

Antena Doble Banda para Receptores de GPS de Precisión

Ezequiel A. Marranghelli, Ramón López La Valle y Pedro A. Roncagliolo

*Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación (LEICI),
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
emarranghelli@gmail.com lopezlavalle@ing.unlp.edu.ar agustinr@ing.unlp.edu.ar*

Resumen— Se presenta el diseño y la implementación de una antena doble banda de GPS apta para aplicaciones de precisión. La capacidad de operar en doble banda permite medir y descontar el retardo adicional que sufren las señales de GPS cuando atraviesan la ionósfera. Tal retardo es en general apreciable y puede generar errores del orden del metro. En este trabajo se evaluaron diferentes alternativas de diseño y se optó por la que mejor se adaptaba a las necesidades establecidas. Estos diseños se estudiaron mediante simulaciones numéricas. Posteriormente, se construyó un prototipo de la antena con el diseño seleccionado, el cual fue caracterizado mediante mediciones. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios. Se presentan también resultados de mediciones obtenidas con un receptor de GPS experimental conectado a esta antena.

Palabras Clave— Antena de Microtira, GPS, Doble Banda, Posicionamiento preciso.

1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS) permiten determinar la posición de un receptor capaz de sincronizarse con las señales transmitidas por los satélites. El receptor calcula su posición a partir de las distancias entre los satélites y su antena, para ello debe conocer la posición de los satélites en el momento de la transmisión. Los receptores comerciales utilizan típicamente una sola banda de frecuencias en la cual reciben las señales de los distintos satélites, y calculan el tiempo de propagación de estas señales hasta su antena. Conociendo la velocidad de propagación, estas medidas de retardo se pueden traducir en las distancias buscadas. Uno de los factores que más limitan el desempeño de los receptores de una sola banda es el desconocimiento del retardo experimentado por las señales de navegación al atravesar la ionósfera [1]. Si bien se utilizan modelos aproximados para descontar este efecto, la variabilidad de la ionósfera causa que los retardos no compensados puedan producir errores de posición de varios metros. Por este motivo los GNSS transmiten en más de una banda, ya que con medidas de retardo en dos o más frecuencias es posible estimar y descontar efectivamente el retardo inosférico. Estas técnicas se utilizan en receptores de precisión, empleados habitualmente en aplicaciones de geodesia o militares.

De los GNSS operativos en la actualidad, el GPS estadounidense posee dos bandas denominadas L_1 y L_2 , cuyas frecuencias centrales son 1575,42 MHz y 1227,6 MHz respectivamente. Debido a que la posición que el receptor calcula es, en rigor, la posición de la antena donde arriban las señales, un receptor de doble banda debe poseer una única antena capaz de recibir las señales de ambas bandas simultáneamente.

Este trabajo consiste en el diseño y la implementación de una antena capaz de recibir las señales de las bandas L_1 y L_2 de GPS. Estas señales tienen un ancho de banda de aproximadamente 10 MHz y poseen polarización circular derecha. Por lo tanto, para recibir eficientemente las señales transmitidas es necesario que la antena receptora sea capaz de aceptar la misma polarización con la menor pérdida posible. Se propone utilizar el tipo de antena conocido como patch o de microtira. Estas antenas están constituidas por una superficie conductora (patch) colocada sobre un sustrato dieléctrico con un plano de tierra por debajo. Las antenas de microtira constituyen una opción interesante ya que son fáciles de fabricar, su costo es muy bajo y pueden diseñarse con polarización circular utilizando un único punto de alimentación. Mecánicamente poseen otras ventajas como su reducido peso y bajo perfil. Por otro lado, una de las mayores desventajas de las antenas de microtira es su reducido ancho de banda. Sin embargo, para la aplicación en cuestión, la información se encuentra concentrada en dos bandas de frecuencias angostas. El resto de las frecuencias no contiene información útil. En este sentido, con antenas de microtira, es posible realizar diseños específicos que permiten sintonizar la antena para operar en dos bandas definidas, con ancho de banda angosto. También es posible lograr la polarización circular requerida en ambas bandas.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente forma. En la Sección 2 se analizan algunos diseños de antenas aptos para la aplicación de interés, para luego elegir aquél que resulte más adecuado. Una vez definido el modelo a utilizar, en la Sección 3 se describe la implementación de la antena. Luego en la Sección 4 se presentan los resultados de las mediciones realizadas al prototipo construido para validar su desempeño, y en la Sección 5 se realiza un replanteo del modelo simulado previamente. Finalmente se exponen las conclusiones obtenidas.

2. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En general, las antenas de microtira con forma básica no permiten obtener un comportamiento doble banda y polarización circular en ambas bandas. Sin embargo, su rango de aplicación y rendimiento pueden ser mejorados considerablemente modificándolas apropiadamente. Empleando antenas modificadas se pueden lograr características tales como operación en doble banda, control de polarización, control del patrón de radiación y la posibilidad de modificar su frecuencia de resonancia mediante diferentes técnicas [2]. A continuación se analizan algunos diseños a fin de verificar si permiten cumplir con las necesidades de diseño.

2.1. Diseño 1

Una técnica reciente para obtener doble banda con CP (polarización circular) empleando una única sonda de alimentación consiste en incorporar dos pares de ranuras en forma de arcos de longitudes apropiadas cerca del contorno de un parche circular. Además, uno de estos arcos posee una ranura adicional sobresaliendo de sí mismo [3]. Éste constituye un diseño fácil de implementar debido a que posee una única sonda de alimentación, incluye un solo material dieléctrico y un único parche de microtira con relativamente pocos parámetros a ajustar.

Para esta estructura propuesta, los dos modos operativos están asociados con los modos transversales magnéticos TM_{11} y TM_{21} de la antena circular simple sin ranuras. En presencia de dos pares de ranuras con ligera diferencia de amplitud angular, es esperable que los dos primeros modos operativos puedan consistir ambos en dos modos resonantes cercanos degenerados y ortogonales, si una sonda de alimentación se ubica sobre una dirección a 45° de los ejes centrales del parche circular. La antena propuesta se muestra en la Fig. 1.

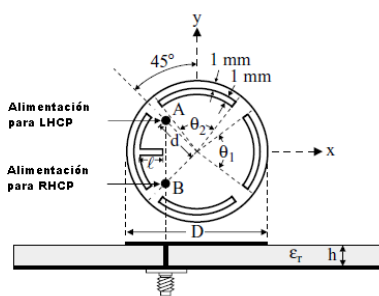


Figura 1: Geometría de Diseño 1.

Luego de sucesivos ensayos se pudo concluir que dicha antena no se comporta adecuadamente para el rango de frecuencias de las bandas de GPS L_1 y L_2 . Para justificar esto, al modelo ya mencionado se le asignó una configuración para la cual el parche resuena en las bandas frecuenciales L_1 y L_2 . Pero a fin de lograr adaptar la antena, fue necesario violar una condición impuesta sobre el diseño original que consiste en asignar ángulos ligeramente diferentes a los pares de ranuras arqueadas. Esto

genera inconvenientes tales como no poder asignar polarización circular derecha a ambas bandas frecuenciales y distorsiona el patrón de radiación. La antena propuesta presenta un buen comportamiento cuando la relación frecuencial se encuentra entre 1,50 y 1,66, sin embargo la relación entre las frecuencias de GPS es aproximadamente 1,28.

En la Fig. 2 se presenta un gráfico del parámetro de dispersión S_{11} obtenido por simulación, el cual constituye el coeficiente de reflexión y es una medida de la adaptación de la impedancia de la antena con la impedancia característica del sistema, es decir 50Ω [4]. Como se puede observar, es posible adaptar la antena para ambas bandas frecuenciales requeridas.

