

ARREGLOS DE ANTENAS CON HACES ORIENTABLES ELECTRONICAMENTE APLICABLES EN RADARES DE DISPERSION INCOHERENTE

Ciafardini, Juan Pablo^{1,2}; Rodríguez, Guillermo^{1,2}; García, Ezequiel^{1,2} y
Bava, José Alberto^{1,3}

1- Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.

2- Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.

3- Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp) (CCT CONICET La Plata – CIC).

Palabras clave: antenas, radar, polarización

1- Introducción

La ionosfera es un plasma confinado dentro del campo magnético de la Tierra que se extiende entre las alturas de 50 y 1000 km. Desde un punto de vista científico, constituye un laboratorio natural en el que interactúan dicho plasma, la radiación y el viento solar y los campos magnéticos de la Tierra e interplanetario [1]. Como se halla suficientemente cerca de la superficie terrestre es posible medir las principales variables físicas y químicas que caracterizan su comportamiento, gracias a lo cual se constituye en un indicador importante de la climatología espacial [2]. La predicción del clima espacial resulta cada vez más importante para los sistemas de comunicación, tanto terrestres, como satelitales y de aeronavegación [3]; para los radares de defensa y control del espacio aéreo; para los sistemas satelitales de observación de la Tierra; para los modelos climáticos de gran escala, etc.

Una de las mejores herramientas desarrolladas para estudiar la ionosfera es el Radar de Dispersión Incoherente, el cual permite medir una amplia variedad de parámetros ionosféricos además de proporcionar información acerca de las propiedades y el comportamiento de la atmósfera neutra en general [4], [5].

El estado actual de la tecnología de radares permite el desarrollo de los mismos adoptando el concepto de agrupaciones o conjuntos de antenas (antenna array), evitándose el uso de sistemas mecánicos de apuntamiento y posibilitando cambios instantáneos de dirección del haz, modificar la forma su diagrama de irradiación y generar haces múltiples. Adicionalmente el conjunto de antenas está formado por módulos que se pueden desmantelar rápidamente para trasladar el instrumento a otra ubicación y como se trata de una estructura sin partes móviles es de fácil mantenimiento y se puede operar remotamente. Como ejemplos de estos radares se pueden citar el caso del AMISR (Advanced Modular Incoherent Scatter Radar) [6] [7] y el EISCAT 3D (European incoherent scattering radar), que se está desarrollando actualmente en Escandinavia [8].

Este trabajo describe el diseño de una agrupación lineal de antenas ideada como instancia de desarrollo para un arreglo mayor, destinado a ser aplicado en un radar de dispersión incoherente. El desarrolló la antena elemental del arreglo está basado en la antena tipo ranura, diseñada para trabajar en la frecuencia de 432 MHz con polarización circular y debe posibilitar revertir el sentido de polarización. Las antenas fueron diseñadas utilizando software de simulación electromagnética FEKO 7.0 y CST Microwave Studio Suite. Se mostraran comparaciones de los resultados obtenidos con simulación y las medidas efectuadas sobre los modelos construidos.

2- Antena Básica del Arreglo

Los requerimientos de la antena básica del arreglo [9], [10] son:

- Frecuencia central de trabajo: 432 MHz.
- Gran rechazo de polarización cruzada.
- Polarización circular con inversión del sentido para TX y RX.
- Diagrama de radiación simétrico.

- Impedancia constante en un ancho de banda de 4 MHz (± 2 MHz alrededor de la frecuencia central).

Con la finalidad de seleccionar un modelo de antena que cumpla con los requerimientos planteados se analizaron varias antenas, determinando sus características principales mediante simulaciones por software. El desarrollo final se basó en las antenas del tipo Ranura (Slot Antenna) [11], que presentan la característica de poder ser alimentadas directamente mediante un cable coaxial sin la necesidad de un balun. Otra característica interesante de estas antenas es que seleccionando correctamente las dimensiones de la ranura su impedancia se puede ajustar a $50+j0\Omega$. Para lograr polarización circular se pueden emplear dos ranuras dispuestas ortogonalmente [12], y para lograr un diagrama de radiación hemisférico se utilizó un plano de tierra por debajo de la antena a una distancia de 0.25λ .

