

DISEÑO PRELIMINAR DE ANTENA PARA PLATAFORMAS DE SISTEMAS DCS SATELITALES

Juan Pablo Ciafardini #1, José Juárez #2, Adrián Carlotto #3

#1 jpciafardini@fcaglp.unlp.edu.ar

#2 jjuarez@ing.unlp.edu.ar

#3 carlotto@ing.unlp.edu.ar

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
#1 Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP
#2,3 GrIDComD, Dpto. de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP
48 y 116 – La Plata – Argentina

RESUMEN

Un sistema DCS (Data Collection System) satelital es utilizado en la recolección de datos adquiridos por plataformas autónomas DCP (Data Collection Platforms) fijas o móviles distribuidas globalmente. Éstas pueden encontrarse en la superficie terrestre, sobre boyas en los océanos y ríos, en globos, entre otros. Los datos recolectados generalmente se corresponden con medidas de las variables medioambientales de la plataforma. Consideramos para este trabajo sistemas que utilizan satélites de órbita baja. El DCS argentino, cuyo primer receptor voló en la misión SAC-D de la CoNAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) fue concebido para recibir al menos un mensaje por día de plataformas distribuidas sobre la superficie del territorio nacional, aunque también podía utilizarse para recibir los datos adquiridos por una DCP ubicada en cualquier parte del planeta. La próxima misión satelital SABIAMar tiene previsto como uno de sus instrumentos secundarios un receptor del sistema. El DCS está integrado por tres segmentos: el espacial, las plataformas y el segmento terrestre. El segmento espacial lo conforman todos los componentes que están a bordo de los satélites como es el receptor con su correspondiente antena. La banda de frecuencia utilizada por estos sistemas se encuentra en 401MHz. Las DCP transmiten un mensaje a intervalos prefijados, sin ningún tipo de interrogación por parte del satélite y sin ningún tipo de coordinación entre sí. Los mensajes se separan temporalmente debido a la elección de diferentes períodos de repetición en las plataformas y en frecuencia debido a los diferentes corrimientos por efecto Doppler. Estos mensajes son recibidos y procesados en vuelo, luego almacenados y, finalmente, transmitidos a la estación terrena. Allí los datos son clasificados y distribuidos a los usuarios de ciencia.

A bordo del satélite, en la mayoría de los casos, la antena receptora se encuentra fija apuntando al nadir, teniendo un diagrama de radiación amplio para establecer comunicación en todos los pasos. Debido a la expansión esférica de una onda electromagnética en el espacio libre, la potencia recibida disminuye en proporción al cuadrado de la distancia, por lo tanto, cuando el satélite se desplaza por encima del horizonte está en las peores condiciones del enlace. Por esta razón, la antena transmisora de las DCP se diseña para compensar este efecto. El diagrama de radiación de tales antenas se conoce como diagrama cosenoidal o Isoflux. Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de diseñar una antena para sistemas que utilizan satélites LEO es la polarización. A diferencia de los satélites geoestacionarios, los satélites LEO se mueven con respecto a la estación terrestre, por lo que un vector de polarización lineal rotaría. En consecuencia, se utiliza la polarización circular. En este trabajo se detalla el diseño de una antena hélice cuadrifilar cónica que puede ser utilizada en este tipo de sistemas. Se muestran los resultados de las simulaciones de su comportamiento. Del diseño propuesto resulta una antena que genera un diagrama de radiación cosenoidal, con alta pureza de polarización circular, para un número fraccional de vueltas $N=0,6$.

1.- INTRODUCCION

Este documento detalla el trabajo en el diseño y simulaciones por software de una antena hélice cuadrifilar cónica, que puede ser utilizada como antena transmisora para las plataformas terrestres de los sistemas de recolección de datos satelitales (DCS, Data Collection System) en la banda de 401 MHz.

