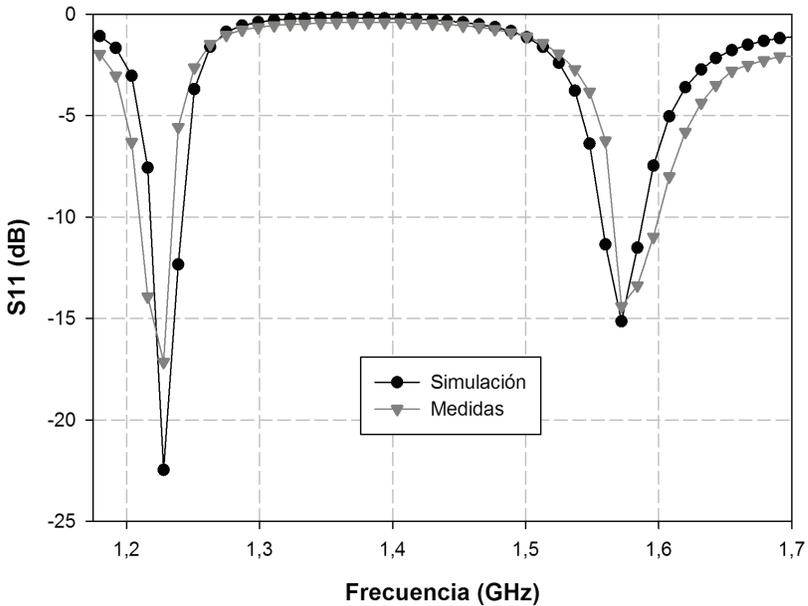


Figura 6. Coeficiente de reflexión medido Vs simulado.

En la Figura 7 se aprecian los resultados de las simulaciones de los diagramas de ganancia en el plano E (elevación) para los casos de polarización de referencia y cruzada, en la dirección $\varphi=0^\circ$ y en las frecuencias de 1,227 GHz y 1,575 GHz, respectivamente. De la figura se nota una ganancia de 5,45 dBi para la polarización de referencia (RHCP) y de -14,5 dBi para la polarización cruzada en la frecuencia de 1,227 GHz, al igual que una ganancia de 6,78 dBi para la polarización de referencia (RHCP) y de -9,96dBi para la polarización cruzada en la frecuencia de 1,575 GHz.

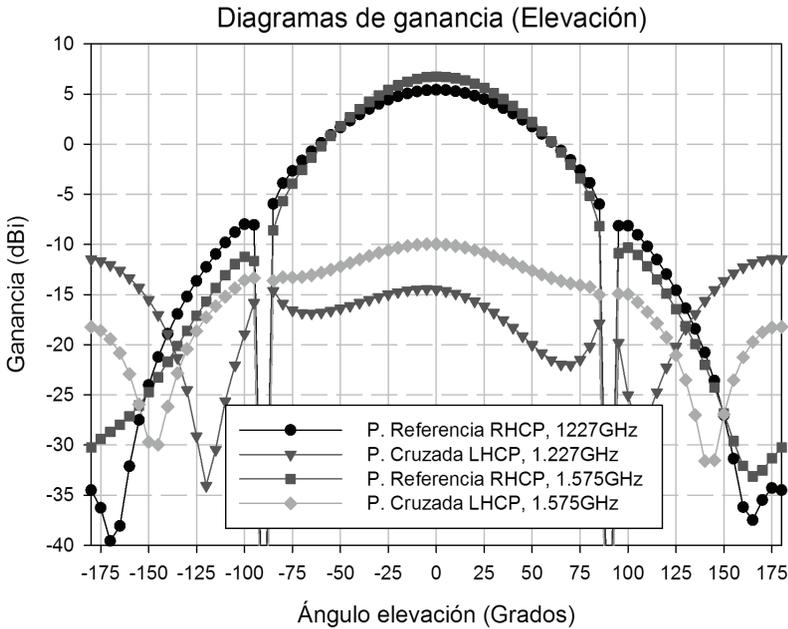


Figura 7. Ganancia Vs. Ángulo de elevación.

