

DISEÑO DE LAS ANTENAS DE COMUNICACIONES PARA LA MISIÓN USAT-I

Lombardo, Simón M. - Roncagliolo, Pedro A. – López La Valle, Ramón
simon.lombardo@ing.unlp.edu.ar - agustinr@ing.unlp.edu.ar – lopezlavalle@ing.unlp.edu.ar

UIDET SENyT, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de la Plata, Calle 116 s/n, B1900, La Plata, Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del desarrollo del primer nanosatélite de la Universidad Nacional de La Plata denominado USAT I, se llevó a cabo el diseño de las antenas de comunicaciones para el mismo. Dicho nanosatélite es del tipo Cubesat [1] y está compuesto por 3 unidades (3U) cúbicas de 10 cm de lado dando un volumen total de $30 \times 10 \times 10$ cm³.

La misión requiere antenas de UHF para la telemetría y telecomando (TT&C) del satélite en la banda de radioaficionados de 434 MHz. Este tipo de antenas debe ser capaz de generar un patrón de radiación omnidireccional [2] para poder comandar el nanosatélite inmediatamente después de su puesta en órbita cuando la mayoría de los subsistemas aún no han sido activados, incluyendo los de navegación y orientación, por lo que el satélite podría estar apuntando en cualquier dirección e incluso rotando sobre su eje a gran velocidad.

A su vez, se requiere una antena de mayor directividad para los datos de ciencia generados por la carga útil del satélite. Los mismos se transmitirán en la banda de radioaficionados por satélite que se extiende entre 2,4 y 2,45 GHz (Banda S), lo cual permite aumentar el ancho de banda de la señal y así lograr mayores tasas de transmisión. Para este tipo de enlaces comúnmente se utilizan antenas tipo parche que poseen patrones de radiación hemisféricos logrando directividades del orden de 6 dBi en un tamaño sumamente compacto [3].

Por otro lado, dada la escasa separación entre las antenas debido al tamaño del satélite (30 cm en el mejor de los casos), se debe realizar un análisis minucioso del acoplamiento entre las mismas para evitar posibles interferencias y garantizar el correcto funcionamiento del subsistema de comunicaciones [4]. En la Fig. 1 se presenta un diagrama en bloques simplificado del sistema de comunicaciones para comprender mejor la problemática. Notar que, en este esquema tenemos dos tipos de interferencias que pueden afectar al receptor de UHF. Por un lado, el acoplamiento fuera de banda, en la frecuencia de transmisión (2,4 GHz), que puede saturar el LNA de la cadena de recepción y generar productos de intermodulación que se trasladen a la banda de interés (434 MHz). A su vez, señales espurias en dicha la banda de interés generadas por el transmisor de Banda S podrían elevar el piso de ruido del receptor degradando su desempeño.

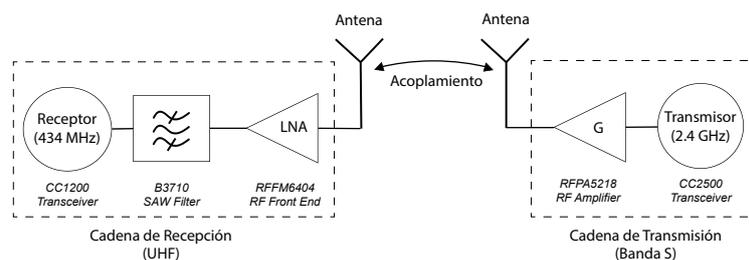


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema de comunicaciones

2. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

2.1. DISEÑO DE LA ANTENA DE UHF

Luego de un análisis exhaustivo del estado de arte en antenas para misiones Cubesat [5] [6], se optó por un diseño tipo Turnstile para la antena de telemetría y telecomando en UHF [7]. Este tipo de antenas permite obtener polarización circular y un patrón de radiación cuasi omnidireccional logrando mantener constante los niveles de señal entre la estación terrena y el satélite cualquiera sea su orientación en órbita. Distintas empresas venden este tipo de productos [8] [9]. Sin embargo, suelen tener costos relativamente elevados y generalmente su desempeño depende de la ubicación sobre la plataforma. Es por ello que se realiza un diseño personalizado. Típicamente, una antena turnstile consta de cuatro elementos radiantes (monopolos) rotados geoméricamente 90° grados entre sí y alimentados con la misma amplitud y 90° de diferencia de fase eléctrica (Ψ) de manera secuencial (0° , 90° , 180° y 270°).

