

# ANTENA DE SEGUIMIENTO EN ACIMUT PARA COMUNICACIONES VIA SATELITE

***N. Amar Touhami***

Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc

***A. Tazon Puente***

Dpto. Ingeniera de Comunicaciones,  
Universidad de Cantabria, Santander-España

***J. Vassal'lo***

Instituto de Fisica Aplicada, CSIC. Serrano, Madrid, España

***A. Zakriti***

Ecole Nationale des Sciences Appliquées,  
Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc

***M. Boussouis***

Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc

---

## Abstract

We present in this paper a first step of a feasibility study about a geosatellite link from aeronautical, maritime and land mobiles, where the antenna provides a mechanical scanning in azimuth, based on a new beam tracking system.

The novelty of this system is on the radiating element, which provides simultaneously at the input of the control card, the signals of both beams. This system avoids the waiting time due to the state change of the beam switch in a classical process.

A laboratory prototype of the antenna has been designed, manufactured and measured, to demonstrate the possibilities of the developed technology

---

**Keywords:** Microstrip antenna; beam tracking; Radiation pattern; geosatellite

---

## Resumen

En este trabajo se presenta la primera etapa de un estudio de viabilidad sobre un enlace geo-satélite desde aeronáuticas, marítimas y terrestres móviles, donde la antena proporciona un barrido mecánico de haz en acimut, basado en una nueva sistema de seguimiento de haz.

La novedad de este sistema está en el elemento radiante, que proporciona al mismo tiempo en la entrada de la tarjeta de control, las señales de ambos haces. Este sistema evita el tiempo de espera debido al cambio de estado del conmutador de haz en un proceso clásico.

Se ha diseñado, fabricado y medido el prototipo para demostrar las posibilidades de la tecnología desarrollada.

---

**Palabras clave:** Antena Microstrip; Seguimiento de haz; patrón de radiación; geo-satélite

### **Introduction**

Pensando en el desarrollo de un sistema que realice el seguimiento de un satélite geostacionario para establecer un enlace de comunicaciones desde un móvil como aviones y barcos de pasajeros, trenes de alta velocidad o autobuses VIP, hemos realizado un estudio de viabilidad sobre un nuevo concepto de antena. Con objeto de no añadir otros problemas y enfocar el estudio al comportamiento de la antena y al funcionamiento del sistema de control, se ha restringido al de un único eje.

El sistema de seguimiento elegido es el clásico de dos haces conmutados, y donde la decisión del movimiento de seguimiento se realiza en función del nivel recibido por cada uno de los haces (Balanis, 1997, Ehmouda, et al., 2009, Ehyaie, 2011, Fatemi, et al. 2011, Lambard, et al., 2009, Manu, et al. 2012). En el sistema clásico, la velocidad con que se realiza la conmutación entre haces, es un parámetro que junto con la velocidad máxima de giro del móvil y la ganancia requerida a la antena, determinan la eficiencia del sistema (Mitani, et al. 2011).

La novedad o ventaja que presenta el sistema propuesto está en el uso de un nuevo concepto de un tipo de antena que proporciona simultáneamente ambos haces. De esa forma, la tarjeta de control, tiene acceso a ambos a la vez y permite conocer en todo momento la diferencia entre ellos, por lo que la velocidad de respuesta del sistema depende únicamente de la velocidad de procesado de los datos y no de la conmutación entre los haces. Por el contrario, la desventaja está en la necesidad de duplicar la fabricación de los dos canales que proporcionan ambos haces.

### **Componentes del Sistema**

El sistema de seguimiento en acimut está formado por la antena con dos salidas (una para cada haz), el conversor de señales (detector y cadena de amplificación), la tarjeta de control de procesos, y la estructura mecánica que proporciona el giro en acimut. La figure 1 muestra el esquema general del sistema de seguimiento diseñado.