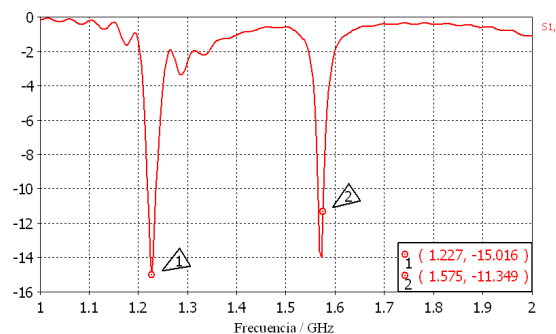


Figura 2: Parámetro S_{11} [dB] simulado en función de la frecuencia para el Diseño 1.

La Fig. 3 ilustra el patrón de relación axial en un semiplano del espacio de radiación ($\varphi = 90^\circ$) en campo lejano para L_1 y L_2 [5]. Los resultados muestran que la relación axial para ambas bandas es siempre mucho mayor a 1 (veces), lo cual significa que las componentes espaciales de los campos ligados a la antena no poseen igual magnitud entre ellas, y ello indica que la polarización obtenida es predominantemente lineal.

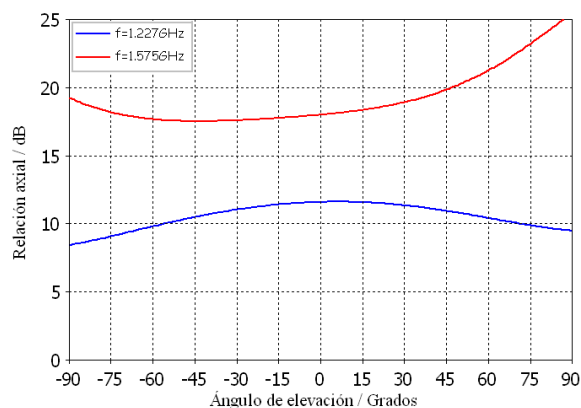


Figura 3: Patrón de relación axial simulado del Diseño 1.

Debido a la degradación en la relación axial y en el patrón de radiación de esta antena se decidió evaluar otra alternativa.

2.2. Diseño 2

El siguiente modelo de antena de microtira de doble banda con CP ha sido propuesto [6]. Apilando dos parches cuadrados diferentes, truncados en sus esquinas, sobre un sustrato dieléctrico se puede crear una antena de microtira de doble banda y con CP. El parche superior posee un par de esquinas truncadas en forma de cuadrados, mientras que el parche inferior posee un par de esquinas truncadas en forma de triángulos isósceles que permiten la excitación de dos modos cercanos degenerados ortogonales (los modos TM_{10} y TM_{01}) [7]. De esta forma se logra obtener polarización circular. La estructura está constituida básicamente de una capa dieléctrica de espesor h_1 sobre la cual descansa un parche metálico y otra capa dieléctrica del mismo material, mismas dimensiones y alineada a lo largo del mismo eje. A su vez un segundo parche metálico se encuentra por encima de la lámina dieléctrica superior. Debajo de estos elementos además se encuentra el plano de tierra. Una sonda de alimentación atraviesa el plano de tierra y el resto de los elementos de la antena para alimentar por conducción al parche superior. Éste último se encuentra acoplado magnéticamente al parche inferior.

Debido a que se deben emplear dos capas dieléctricas tal que encierren entre ellas a uno de los parches y que estén perfectamente adheridas entre sí, se requiere emplear un material que permita realizar esta unión. El material adherente debe poseer un espesor perfectamente previsible y su permitividad debe ser conocida. El proceso de fabricación de un par de láminas dieléctricas perfectamente unidas por un segundo material dieléctrico que posea tales propiedades constituye un requisito complejo, sólo viable si se dispone de herramientas que permitan alcanzar la precisión adecuada.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se optó por modificar el diseño ya descrito. La solución propuesta consiste en incluir una capa intermedia de aire de espesor conocido de manera tal de evitar adherir las capas de sustrato entre sí en el proceso de fabricación. Emplear capas dieléctricas múltiples con aire es un método que ha sido estudiado en [6] y, si bien deteriora levemente el desempeño de la antena, resulta más sencillo de implementar. En la Fig. 4 se presenta el esquema propuesto [8].