2.1.1 Elementos radiantes

Para los elementos radiantes se propone utilizar cintas métricas (de ferretería) ya que, con un simple sistema compuesto por un hilo de nylon como retención y una resistencia para calentarlos y cortarlos en el momento adecuado, se puede obtener fácilmente una antena desplegable. En la Fig. 2 se muestra la antena en configuración plegada y desplegada.

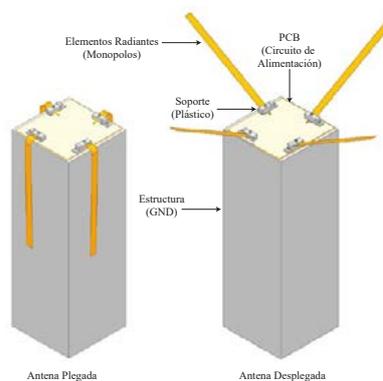


Figura 2. Bloques y despliegue de la antena turnstile

El proceso de diseño comienza optimizando la longitud de los elementos radiantes (L_a) en el entorno de 170 mm ($\lambda/4$ @ 434 MHz) hasta encontrar el coeficiente de reflexión mínimo. Cabe destacar que, se dio a cada cinta una inclinación (β) de 30° tal como se muestra en la Fig. 3, a fines de reducir la componente imaginaria de su impedancia de entrada [10]. En la Fig. 4 se puede observar que, la longitud óptima de los elementos es de 165 mm.

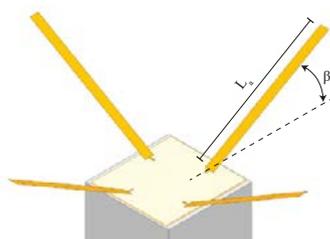


Figura 3. Variables de optimización

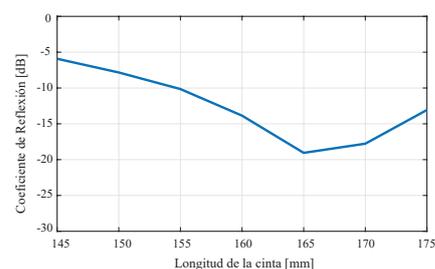


Figura 4. S_{11} vs Longitud de la cinta

2.1.2 Red de alimentación de la antena

La red de alimentación se implementó en microtira sobre un sustrato RO3010™ de 1,27 mm y un espesor de cobre de 1/2 oz [11]. El mismo consta de 3 divisores Wilkinson [12] y líneas de retardo con anchos y longitudes optimizadas logrando una red divisora de 1 a 4 puertos con igual amplitud y 90° de diferencia de fase entre puertos de salida. En la Fig. 5 se presenta el diseño y en la Tabla 1 se resumen los resultados de simulación.

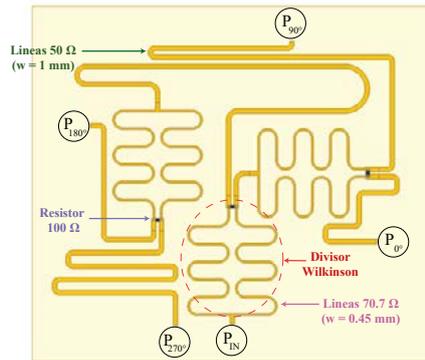


Figura 5. Diseño final de la red de alimentación

Tabla 1. Resultados de simulación de la red

Parámetro	P_{IN}	P_0	P_{90}	P_{180}	P_{270}
S_{11}	-20,70 dB	-31,4 dB	-19 dB	-37 dB	-23,6 dB
S_{12}	-	-6,2 dB	-6,1 dB	-6,5 dB	-6,5 dB
Ψ	0°	114°	207°	297°	387°

2.1.3 Diseño final y resultados de simulación

Finalmente, se llevó a cabo la simulación de la antena obteniendo un patrón de radiación cuasi omnidireccional (± 3 dB) y un coeficiente de reflexión menor a -20 dB.

