

GEODA: DISTRIBUCIÓN DE LA CELDA UNITARIA, COMPOSICIÓN DE LOS ARRAYS Y FUNCIONAMIENTO

Ignacio Montesinos⁽¹⁾, Manuel Sierra⁽¹⁾, José-Luis Fernández⁽¹⁾, Jesús López⁽¹⁾, José-Luis Masa⁽²⁾.
nacho@gr.ssr.upm.es, m.sierra.perez@gr.ssr.upm.es, j.fdez.jambrina@gr.ssr.upm.es, jlrisco@gr.ssr.upm.es, joseluis.masa@uam.es.

⁽¹⁾Grupo de Radiación - SSR. E.T.S.I. Telecomunicación UPM. Avda. Paraninfo SN, 28040, Madrid.

⁽²⁾Universidad Autónoma de Madrid, Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049, Madrid

Abstract—Nowadays, satellite communications are basic for the human lifestyle. In this way, a smart, conformal and multiarray antenna (GEODA) is being developed in order to receive signals from several satellites simultaneously in the 1.7GHz working band. An adaptive beam system is able to follow the signals from the satellite constellation. The complex structure of the antenna is based in similar arrays of triangular shape. These arrays are divided in sub-arrays of three elements called Cells composing the single control element for the arrays main beam direction management. Fifteen cells, forty-five radiating elements, compose each triangular array of the GEODA antenna. In this paper, the working properties and the design of one cell will be shown and discussed.

I. INTRODUCCIÓN

En primer lugar se introducirá el diseño general de la antena GEODA para entender las especificaciones de funcionamiento de las células que compondrán cada array [1]. La antena GEODA se divide en dos partes, (fig.1(b)). Una parte cilíndrica de 1.5 metros de diámetro y otra poliédrica de treinta caras triangulares iguales. Este poliedro se consigue a partir de un dodecaedro, en el cual los pentágonos son sustituidos por pirámides de base pentagonal cuyas caras son triángulos iguales. Cada uno de estos triángulos está cubierto por cuarenta y cinco parches dobles, agrupados en celdas de tres elementos con capacidad de controlar la dirección de apuntamiento de su lóbulo principal. La señal recibida por cada una de las 15 celdas se combina y es acondicionada por la cadena receptora propia de cada panel. Además de los sistemas de RF y FI, se está desarrollando un subsistema electrónico que, junto a algoritmos adaptativos, es capaz de controlar el apuntamiento del diagrama de cada array.

El elemento radiante individual consiste en un parche doble impreso sobre fibra de vidrio. Con el fin de obtener polarización circular, el parche principal es alimentado en dos puntos con la misma amplitud y desfasados entre sí 90° por medio de un acoplador Branch-Line. Al tratarse de un sistema exclusivo de recepción, sólo tres de los cuatro puertos se utilizarán, dejando cargado el otro. La señal a la salida del híbrido es amplificada por un LNA (Low Noise Amplifier).

La capacidad de seguimiento del array se basa en desfases de seis estados de control electrónico. Están constituidos por dos switches enfrentados cuyas salidas están unidas por seis pistas microstrip de diferentes longitudes que consiguen un salto progresivo de 60° .

Cada uno de los parches de la celda aporta una señal de RF que será conducida a uno de los tres puertos de entrada de un circuito combinador Wilkinson, que consigue a su salida la suma de las señales recibidas. A partir de otro LNA, la señal resultado se amplifica de nuevo.

El siguiente paso es sumar las contribuciones de cada una de las celdas mediante una red sumadora equilibrada de múltiples puertos de entrada y una única salida. El funcionamiento de ésta se basa en bifurcaciones Wilkinson.

II. COMPONENTES DE LA CELDA

A lo largo de esta sección se presentarán los distintos subsistemas que componen la celda, así como su comportamiento en condiciones reales de funcionamiento. Además del sistema de recepción, se ha incluido un subsistema de test en cada celda, cuya finalidad es facilitar el calibrado y comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes de la celda.

