

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECEPCIÓN DE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN PARA LOS SATELITES NOAA**

J.C. Pérez Darías, F. Herrera Cabello, A. Ayala Alfonso

*Laboratorio de Comunicaciones y Teledetección. Dpto. de Física Fundamental y Experimental. Universidad de La Laguna. Avda. Francisco Sánchez s/n. 38203. La Laguna. Santa Cruz de Tenerife. T. 922-635480, F: 922-256973, E-mail: fherrera@ull.es; jcperez@ull.es*

**RESUMEN.-** En el presente trabajo se expone el diseño y la implementación de un sistema de recepción de las imágenes proporcionadas por el sensor AVHRR a bordo de los satélites NOAA. En el diseño prevalece ante todo, la sencillez y el bajo costo, haciendo de éste, un sistema ideal para la formación y docencia de la teledetección, pues la gran parte de este ha sido construido en el propio laboratorio.

**ABSTRACT.-** In this paper, we present the design and implementation of an acquisition system for the AVHRR sensor of the NOAA satellites. The main features of the system are the low cost and the simple design. This, makes it a good choice for learning the acquisition procedure in remote sensing, because almost all of the parts of the equipment was build up in our laboratory.

### **1.-INTRODUCCION**

El Laboratorio de Comunicaciones y Teledetección del Dpto. de Física Fundamental y Experimental de la Universidad de La Laguna, se encuentra dotado desde Noviembre de 1993 de una estación modelo TERASCAN para la Recepción, Registro y Procesamiento de datos para los satélites de órbita polar NOAA. Sin embargo, desde el punto de vista de formación y docencia tanto en el campo de las comunicaciones como en el propio de la Teledetección, se creyó oportuno el diseño y montaje de otra estación de similares prestaciones que la anterior, y cuya principal característica fuera el bajo costo. Con este propósito, inicialmente se adquirió el material que, junto con el ya existente en el propio Laboratorio, posibilitan la elaboración de este proyecto. Del material adquirido, cabe destacar el bloque LNB (*Low Noise Block Downconverter*) encargado de coleccionar la radiación electromagnética proveniente del satélite, además de dos tarjetas que, insertadas en sendos slots de nuestro PC, se encargan de la demodulación y decodificación de la señal que es enviada por el bloque anterior. Adquirido este material a la empresa norteamericana *Quorum Communications*, el objetivo básico del trabajo consistió en el diseño y construcción de la antena colectora, así como el diseño y desarrollo de todo el sistema de seguimiento.

### **2.- ESQUEMA GLOBAL DEL SISTEMA**

En la figura 1 se puede observar el diagrama de bloques correspondiente a la estación, receptora. Este, se puede subdividir en dos grandes módulos o apartados:

1. Subsistema de recepción, compuesto por la antena con el bloque LNB y las tarjetas demoduladora y decodificadora.
2. Subsistema de seguimiento, compuesto por el bloque rotórico y la interface de adaptación, controlado por una tarjeta microcontroladora basada en el micro 80(c)32 de Intel. Ambos subsistemas, están interconectados entre sí con el propósito de sincronía, dichos procesos, es decir, el seguimiento y la recepción de imágenes; para ello se utiliza un ordenador, PC que al mismo tiempo sirve como soporte para el desarrollo de todo el software de tratamiento de las imágenes, una vez adquiridas. Es justo a partir de este momento, cuando las comunicaciones dejan paso a la Teledetección. En este sentido procedemos a la calibración de las imágenes obtenidas, es decir, extraemos, utilizando los algoritmos adecuados, de los valores digitales de radiancia para los distintos canales, sus correspondientes valores de albedo (para los canales 1 y 2) y temperatura (canales 3, 4 y 5). Veamos en los apartados siguientes una descripción más detallada de cada uno de los módulos del sistema.