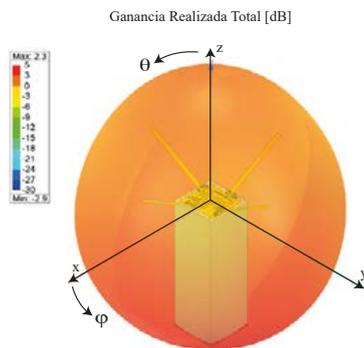


Figura 6. Patrón de radiación @ 434 MHz

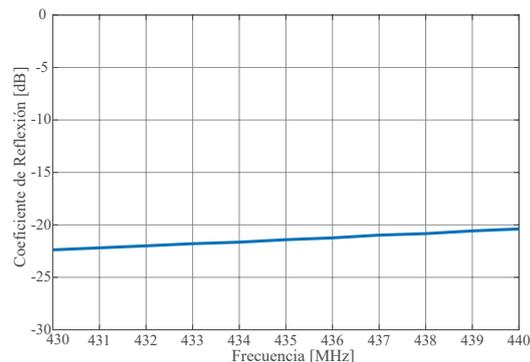


Figura 7. Coeficiente de reflexión

2.2. DISEÑO DE LA ANTENA DE BANDA S

Para Banda S se propone una antena tipo parche que posee ciertas ventajas como su bajo perfil (por lo que no se requiere sistema de despliegue), patrón de radiación hemisférico y que permite polarización circular con una simple modificación en su diseño [13]. Al igual que

en el caso de UHF, distintas empresas venden antenas terminadas y calificadas para este tipo de misiones [14] [15]. Sin embargo, algunas características como la polarización circular suelen estar optimizadas para un rango específico y muy acotado de frecuencias. Por lo dicho anteriormente y por el presupuesto limitado se optó nuevamente por hacer un diseño propio.

2.2.1 Especificación de diseño

A fin de reducir el área ocupada por la antena y dejar espacio para colocar posibles instrumentos de medición sobre la plataforma del CubeSat, se optó por un parche circular con alimentación coaxial sobre un sustrato RO4350BTM de 1,524 mm [16]. La polarización circular se logró con un corte delgado en el parche rotado 45° respecto del punto de alimentación. En las Figs. 8 y 9 se presenta el diseño final y en la Tabla 2 se detallan sus dimensiones finales.

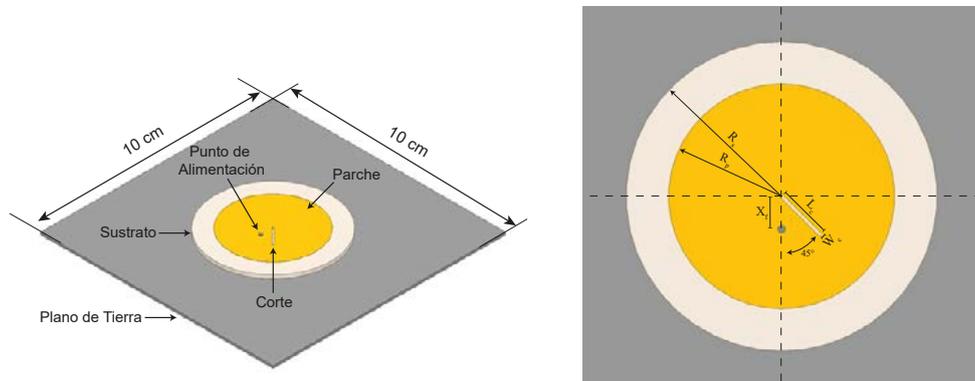


Figura 8. Diseño final de la antena parche Figura 9. Dimensiones de optimización

Tabla 2. Dimensiones de la antena de Banda S

Parámetro	Dimensión [mm]	Descripción
R_s	24,8	Radio del sustrato
R_p	18,1	Radio del parche
X_f	5,2	Posición del punto de alimentación
L_c	8,9	Largo del corte del parche
W_c	0,5	Ancho del corte del parche

*Valores optimizados para una frecuencia central de 2,425 GHz

2.2.2 Resultados de simulación

Como se observa en las Figs. 10 y 11, se obtuvo un patrón hemisférico con una directividad máxima de 6,2 dBi y un coeficiente de reflexión por debajo de -13 dB.