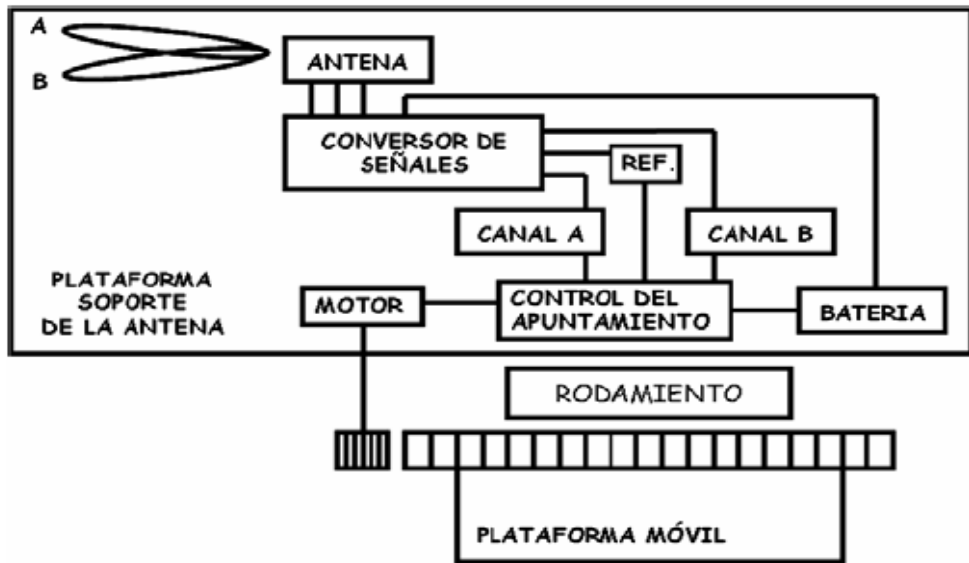


Figure. 1. Esquema del sistema de seguimiento.

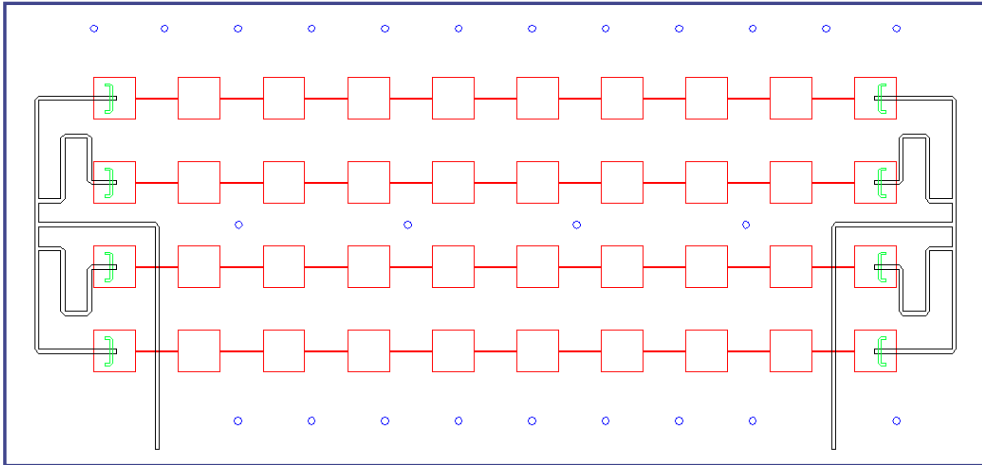
### A. Antena

El objetivo de la antena es el de proporcionar dos haces simultáneos y próximos, separando en canales diferentes la señal recibida por cada haz. La antena tiene como entrada la señal de baliza del satélite que recibe a través del elemento radiante, y como salidas, los canales A y B correspondientes a cada uno de los haces generados. Se añade también un tercer canal de referencia como salida de la antena, que corresponde a la masa del circuito, y que coincide con la masa de todo el sistema.

Puesto que se pretende estudiar las posibilidades que puede aportar la antena a este tipo de aplicaciones, se ha optado por que el elemento radiante esté formado por 4 subarrays, en la forma que muestra la figura 2. Se consigue de este modo ver las posibilidades que aporta el método seguido para el diseño de la antena, sobre el control de la separación entre haces, y conseguir el nivel de ganancia que se requiera, apilando subarrays.