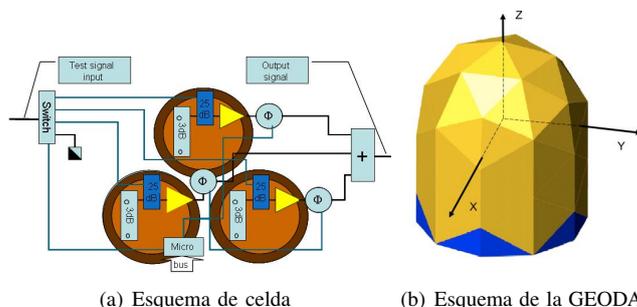


Fig. 1. Esquemas del elemento funcional y la antena.

A. Antena e híbrido

Ya que nuestro sistema trabajará en condiciones de polarización circular, es necesario asegurar el buen comportamiento del conjunto formado por antena y circuito híbrido a este respecto. Del equilibrio y diferencia de fase conseguidos en el branchline depende la relación axial y la diferencia entre componente copolar y contrapolar que el parche radia o recibe.

Como se ha adelantado, el parche es doble siendo el parche inferior el alimentado en dos puntos separados entre sí 90° y a la misma distancia del centro. Los parches están impresos sobre fibra de vidrio y separados mediante capas de foam. Las

vias de alimentación nacen en el circuito de RF, atraviesan el plano de masa, las capas de dieléctrico y se unen al parche principal. Éste es ligeramente mayor que el disco acoplado, de manera que se consiguen dos puntos de resonancia próximos en la estructura y, consecuentemente, un mayor ancho de banda [2].

Las medidas del híbrido revelan un buen comportamiento, ya que sólo hay una error de 0.6dB (Fig.2(a)) en amplitud y 0.7° (Fig.2(b)) en fase entre salidas. Estas diferencias se han atribuido a las soldaduras de unión con los conectores. Como

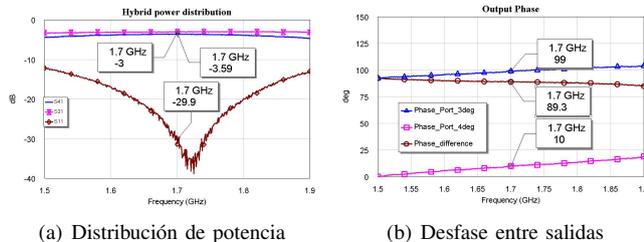


Fig. 2. Comportamiento del acoplador híbrido

consecuencia, la capacidad de radiación del conjunto híbrido y parche doble es óptima tanto en términos de relación axial como en niveles de señal copolar-contrapolar del diagrama de radiación.

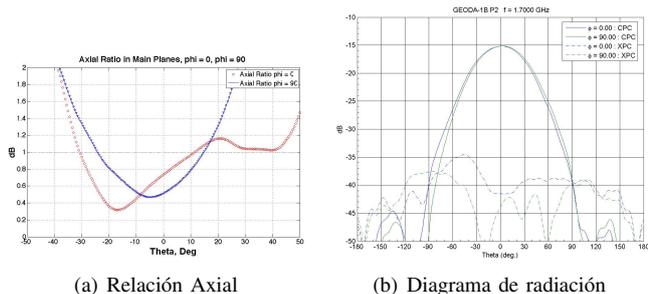


Fig. 3. Comportamiento en radiación del conjunto

B. Cadena de recepción en RF de la celda

Como es habitual, el primer componente de la cadena de recepción es un LNA (MBC13720N) polarizado con la red de DC propuesta por el fabricante que optimiza la ganancia a la frecuencia de diseño, renunciando a una mejor adaptación en las puertas. Estos componentes tienen cuatro modos de funcionamiento: *disable*, *bypass*, *lowIP3* y *highIP3* seleccionables mediante dos pines de control. El modo normal de funcionamiento será *lowIP3*, ya que se consigue una ganancia aceptable con un consumo muy bajo. Para llevar a cabo el barrido electrónico, es necesario un dispositivo capaz de modificar la fase de la señal recibida. El circuito desfasador está constituido por dos switches enfrentados, cuyas salidas están unidas por seis líneas microstrip de diferentes longitudes. El desfase introducido por la línea más corta es considerado como referencia, de tal manera que el salto de fase de una línea es de 60° respecto a la inmediatamente inferior en longitud. La salida procedente de cada uno de los desfasadores es sumada en un circuito combinador balanceado Wilkinson de tres entradas y una única salida. El comportamiento de éste dispositivo se muestra en fig. 6. Para comprobar que el

