

Antena Reflectora con Haces Múltiples utilizada en Satélite de Observación de la Tierra

Juan Pablo Ciafardini⁽¹⁾, Guillermo Rodríguez⁽¹⁾⁽³⁾, Jose Alberto Bava⁽¹⁾⁽²⁾.

jpciafardini@fcaglp.unlp.edu.ar, grodriguez@fcaglp.unlp.edu.ar, bava@ciop.unlp.edu.ar.

⁽¹⁾ Dpto. Electrotecnia, Fac. de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata, Calle 48 y 116 - La Plata (1900).

⁽²⁾ Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP, CONICET, Cam. Centenario entre 505 y 508 - La Plata (1897)

⁽³⁾ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque S/N. La Plata (1900).

Abstract-

This paper describes the design of multi-beam reflector antennas that were installed on the satellite mission as part of a microwave radiometer (MWR, Microwave Water Radiometer) in the K and Ka bands. The objective of the mission was to detect geophysical parameters for the analysis of global water cycle, factor of importance to study climate change. An optimal result was obtained with a toroidal offset parabolic reflector that allows its use with multiple beams. Due to satellite mission requirements Earth was observed laterally to its trajectory, causing an asymmetrical arrangement of the antenna's beam design. In this paper the design of the reflector to achieve eight asymmetric beam location is analyzed, using simulation and applying Geometrical Optics analytical methods, to evaluate its characteristics.

I. INTRODUCCIÓN

Es conocida la importancia de los datos obtenidos con instrumentos, instalados en sistemas aerotransportados o satelitales [1], [2], para el estudio de los parámetros geofísicos de la corteza terrestre y toman cada vez más relevancia frente a situaciones como: cambios climáticos, manejo de recursos naturales, incendios forestales, tornados, tsunamis, etc.

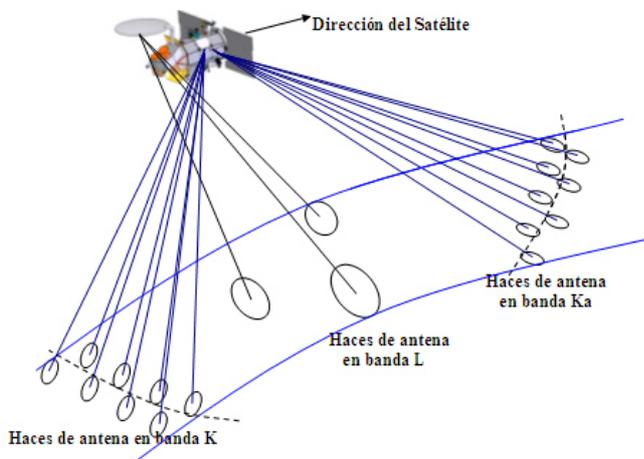


Fig. 1 - Disposición de los haces de antenas del satélite.

El trabajo presentado en este artículo está basado en la necesidad del diseño de antenas con haces múltiples, que fueron instaladas en una misión satelital, en dos radiómetros

de microondas (MWR, Microwave Water Radiometer) operando en las bandas K y Ka. La misión satelital observaba en forma simultánea sobre la misma zona en tres bandas: las anteriormente mencionadas bandas K y Ka, mientras que otro radiómetro operaba en banda L iluminando la zona con tres haces. Con el objetivo de lograr mayor resolución que con el radiómetro de banda L, y cubriendo la necesidad de poseer una resolución competitiva con otros instrumentos instalados en satélites que operan en la misma frecuencia, se estableció un requerimiento de ocho haces para cada banda (Fig. 1).

Un sistema satelital de detección remota de haces múltiples, donde la orientación de los mismos posee un azimut diferente a la de la posición cenital (iluminación hacia un lateral del satélite), provoca una disposición de haces asimétricos. Esta dificultad de asimetría surge de tener que cubrir la misma zona de observación que el radiómetro en banda L y con un ángulo de inclinación de 55° para disminuir los errores en la detección, dando una ubicación de los haces en banda Ka y K por delante y por detrás de la trayectoria del satélite respectivamente (Fig. 2).