Los valores asignados a los parámetros de la estructura permiten lograr su funcionamiento en doble banda, L_1 y L_2 , y polarización circular derecha. En la Fig.5 se presenta el gráfico correspondiente al parámetro de dispersión S_{11} para el diseño propuesto obtenido por simulación.

Los resultados indican que se ha logrado adaptar la antena muy cerca de 50Ω en las dos regiones de operación. Hay cuatro puntos señalados en el gráfico, los puntos 1 y 2 corresponden a las frecuencias centrales de las bandas L_2 y L_1 respectivamente. Los puntos 3 y 4 corresponden a las frecuencias donde la antena presenta máxima adaptación. Diseñar la antena para que los puntos 1 y 2 coincidan con los puntos 3 y 4 es posible y sería óptimo, pero se verificó que esta condición deteriora la polarización. En

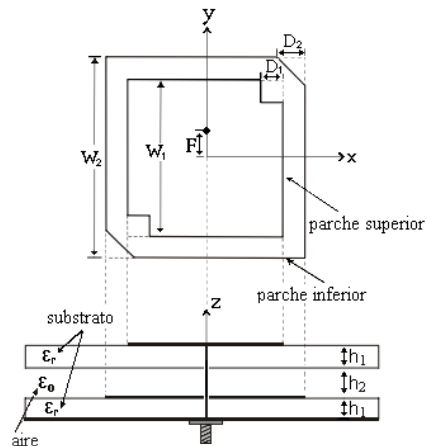


Figura 4: Geometría del Diseño 2.

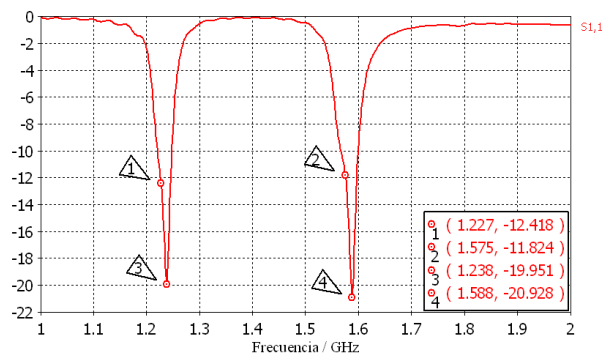


Figura 5: Parámetro S_{11} [dB] simulado en función de la frecuencia para el Diseño 2.

efecto, la antena se encuentra adaptada ya que las pérdidas de retorno ($-S_{11}$ [dB]) son superiores a 10dB en las dos bandas frecuenciales de interés.

En la Fig. 6 se presenta el diagrama polar de ganancia, donde puede observarse que para ambas bandas el comportamiento es muy similar. En la Fig. 7 se muestra el patrón de relación axial. Se ha tomado como margen de eficiencia la región angular donde la relación axial es inferior a 3dB , para la cual la antena se encuentra polarizada en forma circular. Tal condición ocurre en una amplia zona del espacio, degradándose para ángulos de elevación cercanos a 90° . A continuación se presenta la Tabla 1 que resume las características principales de la antena obtenidas por simulación. En base a su buen comportamiento, se eligió implementar esta arquitectura.