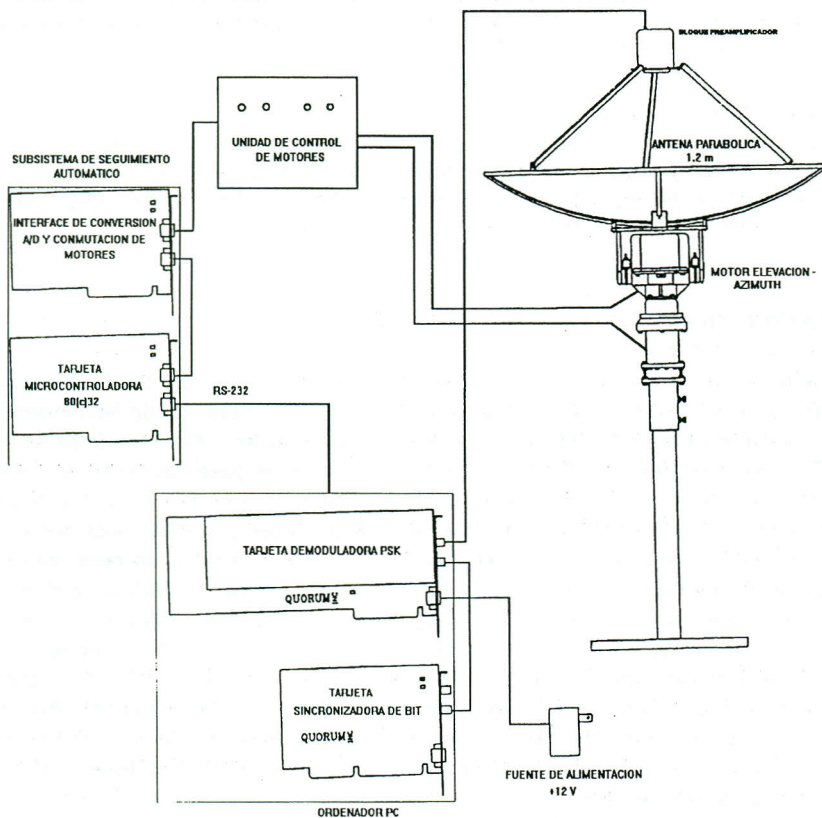


Figura 1.- Diagrama de bloques del sistema de adquisición

### 3.- SUBSISTEMA DE RECEPCION

El diagrama de bloques de dicho módulo se muestra en la figura 2.

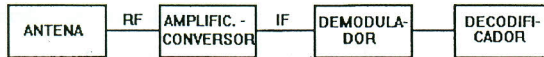


Figura 2.- Diagrama de bloques de un sistema receptor de comunicaciones

Como podemos apreciar, el esquema corresponde a un receptor de comunicaciones conectado a una antena que se encarga de coleccionar la radiación electromagnética procedente del satélite. Esta, ha de presentar unas características adecuadas (ganancia y directividad) a la frecuencia de trabajo, que en el caso de los NOAA es la banda S, alrededor de 1700 Mh. La radiación incidente en el alimentador es amplificada y filtrada para, a conyinuación ser convertida a otra intermedia en el rango 127-145 Mhz. Posteriormente, es enviada a través de un cable coaxial a la tarjeta demoduladora PSK que se encarga de convertir la señal a banda base y demodulara. Por último, se envía a una segunda tarjeta donde se decodifica y remite al bus de datos de nuestro PC.

#### 3.1.- Diseño y fabricación de la antena

Las características de un sistema de telecomunicaciones por satélite, hacen necesario disponer de un receptor con unas especificaciones tales que obligan a disponer de una antena que nos proporcione, por un lado, una gran ganancia y por otro, permita realizar un seguimiento adecuado durante el intervalo de tiempo que el vehículo se encuentra por encima del horizonte de nuestra estación. El sistema más eficaz utilizado en la práctica para lograr dichas especificaciones, se basa en reflectores de gran tamaño con bocina de alimentación situada frente al reflector. Es precisamente este tipo de antenas, el que hemos elegido para nuestro proyecto. Como acabamos de comentar, uno de los parámetros que determinan las prestaciones de un sistema receptor, es la directividad proporcionada por la antena; ésta, es función tanto de la directividad del alimentador como de la relación longitud focal - diámetro del reflector:  $f/d$ . Dicho cociente, conocido como número de apertura del reflector ( $2\Psi$ ), determina el porcentaje de la radiación del alimentador colectada por el reflector. Asumiendo que la radiación proporcionada por el alimentador es simétrica respecto al eje del reflector, y que no, movemos en ángulo,  $\Psi$  entre  $-90$  y  $+ 90$ , encontramos que el área efectiva de la antena viene dado por la siguiente expresión:

$$A_{efectiva} = AI(\theta)$$

donde A es el área física de la apertura, e  $I(\theta)$  una función, llamada *eficiencia de apertura* o *eficiencia de iluminación* que tiene en cuenta tanto el patrón de radiación del alimentado, como el efecto de la apertura angular. Está comprobado (1) que la eficiencia de apertura llega a un valor del 80% si la apertura agular está comprendida entre 40 y 70 grados. Esto, valores, traducidos a ,relación  $f/d$ , nos lleva a un intervalo adecuado para dicha variable entre 0.35 y 0.7; además, en la práctica se observa que es aconsejable disponer de un ángulo de apertura de modo que el patrón de radiación en los bordes de la antena se sitúe 9 o 10 dB por debajo del correspondiente al centro de la misma. Bajo condiciones normales del alimentador, esto se

satisface para una relación  $f/d$  comprendida entre 0.5 y 0.6.