La antena desarrollada [13], basada en estas premisas, fue diseñada en una placa para circuitos impresos FR4 de simple faz, con dos ranuras ortogonales impresas con un plano reflector en su parte trasera (figura 1). La antena se alimenta soldando dos cables coaxiales de 50Ω de impedancia, uno por cada ranura, en el centro de la antena. Para lograr polarización circular las corrientes que alimentan cada ranura a través de los coaxiales deben estar desfasadas 90° . Invertiendo el desfase relativo entre las corrientes se invierte el sentido de polarización de la antena (Polarización Circular Derecha o Polarización Circular Izquierda). Para optimizar las dimensiones de la antena conforme a los requerimientos planteados, se trabajó realizando simulaciones, utilizando el software FEKO [14].



Figura 1: Prototipo construido de la Antena Ranuras Cruzadas Impresas sobre Sustrato de Circuito Impreso FR4.

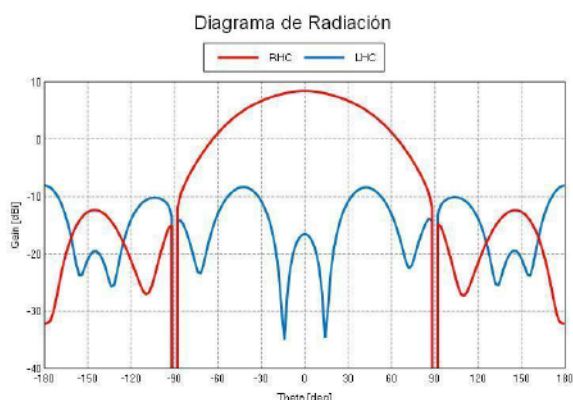


Figura 2: Simulación de diagrama de radiación, grafico rojo componente copolar y azul contrapolar.

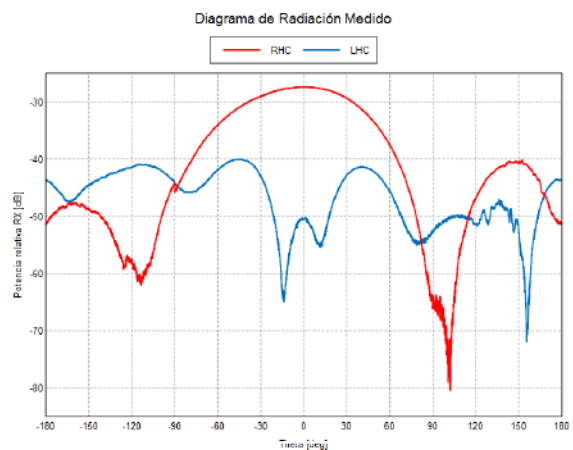


Figura 3: Resultados obtenidos de la medida del diagrama de radiación, grafico rojo componente copolar y azul contrapolar

Resultados de simulaciones correspondientes a esta antena se muestran en la figura 2, donde se aprecia la componente copolar y la contrapolar. La ganancia de la antena en la dirección de máxima intensidad de radiación resultó de 8dB, el ángulo de potencia mitad es de 85° . El rechazo de polarización cruzada es mayor a 25 dB en un ángulo de $\pm 22^\circ$ con respecto a la dirección de máxima intensidad de radiación. Los resultados de la medida del diagrama de radiación realizada a la frecuencia central de trabajo (432 MHz) se pueden ver en la figura 3. Si bien existen algunas diferencias entre los diagramas de radiación simulado y medido, los principales parámetros son similares a los valores simulados.

La antena desarrollada puede revertir el sentido de polarización, presentando además características que satisfacen los requerimientos planteados en un ancho de banda relativamente amplio sin necesidad de circuitos sintonizados externos para adaptación de impedancia.

Basado en el buen resultado obtenido con la antena Ranuras Cruzadas en sustrato FR4 se diseñó una antena similar en una lámina metálica, resultando un diseño más robusto (Figura 6). A diferencia de la antena anterior las ranuras de la antena en lámina metálica se dispusieron en diagonal con respecto a los bordes. La antena obtenida presentó un desempeño semejante a la obtenida con la antena en sustrato FR4.