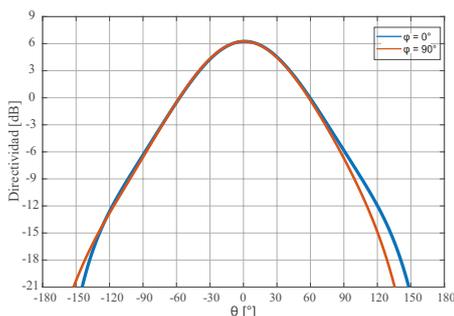


Figura 10. Directividad LHCP

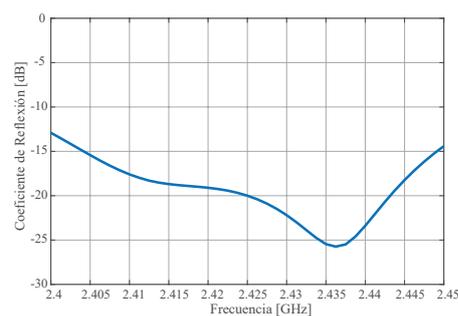


Figura 11. Coeficiente de reflexión

2.3. ANÁLISIS DE ACOPLAMIENTO

En el caso del USAT-I se tiene una distancia entre antenas de alrededor de 30 cm en el mejor de los casos por tratarse de un Cubesat 3U. Esto hace que el acoplamiento entre las antenas de comunicaciones (UHF y Banda S) tenga valores considerables que pueden degradar el desempeño del sistema de comunicaciones. Dichas interferencias, como ya se mencionó en la introducción, se dividen en dos tipos: acoplamiento dentro y fuera de banda.

2.3.1 Niveles de potencia

La potencia en la entrada del receptor, P_i , debido a la interferencia en banda generada por el transmisor de Banda S, P_o , puede escribirse como

$$P_o[dBm] + C_U[dB] - IL_f[dB] + G_{LNA}[dB] < P_i[dBm] \quad (1)$$

donde C_U es el acoplamiento entre antenas, G_{LNA} es la ganancia del amplificador de bajo ruido e IL_f son las pérdidas de inserción del filtro SAW. Si se considera que, la sensibilidad del receptor de UHF es de alrededor de -123 dBm y por ello los niveles de señal dentro banda no deben superar dicho valor (P_i), la ganancia del LNA es alrededor de 15 dB, las pérdidas de inserción del filtro SAW son de 2 dB y que la potencia de salida en el transmisor de Banda S a la frecuencia de 434MHz es del orden de -90 dBm (P_o), de la Ec. 1, se puede concluir que el valor de acoplamiento dentro de la banda del receptor (C_U) debe ser menor a -46 dB.

Para el acoplamiento fuera de banda la potencia en la entrada del LNA, P_i , debido a la interferencia generada por el transmisor de Banda S, P_o , puede escribirse como

$$P_o[dBm] + C_S[dB] < P_i[dBm] \quad (2)$$

En este caso, la potencia que ingresa al LNA del receptor no debe superar los 3,5 dBm (punto de compresión de 1 dB) y la potencia de salida en la antena transmisora alcanza su máximo valor (30 dBm). Si despejamos de la Ec. 2 el valor de acoplamiento entre antenas fuera de banda (C_S), podemos observar no debe superar los -26,5 dB.

2.3.2 Resultados de simulación

Para la ubicación de las antenas dentro de la plataforma el Cubesat se proponen tres configuraciones distintas A, B y C. Los resultados de la simulación se resumen en la Tabla 3. En todos los casos los niveles de acoplamiento se encuentran por debajo de los valores máximos calculados en la Sección 2.3.1: -26,5 dB fuera de banda y -46 dB dentro de banda.

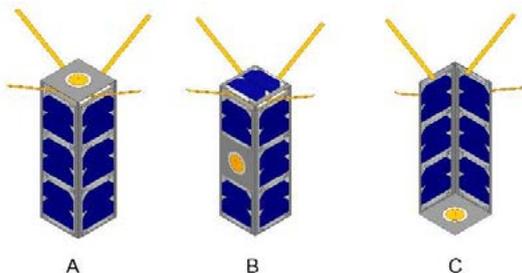


Figura 12. Configuraciones propuestas

Tabla 3. Valores de acoplamiento.