3. IMPLEMENTACIÓN

Las dimensiones finales se obtuvieron por simulación, empleando un programa basado en el método de integraiones finitas [8], y se resumen en la Tabla 2. Para comenzar con la fabricación, a partir de una placa de Duroid 6002 [9], se recortaron dos secciones cuadradas idénticas de dimensiones $13\text{cm} \times 13\text{cm}$, de acuerdo a los paráme-

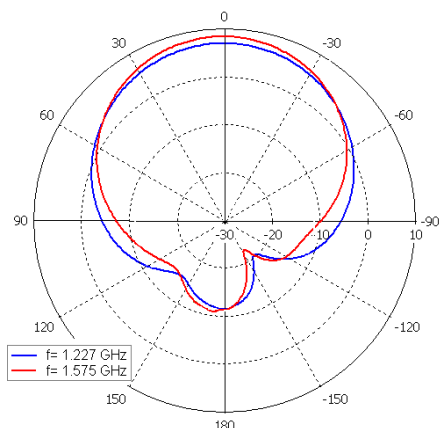


Figura 6: Patrón de ganancia simulado para el Diseño 2.

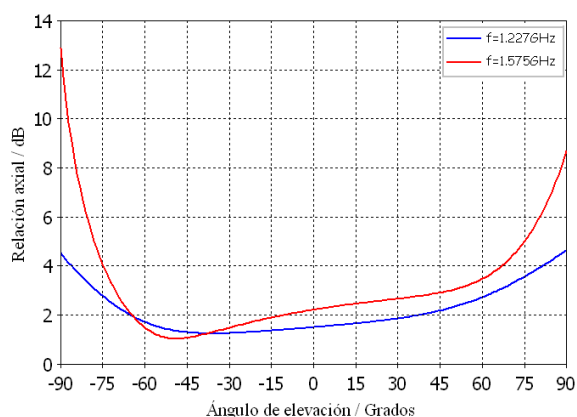


Figura 7: Patrón de relación axial simulado del Diseño 2.

Tabla 1: Características de la antenna simulada correspondiente al Diseño 2.

Característica	Banda L_2	Banda L_1
Directividad Máxima	7,3dBi	8,5dBi
Ganancia	6,8dBi	8,2dBi
Relación axial ($\theta = 0^\circ$)	1,5dB	2,2dB
Adaptación (S_{11})	-12,5dB	-12,0dB
Eficiencia total	0,89 (veces)	0,93 (veces)
Dirección de máxima directividad	1,0°	2,0°
Ancho de rayo de mitad de potencia	83,0°	70,5°
Rechazo de CP izquierda ($\theta = 0^\circ$)	-21,3dB	-18,0dB

tros indicados en la Tabla 2. De esta manera quedaron definidas las dimensiones del plano de tierra y la sección cuadrada de las tres capas dieléctricas apiladas (Duroid-aire-Duroid) propias de la estructura. Para fabricar los parches se empleó el método fotográfico. En la Fig. 8 se muestra una foto de la antenna construida.

4. RESULTADOS

Para verificar el desempeño de la antenna construida y contrastarlo con los resultados obtenidos por simulación se han caracterizado ciertos parámetros de la antenna expe-

Tabla 2: Dimensiones de la antenna construida.

Parámetro	Dimensión [mm]
D_1	4,6
D_2	6,3
F	13,7
L	130
W_1	74,6
W_2	67,8
h_2	1,7
h_1	1,524

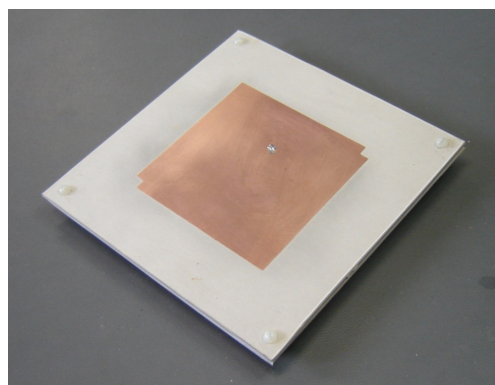


Figura 8: Antenna construida, vista superior.