El sistema DCS argentino [1] cuyo primer receptor voló en la misión SAC-D de la CoNAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) fue concebido para recibir al menos un mensaje por día de plataformas distribuidas sobre la superficie del territorio nacional como muestra la figura 1, aunque podía utilizarse para recibir los datos adquiridos por una DCP (Data Collection Platforms) ubicada en cualquier parte del planeta. La próxima misión satelital SABIAMar tiene previsto como uno de sus instrumentos secundarios un receptor del sistema.

A escala global, conviven sistemas como ARGOS DLCS (ARGOS Data Location and Collection System) el cual se originó con un acuerdo entre la agencia espacial francesa CNES (Centre National D'Etudes Spatiales), NASA (National Aeronautics and Space Administration), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de USA y ahora EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites). En Latinoamérica, un sistema similar actualmente operativo es el Sistema de Coleta de Dados (SCD) de Brasil, desarrollado por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) y la Agencia Espacial Brasileira a partir del año 1991.

Tanto el sistema Argos, como el argentino, realiza un procesamiento de las señales recibidas en vuelo y luego transmite los datos extraídos a una estación terrestre desde donde se realiza la validación y distribución de a los usuarios. A partir del lanzamiento en el año 2006 del satélite europeo Metop A (primer satélite meteorológico europeo de órbita polar), se puso en operación el sistema Argos 3, que además de aumentar la capacidad de procesamiento de su

antecesor, agregó la posibilidad de una comunicación básica con las plataformas.

A diferencia del sistema argentino, los satélites del sistema brasileño poseen un transpondedor, que retransmite la señal recibida desde las plataformas a tierra, para su posterior procesamiento. La desventaja de este tipo de diseño es que para recibir a una DCP determinada, el satélite además deberá estar a la vista de alguna estación terrena del sistema.

El sistema está integrado por tres segmentos: el espacial, las plataformas y el segmento terrestre. El segmento espacial lo conforman todos los componentes que están a bordo de los satélites como es el receptor con su correspondiente antena. El receptor DCS del SAC-D fue diseñado para recibir en la banda de los 401 a 403MHz, en uno de 200 canales separados 10kHz entre sí. De esta manera, el receptor pudo captar las transmisiones de plataformas del sistema Argos y del SCD.

Las DCP transmiten un mensaje a intervalos prefijados, sin ningún tipo de interrogación por parte del satélite y sin ningún tipo de coordinación entre sí. El largo de los datos útiles transmitidos varía desde 32 bits (mínimo) a 256 bits (máximo), es decir que el tiempo de transmisión de cada uno de ellos, teniendo en cuenta una tasa de bits es de 400 bps, varía entre 360 y 920 ms, dado que además se transmite un protocolo de inicialización para sincronización e identificación. Los mensajes se separan temporalmente debido a la elección de diferentes períodos de repetición en las plataformas. Estos intervalos varían entre 30 y 220 segundos según la aplicación. La posibilidad de colisiones entre mensajes de distintas DCP, lleva a la pérdida de mensajes, aunque ayuda el hecho que las transmisiones se separen en frecuencia, debido a distintos corrimientos Doppler (según sea la ubicación espacial de la DCP).

Consideraremos a los sistemas DCS diseñados para ser utilizados en los satélites de investigación científica de órbita baja. Los satélites LEO (Low Earth Orbit) o de órbita baja están situados a altitudes entre 500 y 1000 km de la superficie de la Tierra. Para una pasada con

máximo ángulo de elevación, el satélite está a la vista de la plataforma durante aproximadamente 15 minutos, con un número de pasos que es función de la latitud de la DCP. Estos pasos deben aprovecharse al máximo para poder recolectar la mayor cantidad de datos de ciencia.

Para lograr este objetivo es necesario poder recibir las plataformas a partir de ángulos de elevación pequeños. Además se busca no privilegiar a ninguna de las plataformas, por lo que se requiere que todas las plataformas que se encuentran a la vista, tengan la misma probabilidad de lograr una recepción exitosa de sus mensajes.

