DESARROLLO DE UN ARREGLO DE ANTENAS PARA ESTUDIOS DE LA ALTA ATMOSFERA Y OTRAS APLICACIONES

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

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

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

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

Autor de contacto: Juan Pablo Ciafardini, Observatorio Astronómico de La Plata, Paseo del Bosque S/N, Provincia de Buenos Aires – República Argentina. Mail: jpciafardini@fcaglp.unlp.edu.ar

RESUMEN

La ionosfera es un plasma confinado entre los 50 y 1000 km de altura aproximadamente. 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. Dado que se halla suficientemente cerca de nosotros, 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. La predicción del clima espacial resulta cada vez más importante para los sistemas de comunicación, tanto terrestres, como satelitales y de aeronavegación; 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.

Los radares de dispersión incoherente son los instrumentos colocados en tierra que mayor información brindan sobre la ionosfera. Como contrapartida son sistemas que requieren ganancia de antena muy elevada ya que las señales a detectar son extremadamente débiles. Esto trae aparejado la necesidad de utilizar antenas reflectoras de grandes dimensiones, en la actualidad, la tendencia es evitar la construcción de este tipo de antenas y reemplazarlas por arreglos estáticos. Variando las amplitudes y la fase relativa de las corrientes que alimentan las antenas elementales del arreglo se puede modificar la forma del diagrama de irradiación, apuntar rápidamente el haz en distintas direcciones o generar haces múltiples. Adicionalmente el arreglo de antenas puede también estar 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.

En la primer parte del presente trabajo, partiendo de los requerimientos de un radar de dispersión incoherente, se analiza por software de simulación electromagnética la conformación del arreglo necesario, considerando la ganancia y el patrón de radiación requerido. Posteriormente se estudiaron, diseñaron y simularon por software diferentes tipos de antenas elementales a ser utilizadas como elementos unitarios del arreglo. Una vez seleccionada aquella con mejores prestaciones se procedió a su construcción y medición para validar las simulaciones realizadas.

1.- INTRODUCION

Se denomina Dispersión Incoherente al proceso en el cual las partículas cargadas de la ionosfera , al ser alcanzadas por una onda electromagnética son aceleradas, comportándose así como antenas que emiten también ondas electromagnéticas. Dado que cada carga puede ser considerada como un dipolo independiente, esta emisión en conjunto resultará incoherente.

Mediante el estudio de la señal emitida por estas partículas es posible determinar, por ejemplo: densidad y temperatura de iones y electrones, composición, velocidad en línea de vista, etc.

Una de las herramientas más poderosas y flexibles 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 comportamiento de la atmósfera neutra en general [1].

Las técnicas de observación de la ionosfera mediante Radares de Dispersión Incoherente son relativamente nuevas, la primera instalación fue construida en 1960 en Arecibo, Puerto Rico [2]. Le siguieron el Observatorio de Jicamarca, en Peru, 1961[3], el Observatorio de Milstone Hill, cerca de Boston en E.E.U.U en 1963[4], el radar de Chatanika cerca de Fairbanks, Alaska, que luego en 1982 fue movido a Sondrestrom en Groenlandia [5]. En 1981 se instala el radar EISCAT UHF, en Tromso, Noruega [6], seguido en 1985 por el EISCAT VHF [7] instalado en el mismo lugar y en 1996 se instala radar EISCAT Svalbard, cerca de el Longyearbyen, en Noruega [8].

Las antenas de todos los radares mencionados hasta aquí (con excepción del radar de Jicamarca) consisten en reflectores parabólicos o esféricos de muy gran apertura. Estas antenas son grandes estructuras metálicas que deben ser movidas cada vez que se requiere redireccionar el haz del radar, por lo que se requiere de un complejo sistema apuntamiento. Esto hace que el costo de mantenimiento de dichas instalaciones sea muy elevado.

En el año 2005 comienza a operar un radar de dispersión incoherente diseñado en conjunto por la National Science Foundation (NSF) de los Estados Unidos y la empresa Stanford Research Institute (SRI) con una filosofía que difiere radicalmente de la empleada hasta el momento. Este radar denominado "Advanced Modular Incoherent Scatter Radar (AMISR)[9] se distingue de sus antecesores ya que su antena esta formada por un arreglo plano de antenas elementales (dipolos cruzados), alimentados por electrónica de estado sólido de tecnología avanzada, lo que confiere a este instrumento características únicas.

Variando las amplitudes y la fase relativa de corrientes que alimentan las antenas las elementales del arreglo se puede modificar la forma su diagrama de irradiación, apuntar rápidamente el haz en distintas direcciones o generar haces múltiples. Adicionalmente el arreglo 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. Este tipo de antena, puede ser empleado sin dudas, en otras aplicaciones, como: radares aerotransportados, observación de satélites, seguimiento de lanzamiento de vectores, etc.