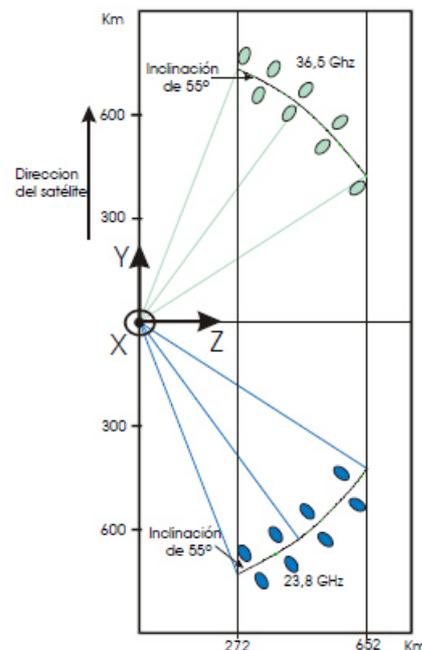


Fig. 2 - Vista superior de la simulación de las huellas de los haces del MWR.

Los objetivos de la misión imponían los requerimientos para las antenas establecidos en la Tabla I.

TABLA I – Requerimientos de las antenas

Numero de Haces	8
Frecuencia Central	23,8 y 36,5 GHz
Angulo de Inclinación	55°
Resolución	<54 km
Barrido Total	380 km
Altura del Satelital	657 km

Para el diseño de la antena reflectora se utilizó una superficie con una geometría de paraboloide toroidal con foco desplazado, con una disposición original de su eje de rotación [3], [4], [5].

En base a la disposición de las huellas de los haces múltiples y a la superficie de antena seleccionada, se desarrolló un modelo matemático que permite determinar las posiciones de los alimentadores principales en una antena reflectora de múltiples haces asimétricos. El modelo es desarrollado en las referencias [4], [5].

En este trabajo se describe un reflector parabólico toroidal que permita facilitar la ubicación de los alimentadores y sus guías de onda en disposiciones asimétricas [7]. Se evalúan las características de antena para cada posición del haz trabajando con un software de simulación electromagnética, y se realizan comparaciones con los valores teóricos obtenidos del modelo matemático.

II. ANTENA REFLECTORA TOROIDAL PARABÓLICA

Frente a los requerimientos planteados en la Tabla I, se estudiaron sistemas reflectores parabólicos toroidales, empleando distintos ejes de rotación y generando superficies esféricas a usar como superficies reflectantes para aplicaciones en antenas de haces múltiples. Describiremos la superficie parabólica toroidal con foco desplazado, finalmente elegida, con ejes de rotación no convencionales que fue utilizada en una misión satelital [7].

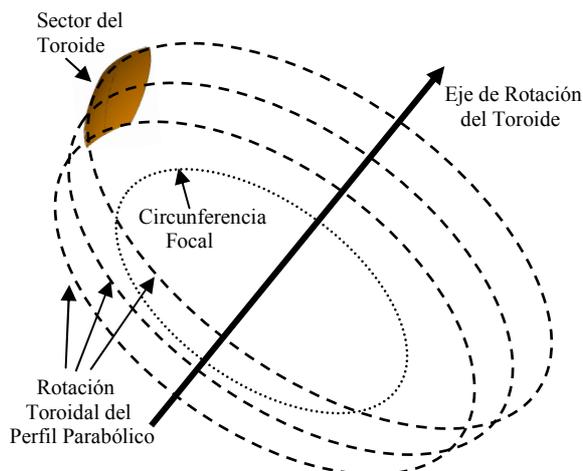


Fig. 3 – Geometría de la superficie toroidal parabólica.

En la Fig. 3 se observa la geometría del toroide, generado al hacer girar el perfil parabólico sobre el eje de rotación (ubicado en forma perpendicular al eje central del sector del toroide). Al interceptar el toroide con un cilindro se obtiene el

sector del toroide que genera la antena reflectora, resultando en este caso particular una nueva superficie esférica no utilizada antes en estas aplicaciones [3], [4], [5]. La rotación del perfil parabólico sobre el eje, también produce una rotación del foco, generando una circunferencia focal y un arco focal que corresponde al sector de superficie empleado como antena reflectora. En dicho arco focal podemos disponer los alimentadores para generar los haces múltiples.