En la Figura 8 se aprecian los resultados de las simulaciones del parámetro relación axial para la antenna propuesta, donde se notan valores mínimos de 1,75 dB y 2,5 dB para las frecuencias de 1,227 GHz y 1,575 GHz, respectivamente.

La caracterización de la antenna en diagrama de radiación no se realizó, debido a que ninguna de las instituciones participantes en este proyecto cuenta con una cámara anecoica necesaria para este tipo de medida, por tal motivo se llevó a cabo el experimento de remplazar la antenna GPS de referencia MS2024A-031 que utiliza el VNA (Vector Network Analyzers) Anritsu MS-2036A (el cual incluye un receptor GPS), por el prototipo de antenna desarrollado en esta investigación. Como resultado de este experimento, el GPS del instrumento se sincronizó con los satélites en aproximadamente 60 segundos (mitad del tiempo) respecto al tiempo requerido con la antenna MS2024A-031, lo cual se explica en el hecho que el prototipo desarrollado muestra en simulaciones mayor ganancia, al igual que una relación axial de 2,5 dB en banda L1 y de 1,75 dB en banda L2.

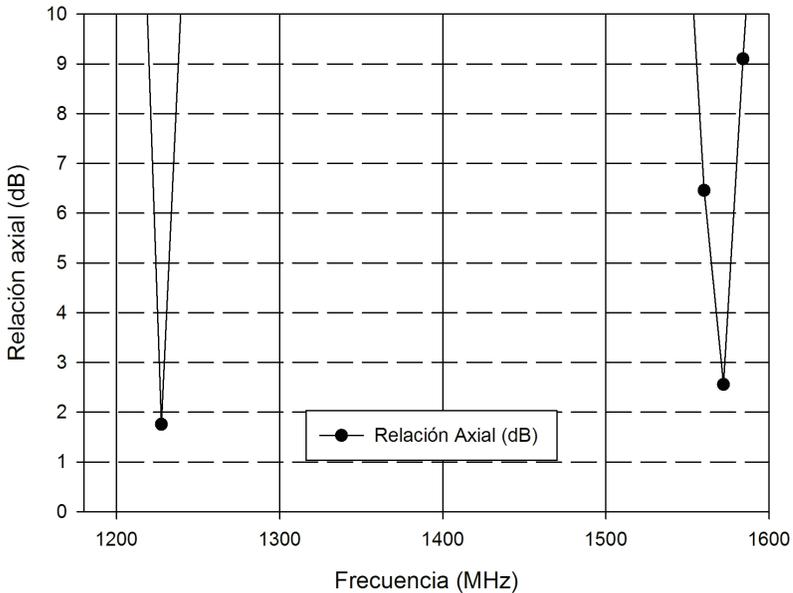


Figura 8. Relación axial.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta el desarrollo de una antena con polarización circular y doble resonancia que hace uso de sustratos de constante dieléctrica reducida, mostrando resultados comparables frente a los diseños llevados a cabo con las tecnologías convencionales estudiadas en este documento. El diseño propuesto permite su operación en las dos bandas de GPS L1 y L2 y su resultado se alcanza mediante el diseño de dos parches apilados con geometría rectangular, separados por un espacio de aire (GAP) los cuales son excitados sobre la diagonal. La propuesta explorada en este artículo agrega dos cortes triangulares (sobre la misma diagonal) y dos parches parásitos ubicados en dos caras opuestas con lo cual se logra un grado de libertad adicional que permite obtener una apropiada relación axial al igual que un acoplamiento aceptable a las frecuencias deseadas.