A bordo del satélite, en la mayoría de los casos, la antena receptora es fija apuntando al nadir, teniendo un diagrama de radiación amplio para establecer comunicación en todos los pasos.



Figura1. Sistema DCS argentino.

Debido a la expansión esférica de una onda electromagnética en el espacio libre, la potencia recibida disminuye en proporción al cuadrado de la distancia, por lo tanto, cuando el satélite se desplaza por encima del horizonte (elevación teóricamente cero) está en las peores condiciones del enlace. Por esta razón, la antena transmisora está diseñada para compensar este efecto.

El diagrama de radiación de tales antenas se conoce como diagrama cosenoidal o Isoflux, lo que significa que logra la misma densidad de potencia para toda la huella o área de cobertura, maximizando la eficiencia del enlace [2].

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de diseñar una antena para satélites LEO es la polarización. A diferencia de los satélites geoestacionarios, los satélites LEO se mueven con respecto a la estación terrestre, por lo que al utilizar un vector de polarización lineal se recibiría rotado. Además, la polarización circular es más inmune a los efectos de la despolarización atmosférica que tienden a rotar el vector de campo eléctrico provocando pérdidas en el caso lineal.

Para la polarización circular, en el mejor de los casos, las dos componentes del campo giran sin pérdida alguna y en el peor de los casos, una de las componentes gira y la polarización se vuelve más elíptica pero con menos pérdida que en el caso de polarización lineal.

Una antena ampliamente utilizada en aplicaciones donde se requiere polarización circular es la hélice cuadrifilar resonante de giro fraccional [3], [4], la cual produce un diagrama de radiación con forma cardioide con excelente polarización circular en un ángulo amplio. Esta antena ha encontrado aplicación en varios programas de naves espaciales debido a su pequeño tamaño, la falta de un plano de tierra y la insensibilidad a las estructuras metálicas cercanas.

Un diagrama de radiación de tipo isoflux se puede obtener extendiendo una hélice cuadrifilar de giro fraccional a un número entero de vueltas, es decir, la energía irradiada se puede concentrar en un cono con la ganancia disminuyendo desde un máximo en el borde del cono a un mínimo local en el centro. Esta forma de diagrama es casi óptima para muchas de las aplicaciones de navegación y comunicaciones de naves espaciales, proporcionando una mejora de aproximadamente 3 dB sobre los diagramas de forma cardioide [5]. Sin embargo, para lograr un diagrama de radiación óptimo se requiere una hélice con un número de vueltas $N=5$, lo que hace que la longitud de la antena se vuelva extremadamente grande.

Otra antena que permite obtener un diagrama de radiación isoflux, pero con dimensiones más compactas, y que está basada en la anterior, es la antena hélice cuadrifilar cónica [6].

En este trabajo se detalla el diseño y los resultados de simulaciones por software de una antena hélice cuadrifilar cónica, que cumple con los requerimientos del sistema DCS. La antena genera un diagrama de radiación isoflux, con alta pureza de polarización circular, para un número fraccional de vueltas $N=0,6$. La frecuencia de operación es 401 MHz y presenta características de banda ancha (13%).

2.- REQUERIMIENTOS

Los requerimientos establecidos para el diseño de la antena se resumen en la Tabla I.

TABLA I.

Principales Requerimientos de la Antena	
Requerimiento	Valor
Diagrama de Radiación	Hemisférico en ángulo de elevación $[\theta]$, omnidireccional en ángulo de azimut $[\varphi]$, con un máximo para $\theta = 60^\circ$ (ISOFLUX)
Frecuencia	401 MHz
Ancho de banda	2 MHz
Polarización	Polarización Circular Derecha (RHCP)
Mecánicas y Térmicas	La antena tiene que responder a los requisitos funcionales para aplicaciones espaciales.

3.- DISEÑO DE LA ANTENA

La antena está compuesta por cuatro radiadores equiespaciados en paralelo, montados sobre un plano de tierra circular. Los brazos tienen una terminación de extremo abierto y un sentido de las agujas del reloj para producir polarización circular derecha (RHCP).