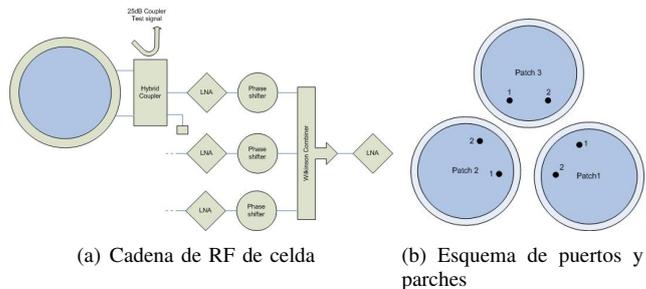


Fig. 4. Cadena RF y celda

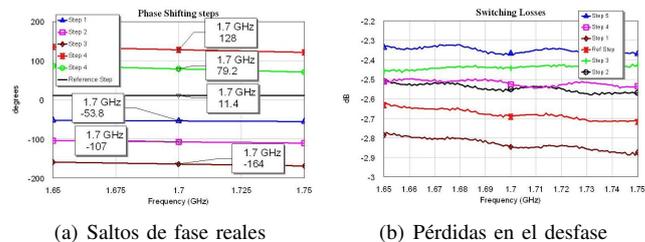


Fig. 5. Comportamiento del circuito desfasador

reparto de potencia es el adecuado, se ha inyectado señal por el puerto principal midiéndose el nivel de cada una de las ramas, esperándose un valor teórico de 4.7dB. Aunque en la práctica es un poco menor, el nivel de señal es muy parecido en todas las ramas, lo que supone un reparto correcto de la potencia. La señal se desfase por igual a lo largo de todas las ramas, consiguiéndose una diferencia máxima de 1.2°. La salida del circuito sumador es amplificada por el mismo

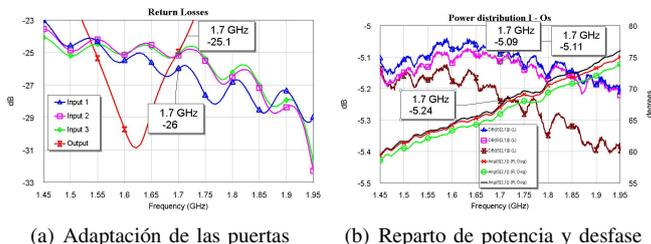


Fig. 6. Comportamiento del circuito combinador

tipo de LNA. Este punto constituye la salida de la cadena de recepción de RF.

C. Red de alimentación de panel

El circuito encargado de combinar la señal de las quince celdas del panel está constituido por una red equilibrada en árbol, cuyas bifurcaciones se han implementado mediante divisores Wilkinson de una entrada y dos salidas. El nivel de adaptación de la rama principal es excelente (inferior a -40dB), siendo inferior en el resto de puertos (menor de -25dB). La potencia que incide por cualquiera de las ramas es conducida directamente en su totalidad al puerto principal. Como todas las ramas tienen un desfase relativo similar, a la salida del dispositivo se tiene la suma en fase de las quince señales.

En la rama sobrante, será inyectada una señal de test (fig.11) que permitirá conocer el estado de la cadena de recepción del panel.