perimentalmente. Si tales resultados son aproximadamente iguales a los resultados de las simulaciones, entonces sería posible argumentar que las posibles variaciones en el resto de los parámetros serán mínimas. Para determinar el patrón de radiación, se debe disponer de grandes espacios abiertos donde el conjunto transmisor-receptor se encuentre retirado de cualquier elemento que pueda ser considerado un obstáculo para la propagación de las ondas. A su vez, asumiendo tales condiciones, se debe realizar un gran número de mediciones de la ganancia de la antenna a caracterizar en múltiples orientaciones. Tales requisitos constituyen una gran dificultad, que podría solventarse si se dispusiese de montajes especiales o de una cámara anecoica diseñados para tal fin. Por lo cual, se resolvió medir únicamente la ganancia en la dirección de máxima radiación. A continuación se describen las mediciones realizadas.

4.1. Adaptación

Para determinar la adaptación de la antenna se midió el parámetro de dispersión S_{11} empleando un analizador de redes. En la Fig. 9 se muestra el resultado obtenido junto con el de la simulación, donde puede verse que los resultados son muy semejantes en la banda L_2 y se detecta una mínima diferencia en la banda L_1 .

4.2. Ganancia

Para medir la ganancia de la antenna se empleó la técnica propuesta en [10]. Para ello es necesario transmitir una potencia conocida y medir la potencia recibida por la an-

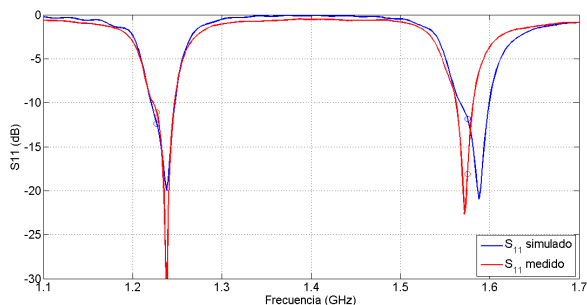


Figura 9: Gráfica comparativa entre S_{11} simulado y medido.

tena cuya ganancia se requiere determinar. A través de sucesivas mediciones de potencia recibida se puede realizar la medición indirecta de la ganancia en un entorno provisto de superficies y elementos reflectantes. Este método permite rechazar eficazmente las interferencias por reflexión evitando la necesidad de recurrir a una cámara anecoica.

El sistema de medición emplea una antena transmisora, un analizador de redes y la antena bajo estudio. La antena transmisora utilizada para este fin fue una bocina piramidal previamente caracterizada. A causa de que la misma posee polarización lineal, la ganancia de la antena receptora solo puede ser medida en la dirección en que el campo eléctrico es irradiado. Entonces, para obtener una mejor caracterización se optó por realizar este procedimiento dos veces, rotando 90° la antena sobre su eje. Si la ganancia obtenida en ambas direcciones resulta similar habrá indicios de que la polarización de la antena receptora es circular o ligeramente elíptica. Se calculó la ganancia en las frecuencias centrales de las bandas L_1 y L_2 . En la Tabla 3 se presentan las ganancias obtenidas.

Tabla 3: Ganancia medida.

Banda \ Orientación	0°	90°
L_1	6,5dBi	-6,8dBi
L_2	4,7dBi	-3,4dBi

Su comportamiento real responde a polarización elíptica con un cierto ángulo de inclinación del eje mayor que, en principio es desconocido, pero probablemente cercano al eje sobre el que se encuentra el punto de alimentación. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que las ganancias medidas con orientación 0° en L_1 y en L_2 son razonablemente similares a las simuladas y aceptables para antenas de microtira. Sin embargo, para la orientación 90° se encontraron ganancias sustancialmente menores. En la Sección 5 se explican las posibles causas de estas diferencias.