Config.	Dentro de banda	Fuera de banda
A	-59,3 dB	-32,5 dB
B	-54,8 dB	-37,3 dB
C	-72,3 dB	-61,2 dB

*Valores @ 434 MHz y 2,425 GHz

3. CONCLUSIONES

Se llevaron a cabo los diseños de las antenas de comunicaciones para la misión Cubesat USAT I. En primer lugar, se realizó el diseño de la antena de UHF (434 MHz) de tipo turnstile para la (TT&C) del satélite. A su vez se diseñó una antena tipo parche con polarización circular en Banda S (2,4 GHz) para la transmisión de datos de ciencia. En ambos casos, los resultados de simulación fueron muy satisfactorios y se especificaron diseños totalmente implementables. Finalmente se realizó el análisis de acoplamiento entre ambas antenas, proponiendo distintas configuraciones para su ubicación sobre la plataforma del satélite. Se pudo comprobar mediante este análisis que tanto la interferencia dentro como fuera de banda procedente del transmisor de Banda S no debería afectar la recepción de comandos en banda UHF.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Puig-Suari, C. Turner, and W. Ahlgren, "Development of the standard cubesat deployer and a cubesat class picosatellite," 2001 IEEE Aerospace Conference Proceedings (Cat. No.01TH8542), vol. 1, pp. 1/347–1/353 vol.1, 2001.
- [2] J. M. Baabuei, K. Keyghobad, and T. Heydari, "Turnstile antenna for saddle pattern generation in leo satellite applications," International Conference on Antenna Theory and Techniques, pp. 298–300, sep 2007.
- [3] F. E. Tubbal, R. Raad, and K.-W. Chin, "A survey and study of planar antennas for pico-satellites," IEEE Access: The journal for rapid open access publishing, vol. 3, pp. 2590–2612, 2015.
- [4] D. Weston, Electromagnetic Compatibility: Methods, Analysis, Circuits, and Measurement, Third Edition. CRC Press, 2016.
- [5] N. Aeronautics and S. Administration, "Small spacecraft state of the art report," NASA Technical Memorandum, pp. 232–251, 2021.
- [6] S. Abulgasem, F. Tubbal, R. Raad, P. I. Theoharis, S. Lu, and S. Iranmanesh, "Antenna designs for cubesats: A review," IEEE Access, vol. 9, pp. 45 289–45 324, 2021.
- [7] J. Kraus and R. Marhefka, Antennas for All Applications, ser. McGrawHill series in electrical engineering. McGraw-Hill, 2002.
- [8] ISISpace, "Innovative, deployable upon command and compact antenna system specially designed for cubesat mission," 2021. [Online]. Available: <https://www.isispace.nl/wp-content/uploads/2021/01/ISIS-ANTSDSH-0001-Antenna System Datasheet-04 00.pdf>
- [9] GOMspace, "Omnidirectional uhf cubesat antenna," 2020. [Online]. Available: <https://gomspace.com/UserFiles/Subsystems/datasheet/gs-dsnanocom-ant430-41.pdf>
- [10] E. S. Moghaddam and S. Amiri, "Development of separated turnstile antenna for space applications," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 50, no. 4, pp. 84–93, 2008.
- [11] RogersCorporation, "RO3000® series circuit materials," 2019. [Online]. Available: <https://rogerscorp.com/advanced-electronicssolutions/ro3000-series-laminates/ro3010-laminates>
- [12] D. Pozar, Microwave Engineering, 4th Edition. Wiley, 2011.
- [13] M. Haneishi and S. Yoshida, "A design method of circularly polarized rectangular microstrip antenna by one-point feed," Electronics and Communications in Japan Part I-communications, vol. 64, pp. 46–54, 1981.
- [14] ISISpace, "Cubesat S-band patch antenna," 2021. [Online]. Available: <https://www.isispace.nl/product/s-band-patch-antenna>
- [15] Endurosat, "S-band antenna ISM," 2021. [Online]. Available: <https://www.endurosat.com/cubesat-store/cubesat-antennas/s-bandpatch-antenna>
- [16] RogersCorporation, "RO4000® series," 2018. [Online]. Available: <https://rogerscorp.com/advanced-electronics-solutions//ro4000-series-laminates/ro4350b-laminates>
- [17] C. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design. Wiley, 2012.