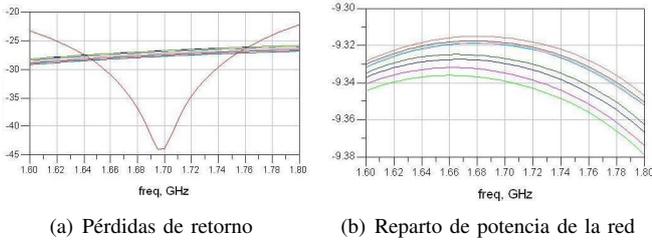


Fig. 7. Comportamiento de la red combinadora de panel

III. COMPORTAMIENTO EN RADIACIÓN DE LA CELDA

En este apartado se mostrará el comportamiento en radiación del array constituido por los tres parches dobles propios de cada celda. Las medidas se han realizado alimentando sobre los discos sin acopladores híbridos, por tanto, partimos de las componentes de campo \mathbf{E}_θ y \mathbf{E}_ϕ de la polarización lineal propia de cada puerto. Para componer el diagrama de la celda primero se estiman las componentes de campo de cada parche aplicando las rotaciones de -90° a los puertos numerados con 2.

$$\text{Parche } i \quad \begin{cases} \mathbf{E}_{\theta i} = \mathbf{E}_{\theta 1i} - j\mathbf{E}_{\theta 2i} \\ \mathbf{E}_{\phi i} = \mathbf{E}_{\phi 1i} - j\mathbf{E}_{\phi 2i} \end{cases} \quad (1)$$

El siguiente paso es el cálculo de las componentes \mathbf{E}_θ y \mathbf{E}_ϕ globales de la celda. Para ello se ha tomado como referencia el parche uno, de tal forma que las componentes de campo \mathbf{E}_θ y \mathbf{E}_ϕ radiadas por los parches dos y tres han de ser rotadas 120° y 240° respectivamente.

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{\theta cell} &= \mathbf{E}_{\theta 1} + j\frac{2\pi}{3}\mathbf{E}_{\theta 2} + j\frac{4\pi}{3}\mathbf{E}_{\theta 3} \\ \mathbf{E}_{\phi cell} &= \mathbf{E}_{\phi 1} + j\frac{2\pi}{3}\mathbf{E}_{\phi 2} + j\frac{4\pi}{3}\mathbf{E}_{\phi 3} \end{aligned} \quad (2)$$

Una vez sumadas convenientemente las aportaciones de los tres parches, la relación polar-contrapolar y la relación axial son obtenidas de forma tradicional [3]:

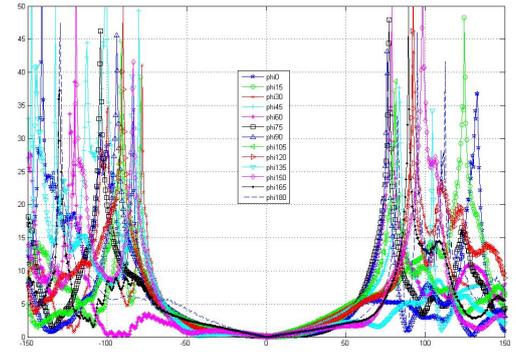
$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{CP} &= \mathbf{E}_{\theta cell} - j\mathbf{E}_{\phi cell} \\ \mathbf{E}_{XP} &= \mathbf{E}_{\theta cell} + j\mathbf{E}_{\phi cell} \end{aligned} \quad (3)$$

$$RA = \frac{\|\mathbf{E}_{CP}\| - \|\mathbf{E}_{XP}\|}{\|\mathbf{E}_{CP}\| + \|\mathbf{E}_{XP}\|} \quad (4)$$

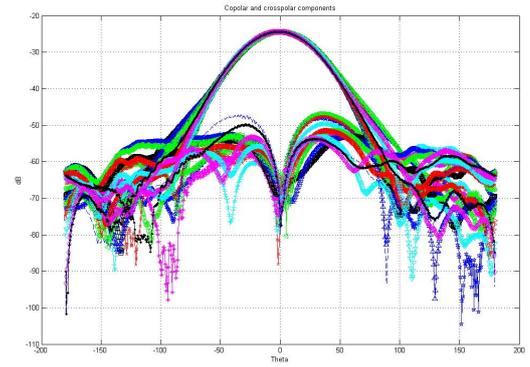
Los resultado de estas expresiones se presentan en fig.8(a) y fig.8(b), donde se aprecia un comportamiento excelente tanto en relación axial como en diagrama de radiación (hasta 40dB de relación copolar contrapolar).