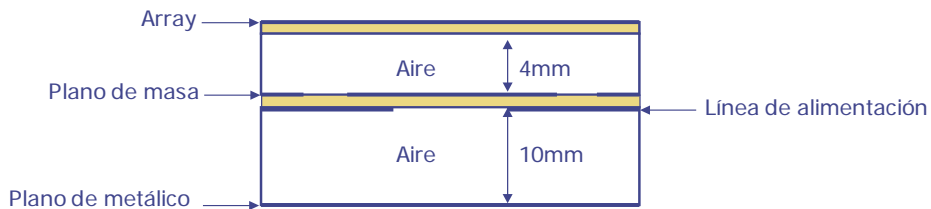
El subarray es realmente el elemento radiante básico del sistema, pues incorpora la salida de cada canal mediante una línea microstrip acoplada a los radiadores extremos a través de una rendija practicada en el plano de masa.

Como puede verse en la figura 2, cada subarray está formado por 10 radiadores microstrip cuadrados, en línea, y unidos entre si por una línea de alta impedancia. Sendas líneas microstrip, una por canal, se acoplan a los radiadores extremos del subarray, mediante un acoplo por rendija a través del plano de masa.



**Figure 2.** Esquema de la antena.

La figura 3 muestra la disposición de los materiales empleados según un corte transversal a la estructura radiante.

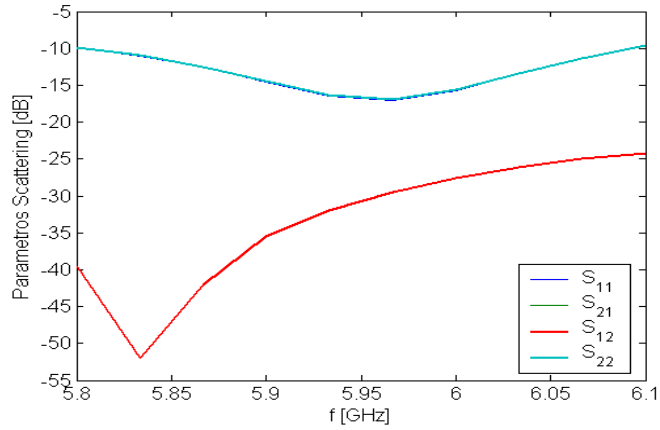


**Figure 3 :** Configuración transversal de la antena.

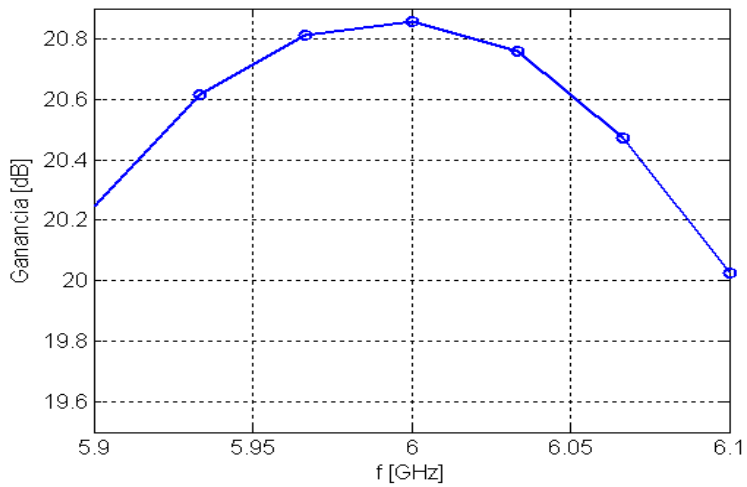
En las figuras 4 y 5 se pueden observar las simulaciones electromagnéticas de los parámetros Scattering y ganancia de la antena con el simulador Ensemble. La figura 4 muestra una adaptación mejor que -10 dB en los 300 MHz de banda y un aislamiento mejor de 30dB entre los dos puertos.

En la figura 5 se observa que la ganancia oscila entre 20.2 dB al principio de la banda y un máximo de 20.9 dB en el centro de la misma.