3- Agrupación lineal de Antenas

Un arreglo de antenas (phased array antenna) se compone de un conjunto o agrupación de elementos radiantes (antenas independientes), en el cual las fases relativas de las señales con que se alimenta cada antena se varían intencionalmente con objeto de alterar el diagrama de radiación. Los haces se forman desplazando la fase de la señal emitida desde cada elemento radiante, para generar interferencia constructiva / destructiva y de esta manera dirigir los haces en la dirección deseada [15]. Con este propósito se dispusieron cuatro antenas de ranuras cruzadas formando una agrupación lineal rectilínea con espaciado constante entre centros de antenas de 0.65λ .

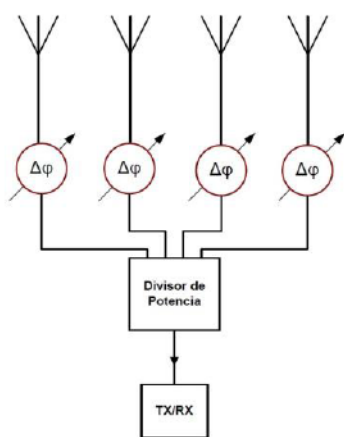


Figura 4: Diagrama en bloques de la agrupación lineal de antenas.

Ángulo de desplazamiento del haz σ	0°	10°	20°	30°
Ángulo progresivo $\Delta\phi$	0°	40.6°	80°	120.6°

TABLA I – Desplazamiento del haz de antena vs ángulo progresivo de desfase de cada antena

Para alimentar los radiadores se empleó una distribución de corrientes Uniforme, que es aquella en la que se alimentan las antenas con igual amplitud y solo se varía la fase [15]. Un esquema de la implementación de la agrupación se muestra en la Figura 4 El ángulo progresivo $\Delta\phi$ que se requiere para lograr el desplazamiento del haz principal generado por la agrupación se puede calcular utilizando la ecuación (1), donde σ es el ángulo del haz principal, d es la distancia entre centros de elementos radiantes y λ la longitud de onda en el espacio libre. En la Tabla I se muestran los valores del ángulo

progresivo de desfase necesario para lograr desplazamientos del haz principal de 0°, 10°, 20° y 30°.

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ \times d \times \text{sen } \sigma}{\lambda} \quad (1)$$

La agrupación lineal de antenas se diseñó teniendo como principal objetivo el de lograr un desplazamiento del haz principal de $\pm 30^\circ$ con respecto a la posición central, sin degradación significativa de la relación lóbulo principal a lóbulos secundarios. En la Figura 7 se pueden observar los resultados obtenidos de las simulaciones por software considerando como reflector un plano metálico infinito. A la derecha se muestran los diagramas de radiación en tres dimensiones obtenidos para desplazamientos del haz principal en ángulos de 0°, 10°, 20° y 30°. A la izquierda se puede ver un diagrama cartesiano correspondiente a los mismos ángulos. Se destaca que la relación lóbulo principal a lóbulos secundarios es $\geq 8\text{dB}$ para todos los desplazamientos del haz principal.