IV. CADENA DE RECEPCIÓN

Este subsistema recibe la señal procedente del circuito sumador y el posterior LNA y la conduce hasta el conversor analógico digital que actuará de demodulador en banda base. El esquema que utiliza es el de un receptor heterodino, en el que la señal de OL procede de un PLL. El dispositivo escogido para este fin será el chip ADF4360-7 (Analog Devices) que incluye el VCO y el detector de fase, y al que se conectarán el cristal y el loop filter. El subsistema de RF se compone de un filtro y un amplificador. El primero destaca por sus bajas pérdidas, su selectividad y una buena adaptación. El amplificador en cambio muestra una ganancia mayor que la incluida en especificaciones por el fabricante, pero la adaptación a la de frecuencia de diseño es mala. Por ello, se ha diseñado una red RC a la entrada que optimizan las

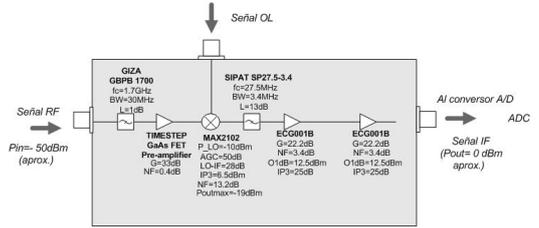


(a) Relación Axial

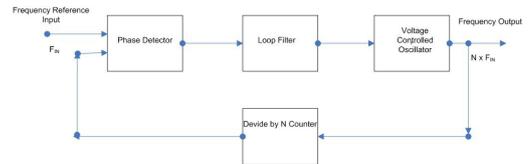


(b) Relación copolar-contrapolar

Fig. 8. Comportamiento en radiación de celda

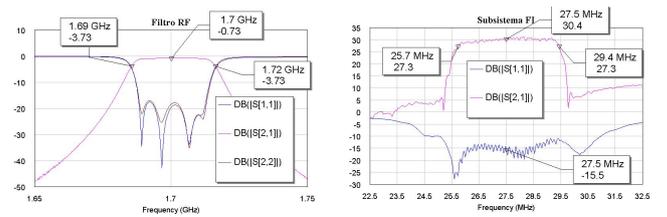


(a) Esquema de bloques receptor RF



(b) Sintentizador de OL

Fig. 9. Subsistema receptor de RF



(a) Filtro de banda estrecha en RF (b) Subsistema receptor de FI

Fig. 10. Filtro RF y subsistema receptor de FI

pérdidas de inserción sin que la ganancia se vea afectada. El subsistema de FI está compuesto por un filtro muy selectivo pero con grandes pérdidas. Por ello se hace necesaria la utilización de una cadena de amplificación, compuesta por dos amplificadores en cascada de la misma naturaleza. Así, se consigue la potencia mínima necesaria en la entrada del conversor A/D.

V. SUBSISTEMA DE TEST

En un sistema complicado, existen numerosos puntos en los que pueden aparecer errores. Con la finalidad de estimar y corregir errores o fallos de funcionamiento, se ha dispuesto de un sistema de comprobación que estará presente tanto dentro de la celda individual como en las cadenas receptoras de frecuencia intermedia. Adjuntos a la cadena de RF se han incluido acopladores de 25dB que inyectan la señal de test de los circuitos híbridos para ser conducidas a las entradas de un conmutador seleccionable. De esta manera puede estimarse la calidad de la señal de RF recogida por cada uno de los elementos radiantes.

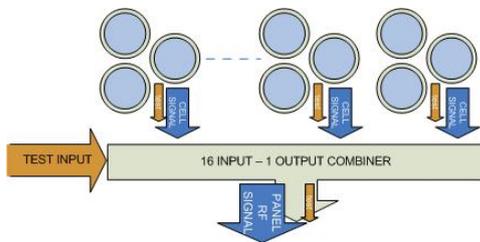


Fig. 11. Esquema del subsistema de test.