4.3. Prueba funcional

Para verificar el funcionamiento de la antena con señales reales se la conectó a un sistema de prueba. Éste consistió en un cabezal de RF [11], que acondiciona las

señales analógicas provenientes de la antena, seguido por una placa adquirentora de datos [12], donde se digitalizaron las señales provistas por el cabezal de RF correspondientes a las bandas L_1 y L_2 . Las muestras fueron almacenadas en una FPGA para su posterior procesamiento. Se realizó la adquisición de las señales, que consiste en detectar la presencia de un satélite [1]. Cabe destacar que se logró adquirir todos los satélites visibles al momento de realizar la prueba. En particular, se logró adquirir los cuatro satélites que estaban transmitiendo las señales de uso civil de la banda L_2 , además de L_1 . A modo de ejemplo, en la Figura 10 se presenta la función de correlación para un satélite adquirido en función del retardo de código para el valor de frecuencia Doppler del máximo.

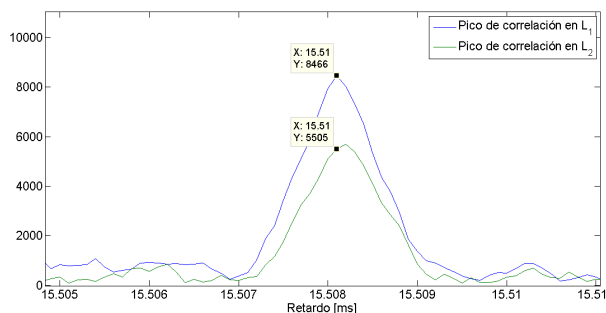


Figura 10: Detalle del pico de correlación en función del retardo de código para el satélite 24 de GPS.

Los retardos de código para las señales de L_1 y L_2 coinciden aproximadamente. Esto verifica que ambas señales fueron recibidas con la misma antena y en forma simultánea. A partir de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se puede concluir que la antena funciona correctamente en ambas bandas.

5. AJUSTE DEL MODELO SIMULADO

A fin de poder explicar los resultados presentados en la Sección 4 se procedió a ajustar las dimensiones de la antena en el modelo simulado para verificar las causas del comportamiento obtenido. Se realizó un relevamiento de las dimensiones reales de las capas dieléctricas y parches en la antena construida, y se simuló un nuevo modelo con tales características. En la Tabla 4 se presentan los datos relevados a partir de la antena construida. La precisión de cada medida comprende la precisión del instrumento de medición sumado a la irregularidad del elemento bajo estudio. Las diferencias en las dimensiones pueden atribuirse a ciertas imperfecciones en el método fotográfico empleado para definir los parches.

Realizados los ajustes sobre el modelo simulado, obtuvimos resultados consistentes con los de las mediciones realizadas. El nuevo parámetro de dispersión simulado se asemeja considerablemente al obtenido por medición, según se muestra en la Fig. 11.

Tabla 4: Dimensiones reales de la antena construida.

Parámetro	Medida	Precisión	Valor ideal
D_1	4,7mm	$\pm 0,1mm$	4,6mm
D_2	6,2mm	$\pm 0,1mm$	6,3mm
F	13,6mm	$\pm 0,1mm$	13,7mm
L	130mm	$\pm 1mm$	130mm
W_1	74,9mm	$\pm 0,3mm$	74,6mm
W_2	67,9mm	$\pm 0,2mm$	67,8mm
h_2	1,7mm	$\pm 0,1mm$	1,7mm
h_1	1,524mm	1,524mm

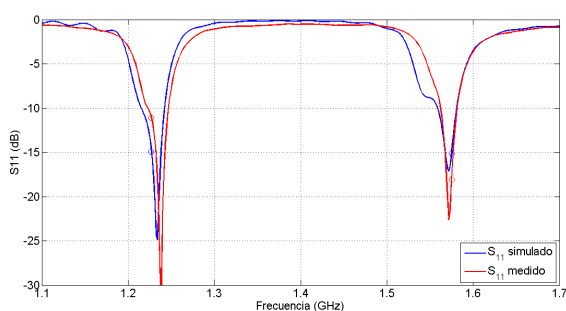


Figura 11: Comparación de S_{11} entre la curva medida y la simulación corregida.