Por problemas de intersección mecánica producida por el tamaño de los alimentadores y la disposición angular de los haces requeridos, los alimentadores se dispusieron en dos líneas a ambos lados del plano que contiene al arco focal de la superficie reflectora, como se observa en la Fig. 4.

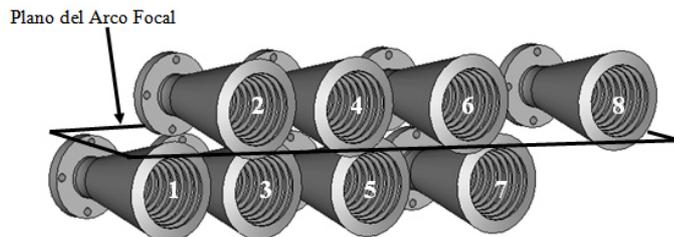


Fig. 4 – Posición de los alimentadores principales.

La disposición mecánica en dos planos de los alimentadores (Fig. 4), ofrece las siguientes ventajas:

- Permite dispositivos mecánicos de soporte más sencillos.
- Permite ubicar la toma de las guías de ondas en diferentes posiciones, lo que produce una menor probabilidad de interferencia mecánica. Este inconveniente es más notable en un radiómetro polarímetro, donde debe ir instalado un separador de polarización, duplicando las guías de onda por cada alimentador.
- El desplazamiento de las bocinas se efectúa sobre el eje central, lo que sólo produce variaciones de ganancia.
- Al disponerse los alimentadores paralelos al plano del arco focal se facilita el trabajo a nivel prototipo, ya que empleando un desplazador xy , es posible ubicar los alimentadores en distintas posiciones para efectuar pruebas y ensayos.

III. ANÁLISIS DE LA GEOMETRÍA DE LA SUPERFICIE

En el diseño de un reflector toroidal con focos desplazado y haces múltiples asimétricos es de importancia conocer cuál deberá ser la posición de cada alimentador para cumplir los requerimientos angulares.

Como los alimentadores en este caso están ubicados en dos líneas, apilados sobre el plano que contiene al arco focal (Fig. 4), es que analizaremos cuál es el efecto del desplazamiento del alimentador sobre los ejes x e y (Fig. 5) en esta superficie reflectora.

El perfil parabólico de la superficie reflectora está caracterizado por su punto focal F y su correspondiente distancia focal f . Como se observa en la Fig. 5, el eje de rotación es perpendicular al eje central del reflector. El movimiento de la parábola alrededor del eje de rotación, también produce una rotación del punto focal F , generando el arco focal Ω en un plano que contiene al eje central de la parábola.

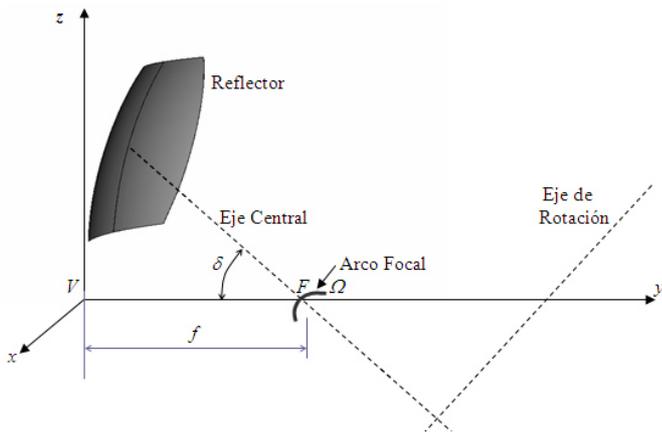


Fig. 5 – Geometría de la antena reflectora toroidal parabólico con foco desplazado.

Considerando un alimentador desplazado de su posición central (x_n) sobre el arco focal Ω en la dirección del eje x , se puede demostrar aplicando Óptica Geométrica (OG), que se genera un haz del lóbulo principal que angularmente se desvía en un ángulo azimutal ϕ en forma contraria a su desplazamiento (Fig. 6). De igual forma sucederá, como se observa en la Fig. 7, si el desplazamiento es sobre el eje z (Δz), produciendo desviaciones angulares en elevación ($\Delta\theta$).