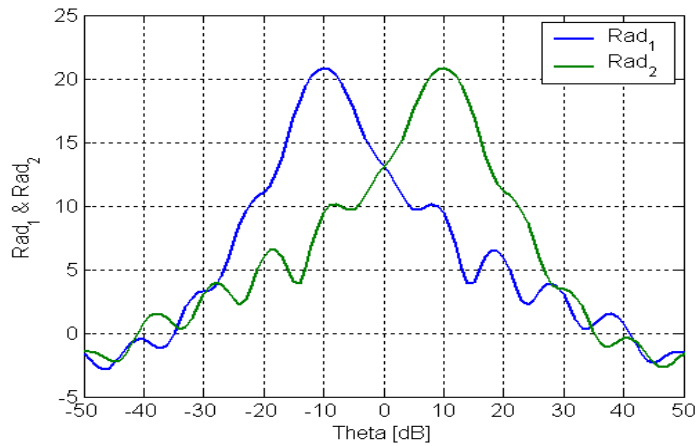
La figura 6 muestra el diagrama de radiación simulado para ambos canales. La elección de la forma del diagrama se ha realizado en base a la discriminación propuesta de  $10^\circ$ , para el demostrador a fabricar. La ganancia pedida a la antena viene del compromiso existente con la cadena amplificadora, siendo uno de los objetivos principales el de no encarecer el coste del demostrador.



**Figure 4 : Parametros Scattering**



**Figure 5 : Ganancia**



**Figure 6. Diagrama simulado de ambos canales.**

## B. Conversor de señales

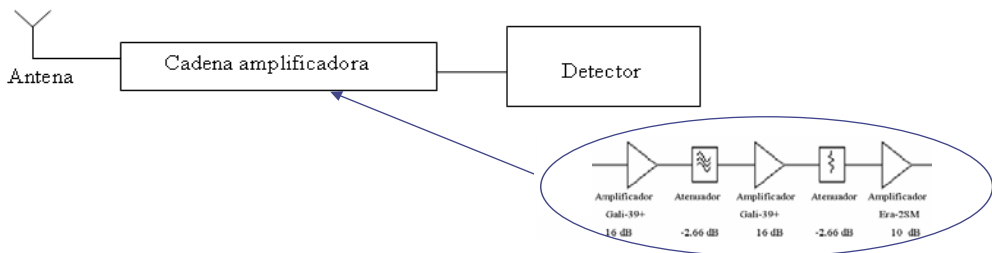
La función del conversor de señales es la de amplificar la señal de cada canal de forma independiente, y la de convertirla en señal de voltaje, en los niveles adecuados para que puedan ser leídos por la tarjeta de control. La figura 7 muestra el esquema del conversor de señales de cada canal, conectado a la antena, que está compuesto por la cadena amplificadora y el detector que es quien realmente realiza la conversión a voltios (figura 8).

Las entradas del conversor de señales son las salidas de la antena (los dos canales A y B y el tercero de referencia), además de los cables de DC, necesarios para alimentar los componentes activos del conversor.

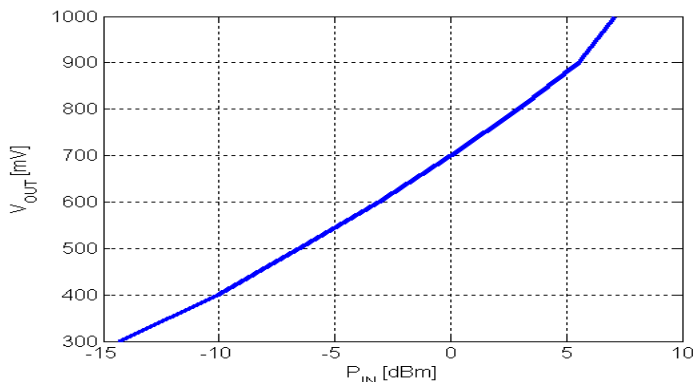
Las salidas del conversor de señales son los canales A y B de los haces, referidos en voltios a la masa del sistema, y dentro de los márgenes pre-definidos por la tarjeta de control.

En la figura 7 se muestra también un esquema más completo de la cadena amplificadora, indicando la contribución de cada componente en ganancia y pérdidas, para que la entrada al detector esté dentro de los niveles que requiere. La duplicidad del circuito de amplificación es necesaria para que los canales sean independientes y por tanto simultáneos, a la entrada de la tarjeta de control.