Efectivamente, dados estos cambios, la polarización se ve afectada como se observa en la Fig. 12.

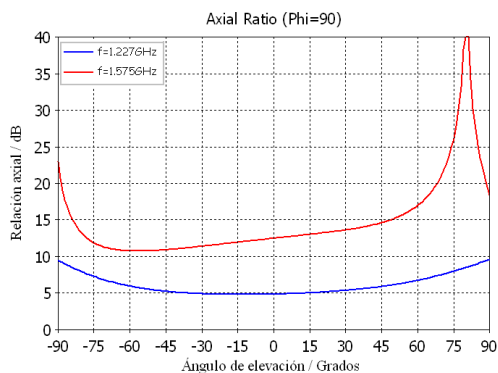


Figura 12: Relación axial simulada del modelo modificado.

Estos resultados permiten concluir que las diferencias encontradas se deban a errores de construcción.

6. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó una antena doble banda de GPS apta para aplicaciones de precisión con resultados satisfactorios. Se realizó un ensayo funcional utilizando un prototipo de la antena conectado a un receptor de GPS de doble banda, y se pudieron adquirir las señales de todos los satélites visibles en ambas bandas. Aunque se registraron algunas diferencias respecto a las simulaciones realizadas, los resultados verificaron un buen desempeño de la antena en las dos bandas de interés. Con el objetivo

de explicar estas diferencias se ajustó el modelo simulado en base a las dimensiones reales de la antena construida, y de esta manera se estudió el efecto que pequeñas modificaciones han ocasionado en el desempeño final. Esto permitió explicar la disparidad obtenida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por ANPCyT PICT2011-11/0909, UNLP 11-I-166 y CONICET.

REFERENCIAS

- [1] Elliott D. Kaplan, Christopher J. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and applications*, second edition. Boston, USA: Artech House Inc., 2006.
- [2] Ramesh Garg, *Microstrip Antenna Design Handbook*. Boston, USA: Artech House Inc., 2001.
- [3] K. B. Hsieh, M. H. Chen and K. L. Wong, "Single-feed dual-band circularly polarized microstrip antenna", *Electron. Lett.*, Vol. 34, No. 12, pp. 1170-1171, 1998.
- [4] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, second edition. New Jersey, USA: John Wiley and Sons, 1998.
- [5] C. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, second edition. New Jersey, USA: John Wiley and Sons, 1997.
- [6] C. M. Su and K. L. Wong, "A dual-band GPS microstrip antenna", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, Vol. 3, No. 4, pp. 238-240, 2002.
- [7] S. Y. Ke, "A Dual-band Microstrip Antenna for Precise GPS Applications", *WHAMPOA - An Interdisciplinary Journal*, Vol. 58, pp. 53-58, 2010.
- [8] T. Weiland, "A discretization method for the solution of Maxwell's equations for six component fields: Electronics and Communication", *Int. J. Electron. Comun. (AEÜ)*, Vol. 31, No. 3, pp. 116-120, 1977.
- [9] Rogers Corporation, "RT/duroid 6002 High Frequency Laminates", Data Sheet, 2011.
- [10] A. Newell, R. Baird and P. Wacker, "Accurate Measurement of Antenna Gain and Polarization at Reduced Distances by an Extrapolation Technique", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. AP-21, No. 4, pp. 418-431, 1973.
- [11] R. López La Valle, J. García y P. Roncagliolo, "Cabezal de RF multifrecuencias y multiconstelación para receptores GNSS basados en SDR," *XV RPIC*, Bariloche, Argentina, 2013.
- [12] J. Cogo, J. García, P. Roncagliolo and C. Muravchik, "High Speed Acquisition and Storage Platform for SDR Application Development," *VII Southern Conference on Programmable Logic CPL 2011*, Cordoba, Argentina, 2011, pp. 19-24.