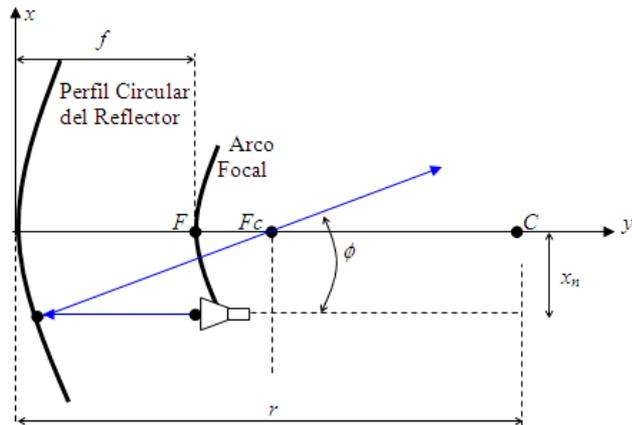


Fig. 6 – Vista superior de la geometría.

En la Fig. 6 se observa una vista superior de la geometría. Como es una superficie toroidal su rotación describe círculos en el plano xy , siendo F_c el foco y r es el radio de dicho círculo, con centro en C .

El rayo de un frente de onda generado por el alimentador pasará por el foco (F_c) determinando una ecuación del desplazamiento angular del haz principal en azimuth (ϕ) en función del desplazamiento lineal (x_n) del alimentador en la dirección x dada por [4], [5]:

$$\phi_{OG} \cong \frac{x_n}{\sqrt{r^2 - x_n^2} - \frac{r}{2}} \quad (n=1, 2, \dots, 8) \quad (1)$$

En la vista lateral de la geometría del reflector (Fig. 7), podemos ver que la superficie en este plano esta generada por el perfil parabólico, con un despeje D_e y un eje central que forma un ángulo δ con el eje y .

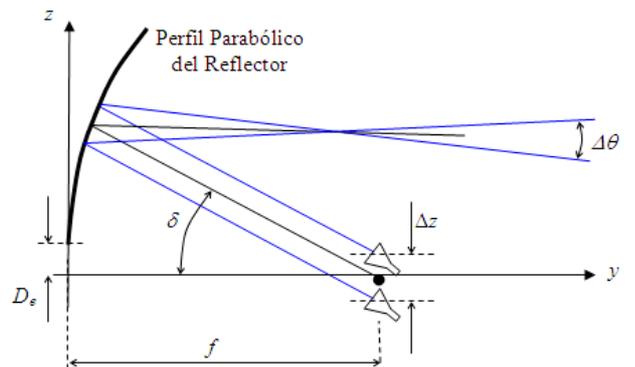


Fig. 7. – Vista lateral de la geometría.

Si se analiza en este caso un desplazamiento Δz de los centros de fase de las dos filas de alimentadores, se puede determinar el desplazamiento angular $\Delta\theta$ dado por [4], [5]:

$$\Delta\theta_{OG} \cong \frac{\Delta z \cdot \text{sen}^2 \delta \cdot \cos \delta}{2f(1 - \cos \delta)} \quad (2)$$

IV. RESULTADOS

La posición de los alimentadores se validó con un programa de simulación electromagnético de antena (FEKO) utilizando el método de Momentos (MoM) y de Óptica Física (PO). La puesta en práctica híbrida de los dos métodos MoM/PO reduce tiempos de cómputo.

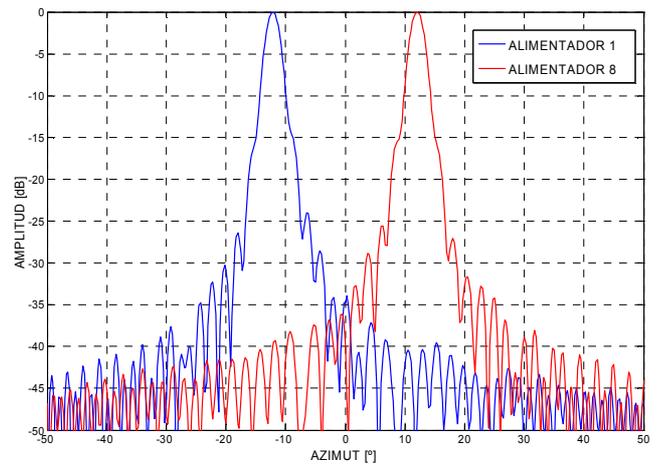


Fig. 8- Diagramas de las posiciones de los alimentadores 1 y 8 en azimuth.