La figura 8 muestra la gráfica teórica de la conversión a voltios que proporciona el detector.



**Figure 7.** Elementos de la cadena amplificadora.



**Figure 8.** Gráfica teórica de la conversión a voltios.

### C. Tarjeta de control

El objetivo de la tarjeta de control es el de comparar los canales A y B, y conectar o desconectar el motor en función del resultado de la comparación, y evidentemente, invertir la tensión de la alimentación del motor si es necesario cambiar el sentido de giro del motor.

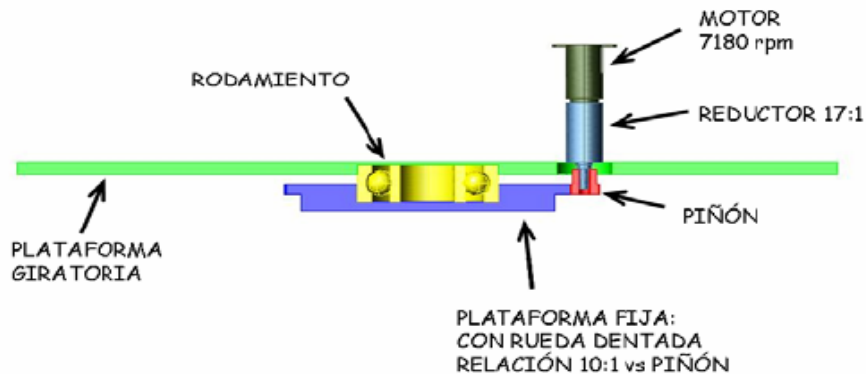
Una vez encendido el sistema, el algoritmo de control pone en marcha el motor para que realice un giro, hasta que detecte en ambos canales un valor de tensión por encima de un valor umbral predefinido. A partir de ese momento la diferencia de tensión entre canales es quien determina el sentido hacia donde debe actuar el motor.

En caso que la diferencia entre canales sea inferior en valor absoluto a un valor predefinido, significa que el apuntamiento es bueno, por lo que el algoritmo de control detiene al motor en esa posición.

### D. Estructura mecánica

El sistema de apuntamiento se sitúa sobre una plataforma que gira mediante un rodamiento axial. El motor se acopla a un elemento reductor 17:1, reducción que es ampliada por la relación 10:1 entre la rueda dentada de la base y el piñón en el eje del motor.

La figura 9 muestra un esquema de la estructura mecánica que proporciona el giro en acimut. Como plataforma se ha optado por una placa de aluminio de 10 mm de espesor, con objeto de incrementar la masa del prototipo y confirmar el funcionamiento de la antena.



**Figure 9.** Estructura mecánica que proporciona el giro en acimut.

### Prototipo Fabricado

Siguiendo las pautas definidas en el diseño del sistema, se fabricó en primer lugar la antena, confirmando las expectativas del diseño. Las figuras 10 (a, b y c) muestran las caras superior, lateral y posterior del elemento radiante, donde puede apreciarse la separación de los canales.



a. Vista de la cara radiante de la antenna.



b. Vista lateral de la antenna.



c. Vista de la parte trasera de la antenna.

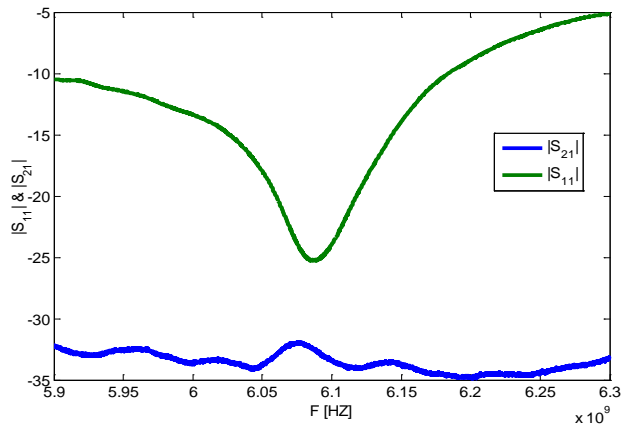
**Figure 10. Prototipo fabricado**

La medida de adaptación fue inferior a  $-10$  dB en ambos canales, y el aislamiento entre canales fue superior a 30 dB (figuras 11 y 12).