Con estas consideraciones, y con el objeto de conseguir unas buenas prestaciones en nuestro diseño, elegiremos un valor para el número de apertura de 0.6, que se encuentra dentro del rango que habíamos deducido como aconsejable (spillover no demasiado elevado y aprovechamiento de toda la superficie reflectora).

Una vez determinado el parámetro  $f/d$ , y continuando con la fase de diseño, se procede a la elección del diámetro del paraboloide. Para ello, usamos como referencia la gráfica que se muestra en la figura 3:

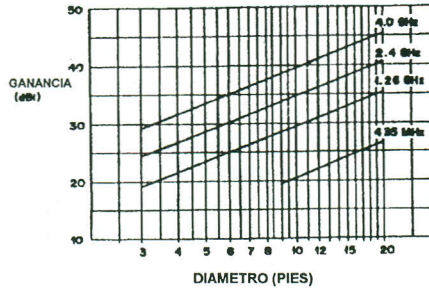


Figura 3.- Ganancia frente a diámetro de reflector a distintas frecuencias

Observando la gráfica anterior y teniendo en cuenta que el rango de frecuencias donde a a operar la antena se sitúa en torno a los 1700 Mhz, podemos concluir que, con unas dimensiones de 1.2 m. conseguimos una ganancia adecuada sin sacrificar en exceso su directividad. Efectivamente, con estos alores para  $f/d$  y  $d$ , procedemos a sustituirlo en las siguientes ecuaciones con objeto de determinar la ganancia y directividad de la antena.

$$G = 7.5 + 20 \log d + 20 \log F$$

$$\theta^* = \frac{70}{(d)(F)}$$

Obteniendo unas prestaciones teóricas para nuestra antena que son:

Ganancia:  $G=24.15 \text{ dB}$

Directividad:  $\theta^*=10.29^\circ$

Una vez finalizada la fase de diseño, pasamos a la de construcción. En ésta, hay que tener en cuenta dos aspectos como son la elección de la estructura y tipo de material a utilizar en su fabricación. Por lo que respecta a la primera de las consideraciones, se optó por el empleo de una serie de varillas parabólicas que den forma a una red metálica actuante como superficie reflectora. Dicha elección, se basó principalmente en que la resistencia que opone al viento un sistema de este tipo es mucho menor que el esperado para otro de estructura rígida, factor éste de suma importancia debido a la ubicación final de la estación receptora. Para construir esta estructura, se partió de varillas de aluminio de 0.5 cms de espesor que, dobladas de forma adecuada y atornilladas a una base de aluminio, proporcionan el soporte para ubicar 10 pétalos de red metálica que actuarán como espejo a la radiofrecuencia. Esta red, se ha de elegir de modo que satisfaga las siguientes restricciones:

a) Rejilla  $< 1/10 \lambda$

b) Flatness o rugosidad de la malla  $< 1/20 \lambda$

Dado que la frecuencia de trabajo está en torno a los 1700 Mhz, las anteriores condiciones se traducen en: Rejilla  $< 1.76$  cms, rugosidad  $< 0.88$  cms.

Una vez, finalizada la construcción del reflector, se procedió a la ubicación del alimentador o LNB de modo que el plano principal de éste coincidiera con el punto focal del reflector. Seguidamente, se pasó a la construcción y coloración de los contrapesos de modo que la antena estuviese balanceada en cualquier posición elevación - azimuth en que se encuentre, evitando que el motor tenga que soportar el par mecánico de la misma.

En la figura 4, se puede apreciar el aspecto que presenta la antena una vez instalada sobre el bloque rotórico

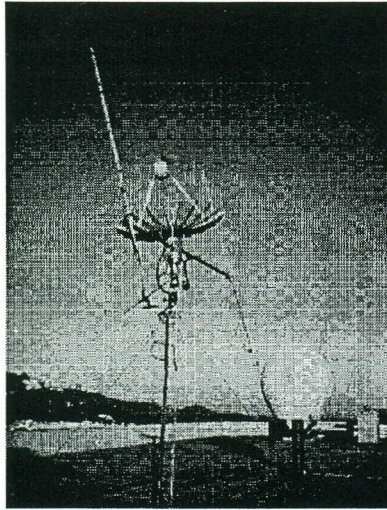
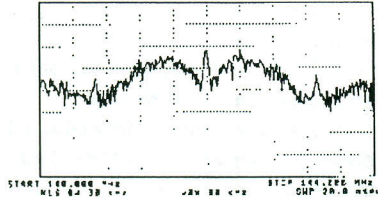