El diagrama de radiación se puede ajustar variando el ángulo de paso de los radiadores, la longitud de la antena y las fases de alimentación. En [7] y [8] se muestran investigaciones similares. El entorno de simulación utilizado es el solucionador electromagnético de onda completa Altair FEKO® [9]. Se han utilizado cálculos

computacionales para la solución FEKO basada en el Método de Momentos (MOM). La figura 2 muestra el modelo simulado.

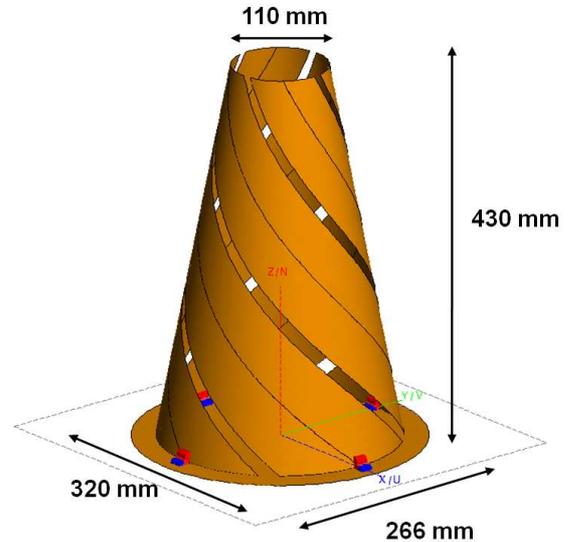


Figura 2. Antena Hélice Cuadrifilar Cónica.

La Tabla II muestra las dimensiones obtenidas para la antena helicoidal cuadrifilar cónica.

TABLA II.

Dimensiones de la antena helicoidal cuadrifilar cónica.	
Parámetro	Dimension
Diámetro del plano de tierra	320 mm
Altura	430 mm
Diámetro superior	110 mm
Diámetro inferior	266 mm
Ancho superior de los brazos	77 mm
Ancho inferior de los brazos	185,7 mm
Número de vueltas	0,6

En la figura 3 se muestran los puertos de alimentación de la antena. Se distribuyen 4 puntos de alimentación en un círculo en la parte inferior del tronco del cono a intervalos iguales, uno por cada brazo de la antena.

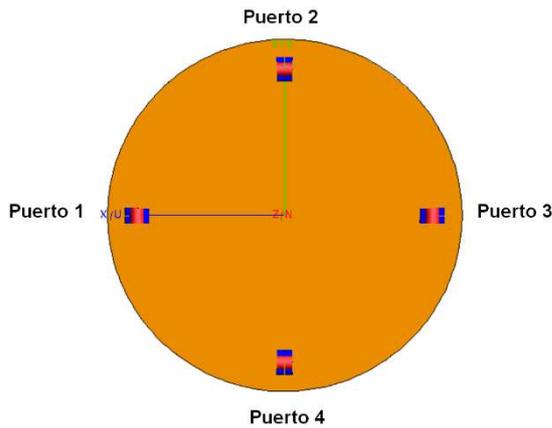


Figura 3. Puertos de alimentación de la antena.

Los cuatro brazos están excitados por corrientes de la misma magnitud y con fases de 0° , 90° , 180° y 270° , respectivamente.

4.- RESULTADOS

Las dimensiones de la antena fueron optimizadas en función de lograr un diagrama de radiación con un máximo para $\theta=60^\circ$.

En la figura 4 se puede ver el diagrama de radiación obtenido, graficado en tres dimensiones. El diagrama es simétrico con respecto a la vertical de la antena.

En la figura 5 se muestra un corte 2D del diagrama de radiación. En color rojo se muestra la característica del diagrama correspondiente a la polarización circular derecha (RHCP), y en color verde se muestra la característica del diagrama correspondiente a la polarización circular izquierda (LHCP). Finalmente, en la Tabla III se presentan los valores de la ganancia de la antena en función del ángulo Theta para RHCP y LHCP.