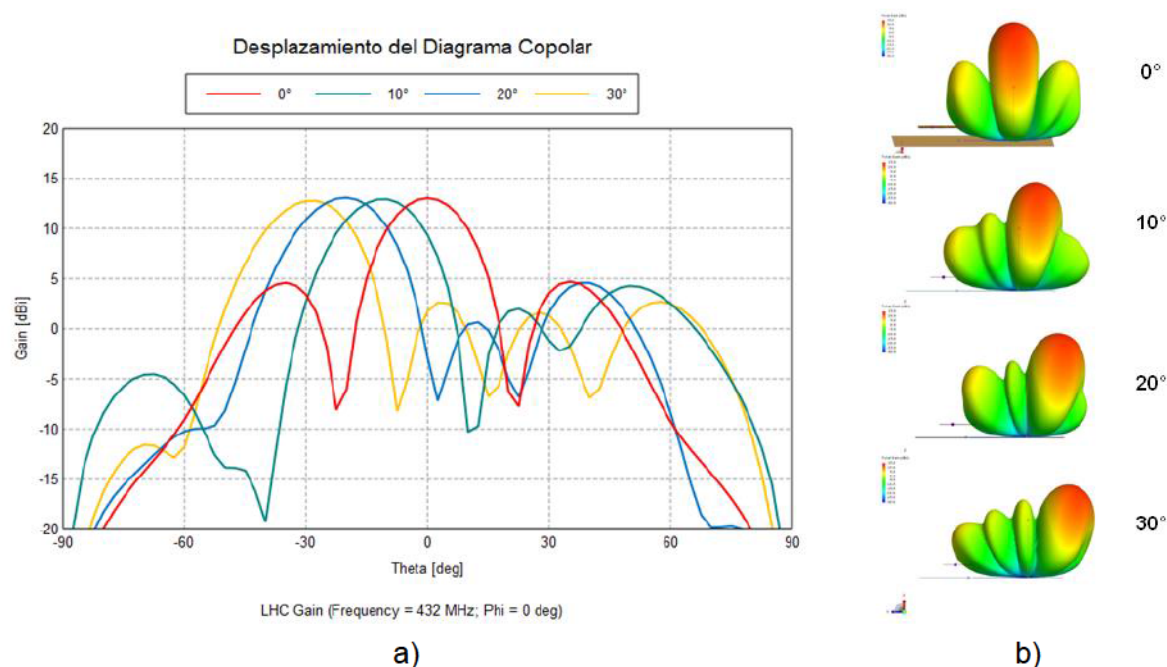


Figura 5: Resultados de las simulaciones por software obtenidos para desplazamientos del haz principal en ángulos de 0°, 10°, 20° y 30°. a) Diagrama cartesiano correspondiente a cada ángulo y b) diagramas de radiación en tres dimensiones.

4- Resultados

Para validar los resultados obtenidos en las simulaciones por software se construyó un modelo del arreglo lineal de antenas (Figura 6). El prototipo se construyó en una lámina metálica donde se tallaron las ranuras. Por debajo del arreglo de antenas se dispuso un reflector constituido por una malla metálica fina y todo el conjunto se montó en una estructura de soporte. Las antenas se alimentaron como se muestra en la Figura 4. Un Divisor de potencia divide la señal de entrada en cuatro señales de igual fase y amplitud. Luego cada una de estas señales se inyecta en un desplazador de fase que controla las fases relativas de las señales con que se alimenta cada antena. El desfazador utilizado es de diseño propio y emplea un Acoplador Híbrido de 90° y diodos varicap. Esta configuración permite obtener, con una implementación adecuada, cualquier valor de desfase deseado entre 0° y 360° [16].

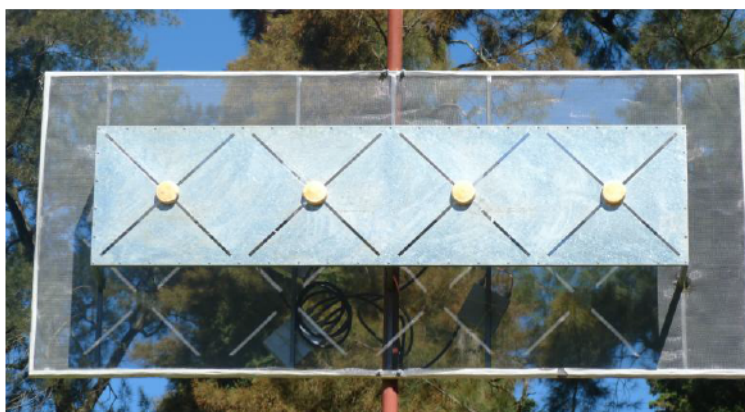


Figura 6: Arreglo lineal construido con cuatro antenas de ranuras cruzadas.

Se realizaron mediciones del diagrama de radiación de la agrupación de antenas para ángulos de desplazamiento del haz principal de 0° , 10° , 20° y 30° . Los resultados pueden verse en las figuras 7 a), b), c) y d) respectivamente, superpuestos con resultados obtenidos de las simulaciones por software con el fin de validar los resultados.