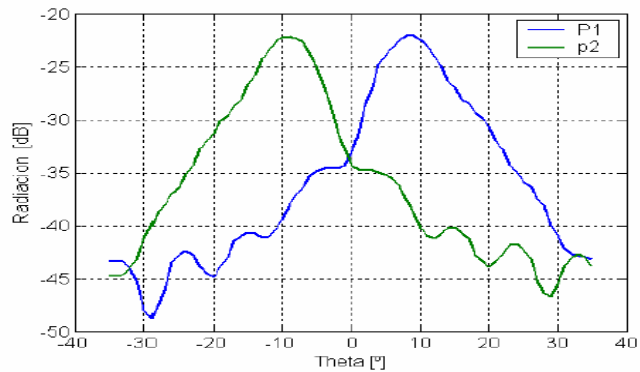


**Figure 11.** Banco de medida con el Analizador de Redes



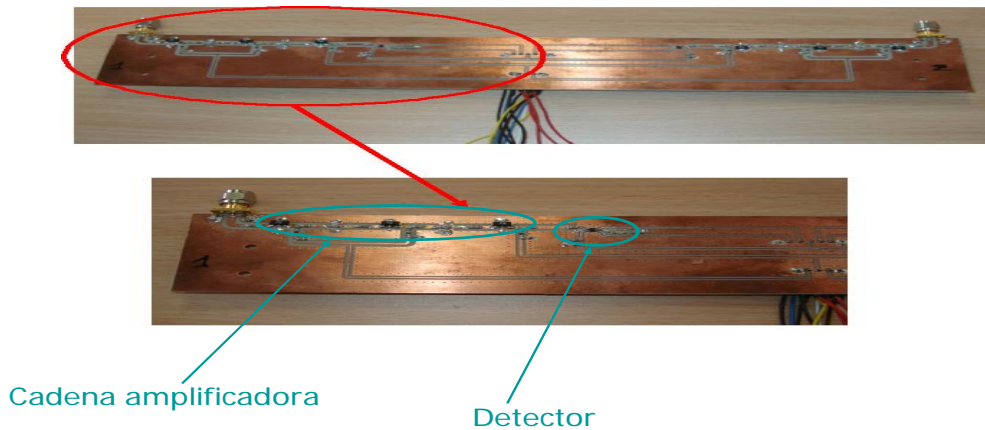
**Figure 12.** Parametros scattering.

La figura 13 muestra el diagrama de radiación medido de ambos canales, observándose en la comparación, que los resultados obtenidos son similares a los resultados teóricos que muestra la figura 6.

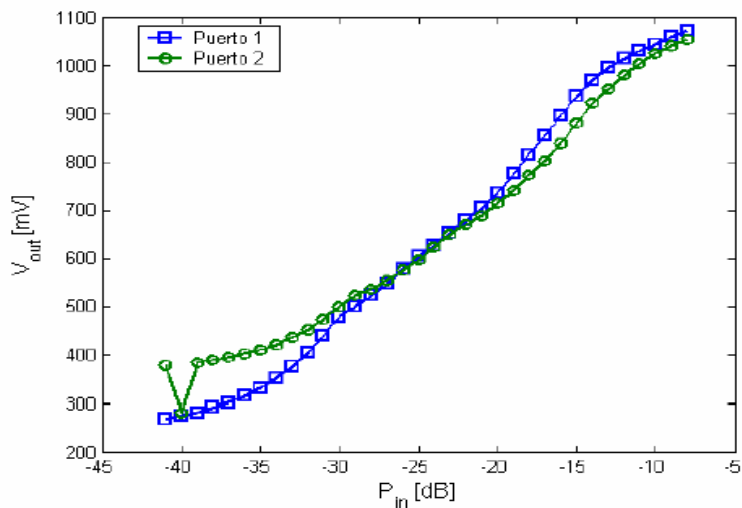


**Figure 13.** Diagrama de radiación medido de ambos canales.

La figura 14 muestra el circuito del convertor de señales, en el que puede observarse claramente la duplicidad de canales. La figura 15 muestra la salida medida del convertor en voltios para ambos canales, que puede compararse con el resultado teórico mostrado en la figura 8.