Se puede apreciar que la máxima ganancia para RHCP se obtiene para $\theta=60^\circ$, con un valor de 2.73 dB, mientras que en la dirección vertical ($\theta=0^\circ$), la ganancia para RHCP es de -0.77 dB.

Tanto en la figura 5 como en la Tabla III se puede apreciar el alto rechazo a la polarización cruzada que presenta el diagrama.

El ángulo de potencia mitad resultó igual a 192.6° .

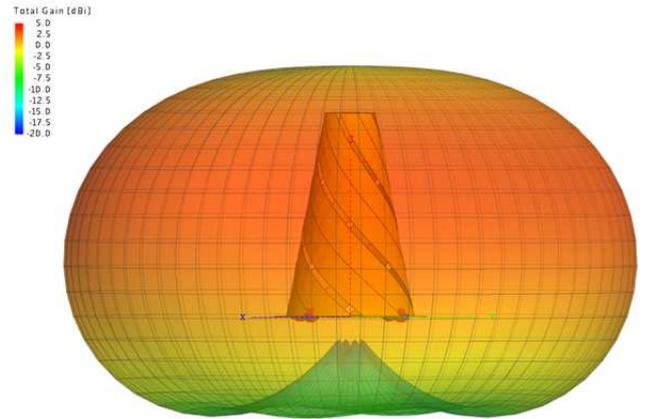


Figura 4. Diagrama de radiación 3D simulado.

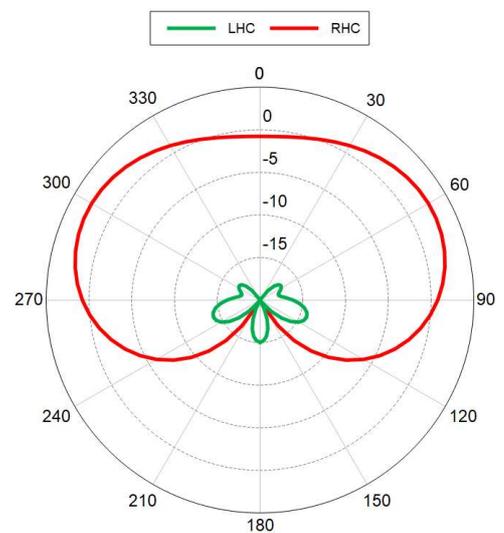


Figura 5. Diagrama de radiación simulado con discriminación de polarización.

TABLA III.

Ganancia de la antena en función del ángulo Theta para RHCP y LHCP.		
Ángulo	RHCP [dBi]	LHCP [dBi]
0°	-0.77	< -20
10°	-0.53	< -20
20°	0.10	< -20
30°	0.95	< -20
40°	1.8	-18.7
50°	2.43	-17.2
60°	2.73	-17.1
70°	2.6	-17.7
80°	1.95	-17.5
90°	0.78	-16.1

La figura 6 muestra la relación axial obtenida de las simulaciones, la cual es inferior a 3dB para un ángulo Theta comprendido entre -100° y 100° . Por fuera de este rango, comienza la degradación de la relación axial, y la polarización se vuelve lineal para $\text{Theta}=150^\circ$. Se resalta que incluso para ángulos de elevación bajos con respecto al horizonte, la antena presenta una alta pureza de la polarización circular.

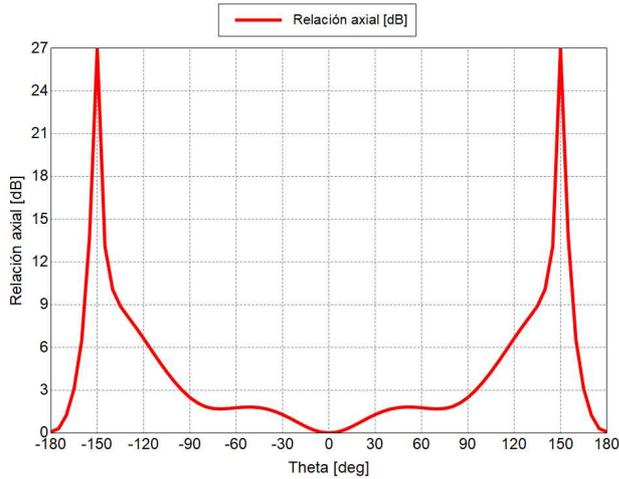


Figura6. Relación axial.