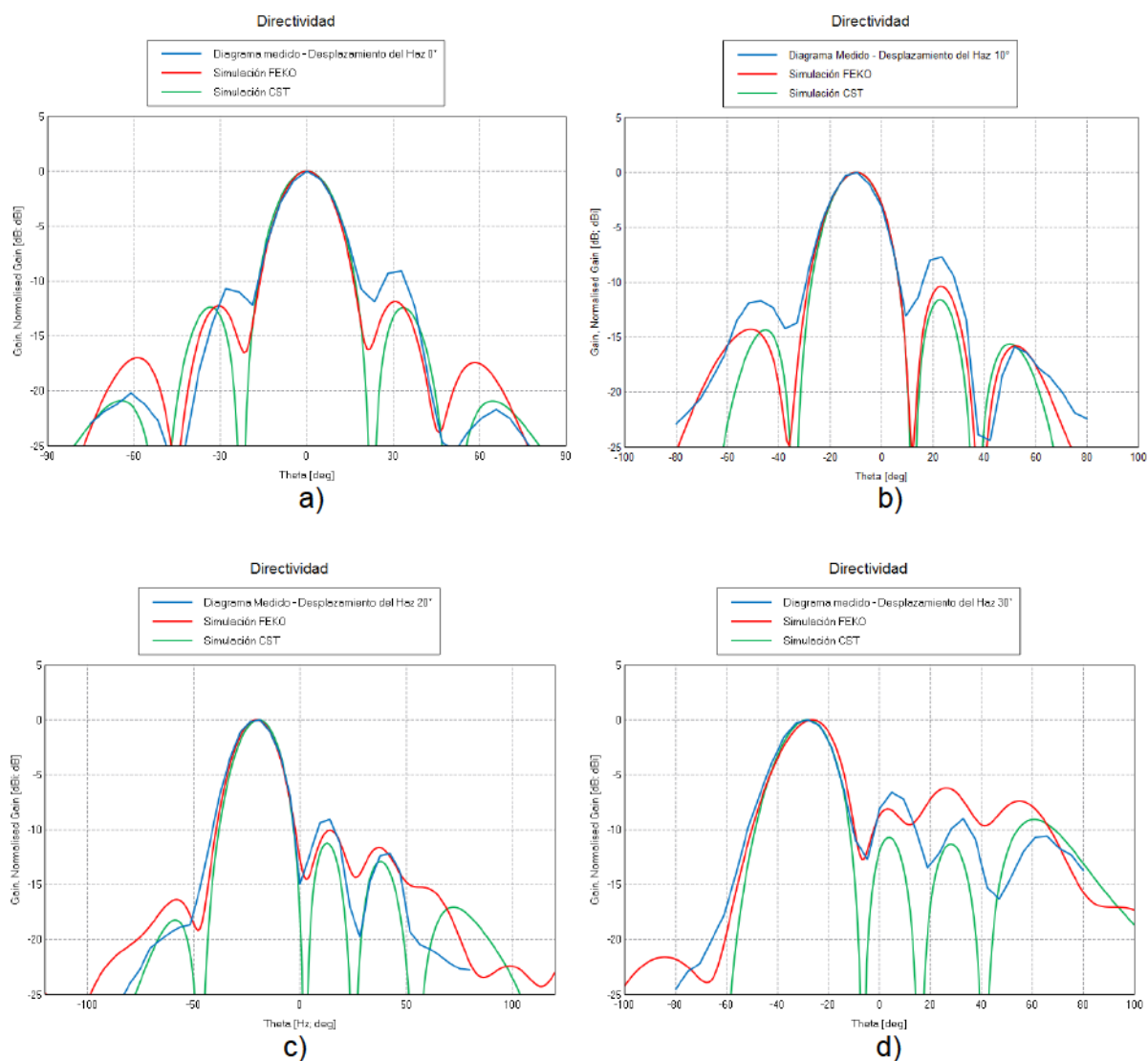


Figura 7: Resultados obtenidos de la medida y simulación del diagrama de radiación del prototipo del arreglo lineal para un desplazamiento del haz principal de: a) 0° , b) 10° , c) 20° y d) 30° .