Este proyecto es financiado por la Red Argentina Para el Estudio de la Atmósfera Superior (RAPEAS).

2.- REQUERIMIENTOS DE LA ANTENA

Los requerimientos generales del sistema han sido especificados por los autores en un trabajo anterior, "Requerimientos de un Radar de Dispersión Incoherente para el Estudio del Plasma Ionosférico", Ciafardini et al [10], y estos son:

- Frecuencia central de Trabajo: 435 MHz.⁽¹⁾
- Gran Rechazo de polarización cruzada en la dirección de máxima intensidad de radiación
- Polarización Circular con inversión del

sentido para TX y RX.

Junto con los requerimientos de la antena elemental que son:

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

(1) La frecuencia de trabajo se seleccionó en principio, tomado la frecuencia central del ancho de banda de trabajo del radar AMISR. Esta fue cambiada posteriormente a 432 MHz, dado el otorgamiento de un permiso en esta frecuencia por parte de la Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC).

3.- ANALISIS POR SOFTWARE DE UN ARREGLO DE ANTENAS

Dado que existen muy pocas referencias bibliográficas acerca de este tipo de radares, se analizó mediante simulaciones, utilizando el software comercial FEKO 6.2.[11], las características electromagnéticas del arreglo de antenas del radar AMISR para su uso como referencia del desarrollo.

Se estudió en primer lugar la antena elemental del arreglo, que es del tipo dipolos cruzados o turnstile. La misma consta de cuatro irradiantes que forman dos dipolos dispuestos en forma ortogonal entre sí, los cuales están soportados sobre un plano de tierra mediante una montura central, separados del mismo por una distancia de un cuarto de longitud de onda.

En segundo lugar se analizó un arreglo elemental denominado "Panel". Un Panel consiste en una agrupación de 4 x 8 antenas elementales dispuestas en una configuración semejante a la de un arreglo uniforme, pero con alguna diferencia en el espaciado de los elementos unitarios. Los dipolos cruzados están dispuestos formando un triángulo equilátero con una separación de 0.67 λ entre centros de antenas (vértices del triangulo equilátero, ver Figura 1).

Cada dipolo cruzado se alimenta con una fuente de amplitud constante y se puede

variar la fase de las corrientes para redireccionar la dirección del lóbulo principal.

Se realizó un análisis del diagrama de radiación correspondiente a corrientes de alimentación de los dipolos cruzados con igual amplitud y desfasaje de 0° entre ellas.



Figura 1: Modelo estructural de un Panel del Radar AMISR.

Finalmente se analizó una de las configuraciones operativas de antenas del Radar AMISR, formada por 16 paneles dispuestos en un array de 4 x 4. Esta configuración fue utilizada en Gakona, Alaska, para colectar datos de la ionosfera en latitudes Árticas.



Figura 2: Arreglo de 16 Paneles instalados en Alaska.

El resultado de la simulación por software de la antena elemental se muestra en la figura 3 y sus características se resumen en la tabla 1.



Figura 3: Diagrama de radiación en tres dimensiones del elemento unitario de antena del arreglo.

×4

	φ=0° (Plano XZ)	φ=90° (Plano YZ)
Ganancia en la dirección de máx. int. de radiación.	7.5 dBi	7.5dBi
Ángulo de potencia mitad.	100°	100°
Aislación de polarización cruzada (θ =0°).	46dB	46dB
Aislación de polarización cruzada $(\theta=\pm 50^\circ).$	12 dB	12dB
Ángulo entre nulos.	170°	170°



El resultado de la simulación por software del Panel se muestra en la figura 4 y sus características se resumen en la tabla 2.



Figura 4: Diagrama de radiación en tres dimensiones de un Panel del Radar AMISR

	$\phi=0^{\circ}$ (Plano XZ)	φ=90° (Plano YZ)
Ganancia en la dirección de máx. int. de radiación.	21.35 dBi	21.35 dBi
Ángulo de potencia mitad.	12.8°	18.75°
Aislación de polarización cruzada (θ=0°).	44 dB	44dB
Aislacióndepolarizacióncruzada $(\theta=\pm\alpha!/2).$	35 dB	35 dB
Ángulo entre nulos.	12.85 dB	12.88 dB

Tabla 2 - Características extraídas de la simulación de un arreglo de 4 x 8 (Panel)

El resultado de la simulación por software del arreglo de 4 x 4 Paneles se muestra en la figura 5 y sus características se resumen en la tabla 3.



Figura 5: Diagrama de radiación en tres dimensiones del Array de 16 Paneles.