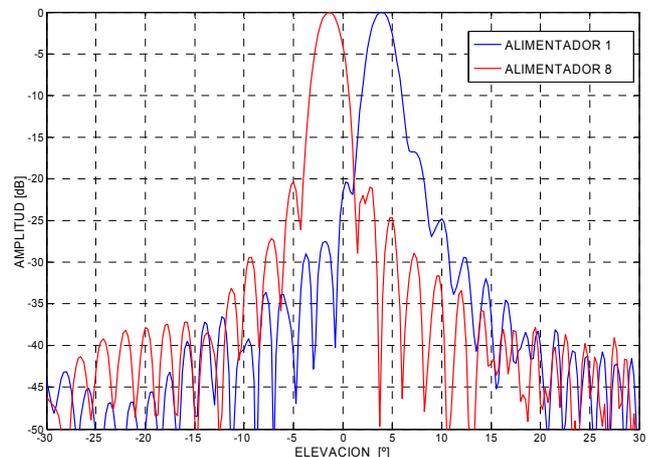


Fig. 9 - Diagramas de las posiciones de los alimentadores 1 y 8 en elevación.

Las simulaciones se efectuaron iluminando al reflector con alimentadores del tipo bocinas cónicas corrugadas en la frecuencia de 36,5 GHz excitada en su modo dominante TE_{11} con la disposición de alimentadores asimétrica que se puede observar en la Fig. 4. En la Fig. 8 y 9 se observa los resultados de la simulación de los alimentadores, más extremos (1 y 8), en azimut y elevación.

El valor angular en azimut de los haces para cada posición de los alimentadores (Fig. 4), determinado con las simulaciones (ϕ_s) y los calculados con las ecuaciones (1) (ϕ_{OG}) se observan en la Tabla II. También se determina la diferencia entre ambos ángulos ($\phi_s - \phi_{OG}$).

TABLA II- Angulo azimutal de la antena de haces múltiples.

Aliment. N°	1	2	3	4	5	6	7	8
ϕ_s [°]	-11,8	-9,2	-6,5	-3,6	0,4	3,1	7,1	11,8
ϕ_{OG} [°]	-12,3	-9,7	-6,8	-3,8	0,45	3,2	7,4	12,3
$ \phi_s - \phi_{OG} $ [°]	0,5	0,5	0,3	0,2	0,05	0,1	0,3	0,5

En la Tabla III se muestran las características de ganancia de la antena toroidal parabólica determinada con la simulación para cada posición de los alimentadores principales (Fig. 4).

TABLA III – Resultados de la simulación de la antena reflectora de haces múltiples.

Aliment. N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Ganancia [dBi]	39,5	39,7	40,1	40,2	40,5	40,2	40	39,5
Ancho de Haz [°]	1,6-2,1	1,4-2,2	1,5-1,9	1,4-2	1,4-1,8	1,4-2	1,5-2	1,4-2,2
Nivel de lob. laterales [dB]	-15	-16	-28	-28	-27	-28	-23	-15

También en la Tabla III se registran los valores de ancho de haz mínimo y máximo para cada posición de los alimentadores, como así también el nivel de lóbulos laterales.

En la Fig. 10 se puede observar las antenas reflectoras en banda K y Ka montadas en el cuerpo del satélite que cumplió exitosamente una campaña de 3 años y concluyó su servicio durante el mes de junio de 2015.

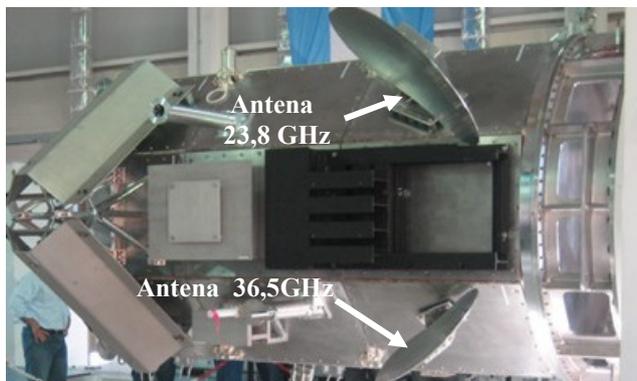


Fig. 10- Antenas reflectoras instaladas sobre el cuerpo del satélite [8].