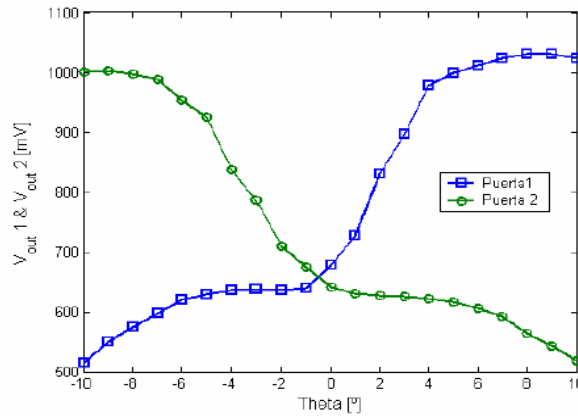


**Figure 14.** Circuito convertor fabricado.

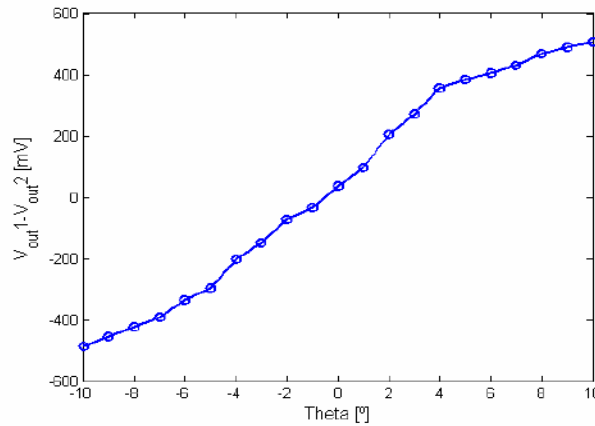


**Figure 15.** Salida del convertor de señales para cada canal

La figura 16 muestra los diagramas de radiación en voltios de ambos canales, y la figura 17 la diferencia en voltios de la señal entre canales, respecto al ángulo de incidencia. Es en esa diferencia en la que se basa el algoritmo de control para tomar la decisión sobre la calidad del apuntamiento y actuar en caso necesario sobre el motor, aplicando el voltaje con el signo apropiado.

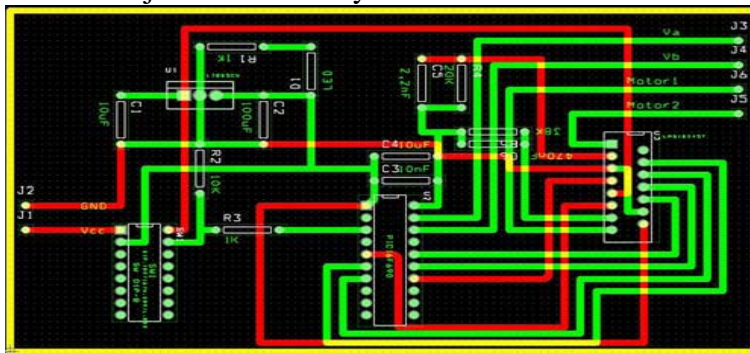


**Figure 16.** Diagrama de radiación en voltios de ambos canales.



**Figure 17.** Diferencia entre canales en función del ángulo de apuntamiento.

La figura 18 muestra el esquema de la placa del circuito de control fabricada. La placa está fotograbada por ambas caras con objeto de simplificar el montaje de elementos y facilitar su acceso.