	φ=0° (Plano XZ)	φ=90° (Plano YZ)
Ganancia en la dirección de máx. int. de radiación.	33.5 dBi	33.5 dBi
Ángulo de potencia mitad.	3°	4.6°
Aislación de polarización cruzada (θ =0°).	44 dB	44dB
Aislacióndepolarizacióncruzada $(\theta = \pm \alpha \frac{1}{2}).$	44.5 dB	43.8dB
Ángulo entre nulos.	13.5 dB	13.5 dB

Tabla 3 - Características extraídas de la simulación de un arreglo de 16 paneles

4.- DESARROLLO DE LA ANTENA ELEMENTAL

Con la finalidad de seleccionar un modelo elemental de antena para nuestro

desarrollo, que sirva como base de un arreglo, se analizaron varias antenas, determinando sus características principales mediante simulaciones por software. Las antenas analizadas fueron: Antena Patch Cuadrada Truncada, Antena Patch Cuadrada Ranurada, Antena Patch Elíptica, Antena Patch Circular Calada, Antena Espiral de Arquímedes con Plano de Tierra y la que finalmente resultó seleccionada, Antena de Dipolos Cruzados Impresos con plano de tierra.



Figura 6: Antena Dipolos Cruzados Impresos sobre sustrato de Circuito Impreso FR4.

Se ajustaron las dimensiones de la Antena Dipolos Cruzados Impresos, trabajando con el la herramienta de optimización del software de simulación, hasta lograr características satisfactorias de acuerdo a los requerimientos.

Las dimensiones resultantes son las siguientes:

- Ancho de los irradiantes: 20mm
- Largo de los irradiantes: 135mm
- Altura de los irradiantes con respecto al plano de tierra: 210mm
- Espaciado central: 40mm x 40mm

Las características obtenidas de las simulaciones correspondientes a esta antena se muestran en las figuras 7 y 8, donde se aprecian el diagrama de radiación obtenido, con detalle del rechazo de polarización cruzada y la Relación de Onda Estacionaria de cada dipolo individual en función de la frecuencia.



Figura 7: Diagrama de radiación del elemento unitario de antena propuesto con detalle de Aislación de Polarización Cruzada.

Circuito Impreso FR4 (Figura 9) y se realizaron mediciones de su Diagrama de Radiación y del Rechazo de Polarización cruzada, tanto en cámara anecóica como en campo abierto, con el fin de validar los parámetros de diseño.



Figura 9: Prototipo construido de la Antena Dipolos Cruzados Impresos sobre Sustrato de Circuito Impreso FR4.





5.-RESULTADOS

Se construyó un modelo de la antena Dipolos Cruzados Impresos sobre Sustrato de





En la figura 10 se muestra el resultado de la medida del Diagrama de Radiación

Medida Diagrama de Radiación Dipolos X FR4 Observatorio 26/03/2013

superpuesto con el diagrama obtenido de las simulaciones. El Diagrama obtenido de la medición del modelo de la antena elemental desarrollada coincide con el diagrama obtenido de las simulaciones para ángulos de $\pm 45^{\circ}$. Para el resto de los ángulos los diagramas difieren.

El Rechazo de Polarización cruzada medido resulto de 10 dB.

Se agradece al Instituto Argentino de RadioAstronomía por su apoyo para las mediciones en cámara anecoica.

6.-CONCLUSIONES

En gran parte del lóbulo principal, el modelo responde a lo deseado. La diferencia entre los diagramas mas allá de los 45°, se debe, probablemente, a que en las simulaciones se consideró un plano de tierra más grande, el cual no se pudo implementar en la medición realizada. Por otra parte el rechazo de polarización cruzada resultó escaso comparación con lo simulado, presumiendo los problemas se encuentran en las alimentaciones de las antenas, por ejemplo en el tipo de balún empleado. Actualmente nos encontramos abocados a mejorar estos aspectos y al estudio de arreglos con esta antena elemental.

7.-REFERENCIAS

[1] The solar – terrestrial environment. J. K. Hargreaves. Cambridge Atmosferic and Space Sciences Series. 1995.

[2] The Advanced Modular Incoherent Scatter Radar (AMISR), Historical Perspectivas. Bob Robinson. National Science Foundation.

[3] http://jro.igp.gob.pe

[4] http://www.haystack.mit.edu/obs/mhr/index. html

[5] http://isr.sri.com/

http://e7.eiscat.se/about/info/uhf/image_view

[7]

[6]

http://e7.eiscat.se/about/info/vhf/image_view

[8] http://www.eiscat.se/about/info/ESR/

[9] http://amisr.com/

[10] Requerimientos de un Radar de Dispersión
Incoherente para el Estudio del Plasma
Ionosférico. - Ciafardini J., García E.,
Rodríguez G., Bava J., Brunini C.- 97 Reunión
Nacional de la Asociación de Física Argentina –
2012.

[11] 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