En estos diagramas se observa, en color rojo el diagrama obtenido de las simulaciones utilizando el software FEKO [14], que emplea el método de los momentos como método numérico de cálculo, en color verde se muestra el diagrama obtenido utilizando el software CST [17], que emplea el método de las diferencias finitas en el dominio del tiempo y superpuestos en color azul se muestran los datos obtenidos de la mediciones realizadas sobre el prototipo del arreglo lineal.

5- Conclusiones

Los resultados de las medidas realizadas hasta la fecha son satisfactorios ya que se ajustan a los obtenidos mediante simulaciones por software realizadas durante las etapas de diseño y cumplen con los requerimientos impuestos al diseño. Se debe tener en cuenta que las mediciones de los diagramas de radiación se realizaron en espacio abierto. Se deberían llevar a cabo medidas más rigurosas en ambientes adecuados con bajo nivel de ruido incluyendo mediciones de rechazo de polarización. Para lograr una evaluación correcta del diseño, una de las posibilidades es armar el arreglo de antenas a frecuencias más altas, con el fin de que sea una agrupación de antenas más pequeña y de fácil manejo para sus medidas.

Referencias

- [1] Schunk, R. W. and Nagy, A. F., (2000). Ionospheres. Cambridge University Press.
- [2] Bothmeer, V., Daglis, A., (2007). Space Weather: Physics and Effects. Springer-Praxis Books in Environmental Sciences.
- [3] Davies, K., (1990). Ionospheric Radio – Peregrinus Ltd. London UK.
- [4] Hargreaves, J. K., (1995). The solar – terrestrial environment. Cambridge Atmospheric and Space Sciences Series.
- [5] Hunsucker, R. D., (1991). Radio Techniques for Probing the Terrestrial Ionosphere. Physics and chemistry in space; v. 22. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg 1991.
- [6] Valentic, T., Buonocore, J., Cousins, M., Heinselman, C., Jorgensen, J., Kelly, J., Malone, M., Nicolls, M., Van Eyken, A., (2013). AMISR the Advanced Modular Incoherent Scatter Radar. Phased Array Systems & Technology, 2013 IEEE International Symposium on.
- [7] Bob Robinson. "The Advanced Modular Incoherent Scatter Radar (AMISR), Historical Perspectives". National Science Foundation.
- [8] EISCAT_3D description and status. (2012). www.eiscat3d.se
- [9] Ciafardini, J. P., García E., Rodríguez G., Bava J. A., Brunini C., (2012) Requerimientos de un Radar de Dispersión Incoherente para el Estudio del Plasma Ionosférico. 97 Reunión Nacional de la Asociación de Física Argentina.
- [10] Ciafardini J., Rodríguez G., García E. y Bava J. A. (2013) Desarrollo de un Arreglo de Antenas para Estudios de la Atmósfera Superior - VII Congreso Argentino de Tecnología Espacial. Mayo 15-17, 2013. Mendoza, Argentina.
- [11] Kraus, J. D., (1998). Antennas. Mcgraw Hill.
- [12] Ka-Lam Lau, Hang Wong, and Kwai-Man Luk (2006) A Full-Wavelength Circularly Polarized Slot Antenna. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 54, No. 2, February.
- [13] Ciafardini, J. P., Garcia, E., Rodriguez, G., Bava, J. A., (2014). Antena de ranuras cruzadas para un radar ionosférico. Biennial Congress of Argentina (ARGENCON). IEEE.
- [14] EM Software & Systems - S.A. (Pty) Ltd - FEKO (www.feko.info) - EM Software & Systems - S.A. (Pty) Ltd Address: PO Box 1354, Stellenbosch, 7599, South Africa.
- [15] Ángel Cardama Aznar, Lluís Jofre Roca, Juan Manuel Rius Casals, Jordi Romeu Robert, Sebastián Blanch Boris, Miguel Ferrando Bataller, (2002). Antenas. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- [16] Rodriguez, Guillermo D.; Garcia, Ricardo E.; Ciafardini, Juan P. (2014) Desplazador de fase para un radar ionosférica. Biennial Congress of Argentina (ARGENCON). IEEE.
- [17] CST Microwave Studio Suite 2014, CST Inc., 2014.