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se describió y analizó el diseño de una antena reflectora toroidal parabólica con foco desplazado y haces múltiples asimétricos que fue instalada y utilizada, como parte de dos radiómetros que operaron en las

frecuencias de 36,5 y 23,8 GHz, en la misión satelital SACD/Aquarius (Fig. 10). Estos radiómetros han adquirido datos durante la vida útil del satélite, permitiendo realizar numerosos análisis sobre distintos parámetros geofísicos de la corteza terrestre permitiendo realizar estudios sobre: velocidad del viento de superficie, columna de vapor de agua, tasa de precipitación, concentración de hielo marino y la corrección de errores en la detección de salinidad en el mar [6], [7], [8], [9].

En la Tabla II se observa que las ecuaciones calculadas con OG permiten determinar la posición de los alimentadores centrales con errores en azimut menores de $0,3^\circ$ (alimentadores 4, 5 y 6), mientras que para el resto de los alimentadores los errores son menores de $0,5^\circ$.

Analizando las características de la antena (Tabla III) obtenidas para la solución planteada de una disposición de haces asimétricos, podemos decir que la variación de ganancia de las diferentes posiciones de los ocho alimentadores es menor que $\pm 0,5$ dB, con un nivel de lóbulos laterales menor que -15 dB y un ancho de haz en promedio de $1,5^\circ \pm 0,1^\circ$ en elevación y de $2^\circ \pm 0,2^\circ$ en azimut.

REFERENCIAS

- [1] Nielsen, P.H. Pontoppidan, K. Heeboell, J. Le Stradic, B., "Design, manufacture and test of a pushbroom radiometer", *IEEE Xplore, Antennas and Propagation. ICAP 89., Sixth International Conference on (Conf. Publ. No.301)*, pp. 126-130, 1989.
- [2] K. Tachi, K. Arai and Y. Sato, "Advanced microwave scanning radiometer (AMSR) requirements and preliminary design study", *IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing*, Vol. 27, N2, pp. 177-182, March 1989.
- [3] J. A. Bava, A. Maltz and M. Garavaglia – Analysis of Beam Efficiency in Multiple Beam Reflector Antennas - PIERS 2009 Moscow – *Progress In Electromagnetics Research Symposium - PIERS Proceedings*, - pp 718 – 721- Moscow, Russia, August 18-21, 2009.
- [4] J. A. Bava, A. Maltz and M. Garavaglia - Parabolic Torus Reflector Antenna with Asymmetric Multiple Beams - *Proceedings of the XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium to be Held in Istanbul, Turkey - IEEE Xplore* - ISBN: 978-1-4244-5117-3 – [On line] Available: <http://www.ursi.org/proceedings/procGA11/ursi/F08-1.pdf> - August 13-20, 2011.
- [5] J. A. Bava, - Antenas para radiómetros en onda milimétrica con haces múltiples - Tesis Doctoral 2010- *Publicado en SEDICI Repositorio Institucional de la UNLP* - <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/43352> - Publicado el 10 de Diciembre de 2014.
- [6] J. Epeloa, A. Meza and J. A. Bava – SACD and the estimation of water vapor over land surface – *8th Aquarius/SAC-D Science Team Meeting* – [On line] Available: http://aquarius.umaine.edu/cgi/meet_more.htm?id=251 - 12 a 14 de November 2013.
- [7] Epeloa J. y, Meza M. A. y Bava J. A. - Estimación de Vapor de Agua Integrado Sobre Tierra Utilizando los Datos del Radiómetro MWR de la Misión SACD-Aquarius - *ARGENCON 2014 – Congreso bianual organizado por IEEE Argentina* – Bariloche - ISBN: 978-1-4799-4270-1- 11 al 13 de Junio del 2014.
- [8] - <http://aquarius.umaine.edu/cgi/gallery.htm>.
- [9] - https://catalogos2.conae.gov.ar/sac_d_mwr/.