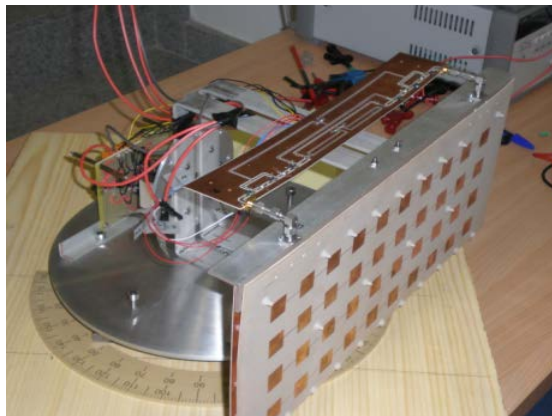


**Figure 18.** Placa del circuito de control.

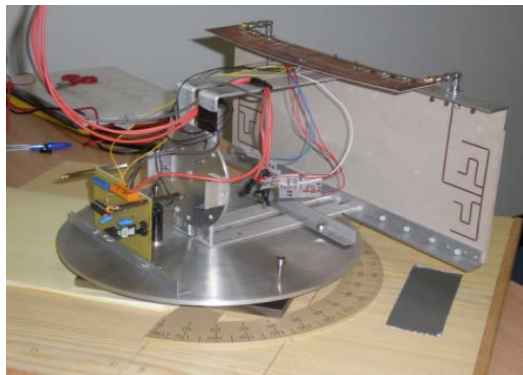
La figura 19 muestra una vista general del prototipo fabricado. En ella puede verse la distribución de elementos, como por ejemplo el conversor en la parte superior, y la placa de control en la parte posterior. En la vista lateral de la figura 20, se puede observar la posición del motor, junto con el piñón y la rueda dentada sobre la que actúa. La placa de control que muestra esta figura es un prototipo inicial, previo al definitivo que muestra la figura 18.

Para observar el funcionamiento del sistema, el conjunto (incluida la plataforma giratoria), se colocó sobre otra plataforma que admite un giro manual. De esa forma, una vez iniciado el proceso, y después que la antena localiza la señal de baliza, se puede girar manualmente la plataforma para sacarla del apuntamiento, y observar si la antena lo mantiene.

Puesto que el objetivo era comprobar el funcionamiento del sistema y no el llegar a un prototipo final, la alimentación del circuito se realizó mediante cables con longitud suficiente para permitir al menos un par de vueltas en el giro durante las pruebas (ver las figura 19 y figura 20).



**Figure 19.** Vista general del demostrador.



**Figure 20.** Vista lateral del prototipo.

## **Conclusiones**

El demostrador fabricado ha confirmado las expectativas de buen funcionamiento de un sistema de apuntamiento basado en la comparación de nivel entre dos haces. El sistema desarrollado puede ser una alternativa que simplifique los actuales sistemas de seguimiento.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a José Carlos Rodríguez Doce y Andrés de Frutos su participación en el diseño y desarrollo del control y mecanismos del sistema, y a la empresa italiana GIOMAR y al Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN), a través del proyecto TEC2008-06684-C03-01/TEC, su colaboración en la financiación del trabajo.

## **References:**

- Balanis C. A. (1997), *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley&Sons, Inc.,New York.
- Ehmouda J., Briqech Z., and Amer A. (2009), “Steered Microstrip Phased Array Antennas”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*.
- Ehyaie D. (2011), “Novel Approaches to the Design of Phased Array Antennas”, thesis for the degree of Doctor of Philosophy, University of Michigan.
- Fatemi M. R., Sadeghzadeh R.A. (2011), “Antenna Beam Broadening in Multifunction Phased Array Radar”, *Acta Physica Polonica A*. No. 4. *Physical Aspects of Microwave and Radar Applications*, Vol. 119.
- Lambard T., Lafond O., Himdi M., Jeuland H., Bolioli S., Le Coq L. (2009), “ Design of a KA-Band Wide Scanning Phased Array Antenna ”, *Antennas and Propagation, EuCAP 2009. 3rd European Conference on*, 23-27.
- Manu O. M., Dimian M. and Graur A. (2012), “Radiation Pattern Analysis and Advanced Phase Shifter Development for designing Phased Smart Antenna Arrays”, *Electronics and Electrical Engineering*, No. 1.
- Mitani T., Tanaka S., and Ebihara Y. (2011), “Experimental Study on One-Dimensional Phased Array Antenna Including Lossy Digital Phase Shifters for Transmitting Power Maximization”, *IEEE, General Assembly and Scientific Symposium*.