En la figura 7 se muestra la relación axial representada en tres dimensiones, sobre la esfera de radiación. Se puede apreciar la alta pureza de polarización circular que presenta la radiación en todo el hemisferio superior.

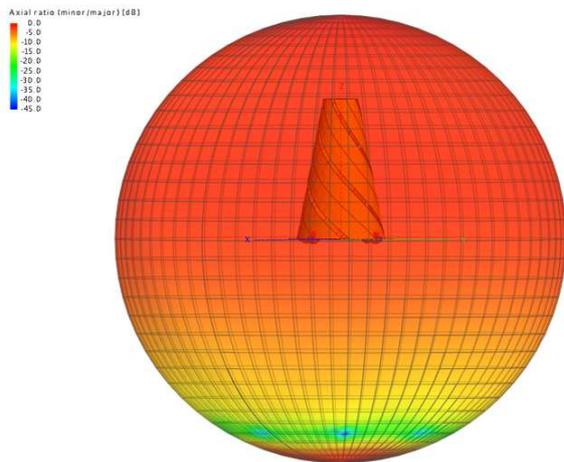


Figura7. Relación axial 3D.

La figura 8 muestra la relación axial obtenida de las simulaciones en función de la frecuencia, para distintos ángulos del diagrama de radiación. Se grafican curvas para valores del ángulo Theta de 0° , 30° , 45° , 60° y 80° . La relación axial se mantiene por debajo de 3 dB en todos los casos. Esto indica que las características de polarización circular derecha se mantienen en un gran ancho de banda (entre 340MHz y $>500\text{MHz}$).

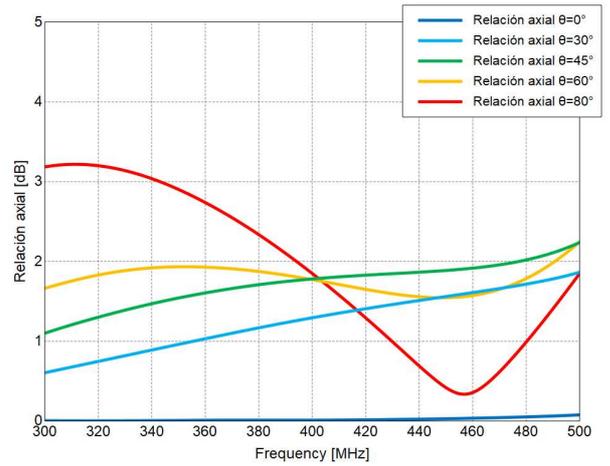


Figura 8. Relación axial en función de la frecuencia para valores del ángulo Theta.

Las dimensiones de la antena también se optimizaron en función de lograr buena adaptación de los puertos de entrada, a la frecuencia central de trabajo (401 MHz).

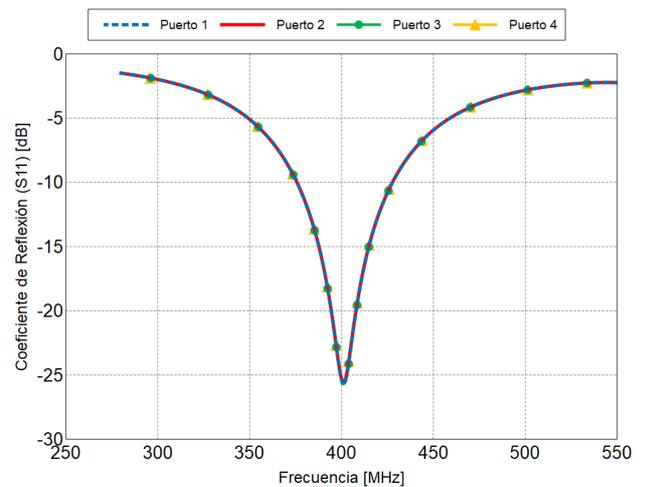


Figura 9. Adaptación de los puertos de la antena.