La caracterización en impedancia llevada a cabo sobre el prototipo de antena construido permite un ancho de banda medido de 18,03 MHz ($f_{c1} = 1,227$ GHz) en la banda L2 y 17,66 MHz ($f_{c2} = 1,575$ GHz) en la banda L1, para

un coeficiente de reflexión de -10 dB; en cuanto al diagrama de radiación, los resultados de las simulaciones muestran una ganancia de 5,45 dBi y 6,78 dBi y un ancho de banda de la relación axial de 8,1 MHz y 10,2 MHz (6 dB), respectivamente. Finalmente se demuestra que los resultados de las simulaciones son concordantes con las medidas llevadas a cabo en el prototipo construido en cuanto a la caracterización en impedancia.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Grupo de Radiación Electromagnética (GRE) de la Universidad Politécnica de Valencia por permitir el uso del software para la elaboración de las gráficas y análisis electromagnético base fundamental para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] J. L. Volakis, *"Antenna Engineering"*. McGraw Hill, New York, NY, 2007.
- [2] T. A. Milligan, *"Modern Antenna Design"*. John Wiley, Hoboken, NJ, 2005.
- [3] N. Padros, et ál. *"Comparative studies of high-performance GPS receiving antenna designs,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 45, pp. 698-706, May. 1997.
- [4] J. M. Tranquilla, y S. R. Best, *"A study of quadrifilar helix antenna for global positioning system applications,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 38, pp. 1545-1550, Jun. 1990.
- [5] M. Dinius, *"GPS antenna multipath rejection performance,"* MIT. Lincoln Lab, Cambridge, MA, Tech. Rep., Aug. 1995.
- [6] K. Wei, Z. Zhang, y Z. Feng, *"Design of a coplanar integrated microstrip antenna for GPS/ITS applications,"* IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 10, pp. 458 - 461, Feb. 2011.
- [7] S. L. Ma, y J. S. Row, *"Design of Single-Feed Dual-Frequency Patch Antenna for GPS and WLAN Applications,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 59, pp. 3433-3436, April. 2011.
- [8] K. Phaebua et al. *"Dual-band antenna system for SDARS and GPS applications,"* in Int. Symp. on Antennas and Propagation, Orlando Flo., 2010, pp. 1-4.
- [9] F. Mariottini, et ál. *"Design of a Compact GPS and SDARS Integrated Antenna for Automotive Applications,"* IEEE Antennas and Wireless Propag. Letters, vol. 9, pp. 405-408, Feb. 2010.

- [10] K. Cheolbok, et ál. "A surface micromachined high directivity GPS patch antenna with a four-leaf clover shape metamaterial slab" in Conf. Electronic Components and Technology (ECTC), Orlando Flo. 2012, pp. 942-947.
- [11] Y. Li, et ál., "Compact circular polarization microstrip antenna design", in Int. Symp. on Antennas and Propagation, Cambridge, MA., 2012. pp. 1-2.
- [12] M. Chen, y C. Chen, "A Compact Dual-Band GPS Antenna Design", IEEE Antennas and Wireless Propag. Letters., vol. 12, pp. 245-248, Aug. 2013.
- [13] L. Chen, "Dual frequency patch antenna design for global navigation satellite system", M.S. thesis, Russ College, Ohio, 2007.
- [14] L. Boccia, G. Amendola, y G. Di Massa, "A Dual Frequency Microstrip Patch Antenna for High-Precision GPS Applications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 3. pp. 157-160, Feb. 2004
- [15] L. Boccia, G. Amendola, y G. Di Massa, "Performance evaluation of shorted annular patch antennas for high-precision GPS systems," IET Microw. Antennas Propagation, vol. 1, pp. 465-471, July 2007.
- [16] S. X. Ta, H. Choo, I. Park, y R. W. Ziolkowski, "Multi-Band, Wide-Beam, Circularly Polarized, Crossed, Asymmetrically Barbed Dipole Antennas for GPS Applications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 61, pp. 5771-5775, Jun. 2013.
- [17] C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design", 3^a Ed., Wiley, New York, 2005, ch. 14, pp. 811-876.
- [18] W. J. Liao, J. T. Yeh, y S. H. Chang, "Circularly Polarized Chip Antenna Design for GPS Reception on Handsets," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 62, pp. 3482 - 3489, Jul. 2014.