Otro punto de inyección de señal de prueba se encuentra en la entrada del combinador general de panel, con dieciséis entradas y una salida. Este tiene como objetivo conocer el estado de la cadena de recepción de frecuencia intermedia, así como el funcionamiento de la red de distribución del panel.

VI. SISTEMA DE CONTROL

A. Introducción

La función principal y más evidente del *Sistema de control* es gobernar el apuntamiento de los paneles triangulares aplicando los desfases aplicados a la señal de los elementos radiantes. Los saltos de fase presentados en 5(a) se consiguen combinando distintos valores en los pines de control de conmutación de los switches. También se controlan los distintos modos de funcionamiento de los amplificadores de la cadena de radiofrecuencia, también seleccionables mediante pines de control. El *Sistema de control* también gestiona la inyección de las señales de test en las cadenas de RF de cada parche para comprobar el funcionamiento del sistema, detectando posibles averías y permitiendo realizar tareas de calibración de las citadas cadenas para así mejorar el apuntamiento de la antena. Esta tarea se realiza inyectando la señal de test en la cadena seleccionada y apagando los amplificadores del resto, y la gestión de los amplificadores serán los propósitos de funcionamiento del *Sistema de Control*. Otra tarea adicional es la puesta en modo de bajo consumo de los paneles no utilizados apagando los amplificadores y colocando los microcontroladores en modo de bajo consumo.

B. Estructura

La complejidad de la antena GEODA obliga a dimensionar el sistema de control en tres estratos, que se han diseñado considerando la estructura global de la antena. El primer nivel comprende un microcontrolador embebido en cada celda, con la lógica necesaria para conmutar los niveles de tensión en los pines de control de los desfases, el control de los amplificadores, así como de inyectar la señal de test en la cadena deseada. La comunicación entre microcontrolador y placa RF se realiza por bus plano convencional.

El segundo nivel de control lo componen microprocesadores dedicados a la gestión de un panel. Cada uno de los sesenta paneles que componen la antena poseerá un procesador dedicado a gestionar el primer nivel lógico anteriormente presentado. Para la comunicación entre primer y segundo nivel se recurre al estándar de bus I2C, que es un bus serie que sólo requiere un línea de reloj, una de datos y la de masa.

El tercer nivel supone un microprocesador general dentro de un ordenador. Su misión es la de controlar y gestionar la actividad del segundo nivel de este sistema. El bus elegido para ello es el estándar USB.

Esta arquitectura complica sobremanera las medidas y comprobaciones imprescindibles en el desarrollo de las cadenas de RF. Por esta razón el firmware de los controladores de primer nivel, los embebidos en cada celda de tres parches, disponen de pulsadores y diodos que permiten que de forma autónoma se puedan controlar los desfases y la inyección de la señal de test en cada una de las cadenas de RF con el apagado de los amplificadores de las otras. Para ello el conjunto, en respuesta a un pulsador, pasará por una serie de estados que mostrarán de forma codificada a través de los diodos LED.

VII. CONCLUSIONES

Se está desarrollando una antena inteligente de altas prestaciones, en la banda de 1.7GHz, con capacidad de seguimiento múltiple. Los sistemas radiantes de los arrays han sido construidos y medidos con éxito, así como toda la circuitería de radiofrecuencia que se ha presentado en este artículo. Se está desarrollando en el mismo grupo de investigación, el trabajo paralelo complementario de algoritmia de conformación de haz.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a Ingeniería de Servicios Espaciales, INSA, por el mecenazgo de este proyecto. Agradecimientos también para el equipo técnico de medida de antenas y taller mecánico de la ETSI Telecomunicación de la UPM.

REFERENCES

- [1] I. Montesinos, J.L. Masa, J.L. Fernández and M. Serra, "Geoda: unitary cell distribution, composition and working properties.", Proceedings of The XXIX General Assembly of the International Union of Radio Science, August 2008.
- [2] J.P. Daniel. "Research on planar antennas and arrays: Structures rayonnantes." IEEE Antennas and Propagation Magazine, 35(1):14-38, Feb 1993.
- [3] C.A. Balanis. "Antenna Theory: analysis and design." John Wiley and Sons, new York, second edition, 1980.