En la figura 9 se muestra el coeficiente de reflexión en función de la frecuencia, para los cuatro puertos de alimentación de la antena. A la frecuencia central de trabajo, el coeficiente de reflexión resulta $S_{11} = -25$ dB. El ancho de banda de -10 dB obtenido es 13% (52MHz).

CONCLUSIONES

Partiendo de los requerimientos del sistema de recolección de datos satelital DCS, y trabajando con simulaciones por software, se diseñó una antena hélice cuadrifilar cónica que cumple con los requerimientos establecidos. La antena genera un diagrama de radiación isoflux, con alta pureza de polarización circular, para un número fraccional de vueltas $N=0,6$. La frecuencia central de operación es de 401 MHz, y si bien el sistema DCS presenta un requerimiento de ancho de banda de solo 0.5%, se obtuvo una antena que mantiene sus características de radiación, pureza de polarización circular y adaptación de los puertos de entrada en un gran ancho de banda (13%). Esto la hace apta para ser utilizada también en otros sistemas satelitales que requieran anchos de banda grandes.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer al Departamento de Electrotecnia y a la Facultad de Ingeniería de la UNLP por su apoyo para la realización del trabajo. También queremos agradecer a la CoNAE por su esfuerzo continuo en la implementación y desarrollo del sistema satelital argentino.

REFERENCIAS

[1] A. Carlotto, J. M. Juárez, G. E. Sager, **“Introducción al Sistema Satelital Argentino de recolección de datos ambientales”**, II Jornadas de Investigación y Transferencia de la Facultad de Ingeniería, Facultad de Ingeniería UNLP, Mayo 2013. pp 444-449.

[2] P. Rezaei, **“Design of quadrifilar helical antenna for use on small satellites”**, IEEE Antennas and Propagation Society Symposium, 2004., Monterey, CA, USA, 2004, pp. 2895-2898 Vol.3, doi: 10.1109/APS.2004.1331982.

[3] C. C. Kilgus, **“Multielement Fractional Turn Helices”**, IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 0-16, July 1968 pp 499-501.

[4] C. C. Kilgus, **“Resonant Quadrifilar Helix”**, IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. AP-17, 1969 pp. 349-351.

[5] C. C. Kilgus, **“Shaped-Conical Radiation Pattern Performance of the Backfire Quadrifilar Helix”**, IEEE Trans. Antennas Propagation, AP-23, 5, pp. 392-397, May 1975.

[6] H. Nakano, N. Ikeda and J. Yamauchi, **“Quadrifilar conical helical antenna with travelling-wave current distribution”**, in IEEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation, vol. 144, no. 1, pp. 53-55, Feb. 1997, doi: 10.1049/ip-map:19970977.

[7] Y. Wang, Y. Sun and H. Yang, **“Analysis and design of a satellite-borne wide-beam conical quadrifilar helical antenna”**, 2010 International Symposium on Signals, Systems and Electronics, Nanjing, 2010, pp. 1-3, doi: 10.1109/ISSSE.2010.5607113.

[8] D. Aguirre, J. Bava, J.P. Ciafardini, E. Gomez, A. L. Caballero, G. Rodriguez, **“Real-Time Telemetry for Low Earth Orbit Satellites based on Machine to Machine Communications and Inmarsat Constellation”** II International Academy of Astronautics Latin America Symposium of Small Satellites, Colomb Institute, C.A.B.A., Argentina, Noviembre de 2019.

[9] Altair Feko™ - <https://www.altair.com/FEKO> - Agosto 2020.