Figura 4.- Aspecto de la antena receptora

### 3.2.- Caracterización de la antena

Una vez instaladas las tarjetas demoduladoras y decodificadora en el PC, y tras realizar todo el conexionado entre los distintos módulos, se procedió a la caracterización de la antena. Para ello, y haciendo uso de un analizador de espectros, y puesto que aún no se encontraba a punto el sistema de seguimiento, elegimos pases lo suficientemente altos para minimizar en lo posible el problema del seguimiento. De esta forma, obtuvimos para el satélite NOAA-9 el espectro que se muestra en la figura 5.

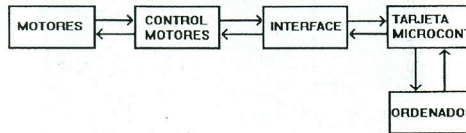
Una vez leídas las características de esta señal, y realizando la estimación teórica del balance de potencia, obtenemos para la antena una ganancia de 22 dB, que se encuentra un poco por debajo de lo estimado teóricamente. Ello es debido principalmente a la cantidad de señal eclipsada tanto por el LNB como por el número, 4, y posición de los soportes del mismo. Además, para estimar de forma aproximada la directividad, se hizo uso del Sol como fuente de calibración, pues éste se comporta como un emisor de energía en prácticamente todas las frecuencias. Así, se obtuvo un ancho de haz a 3 dB de aproximadamente  $10^\circ$ , que concuerda con lo estimado teóricamente.



**Figura 5.-** Espectro de la señal en frecuencia intermedia de] NOAA-9

#### 4.- SUBSISTEMA DE SEGUIMIENTO

El diagrama de bloques del subsistema de seguimiento es el mostrado en la figura 6.



**Figura 6.-** Esquema del subsistema de seguimiento

Como podemos apreciar, está compuesto por varios módulos que se interconectan entre sí. Por una parte, nos encontramos con el bloque rotórico y el controlado, asociado a él; por otra, tenemos la interface encargada de efectuar la lectura de la posición actual de los dos motores y de la activación de los mismos. Todo el sistema es gobernado por una tarjeta microcontroladora conectada al puerto RS232C del ordenador PC.

Es precisamente, la señal analógica proporcionada por el controlado, asociado a los motores, la aprovechada para efectuar el seguimiento, pues una vez convertida a su correspondiente valor digital, se introduce en la tarjeta microcontroladora (basada en el 80(c)32 de Intel), encargada de gestionar todas las labores del seguimiento. Esta, a su vez, está conectada al ordenador tanto para el volcado de datos previo a un pase, como para la sincronización de los procesos de recepción y seguimiento.

La interface, igualmente implementada en el Laboratorio de Comunicaciones y Teledetección, consta a su vez de dos módulos. El primero es el encargado de la conversión analógica - digital de la señal proporcionada por el controlador de motores y envío de este valor digital a la tarjeta microcontroladora; mientras el segundo, recibe la señal de dicha tarjeta de la activación en un determinado sentido de los motores, y proporciona la tensión de alterna necesaria para la activación del mismo.

#### 5.- SOPORTE SOFTWARE

Junto al soporte hardware comentado hasta ahora, un importante esfuerzo en el trabajo consistió en la implementación del software adecuado que proporcione un correcto funcionamiento del sistema en su conjunto. Este, consta básicamente de tres módulos: Por una parte, un conjunto de rutinas implementadas en el ordenador que se encargan de la actualización y extracción de

los elementos orbitales de los distintos satélites, del cálculo de los parámetros del pase (elevación- azimuth del satélite cada 2 segundos a partir, del inicio de éste), del almacenamiento de estos valores en un fichero y del cálculo de efemérides (predicción de pases).

Un segundo módulo, implementado en lenguaje ensamblado, en la tarjeta microcontroladora, efectúa la conversión A/D de la señal proveniente de los motores, lee la posición teórica del satélite almacenada previamente en la memoria RAM de dicha tarjeta y compara los valores anteriores, activando, en su caso, el motor correspondiente.

Por último, el tercer módulo, implementado tanto en el ordenador como en la tarjeta microcontroladora, realiza la configuración del puerto serie de comunicaciones, efectúa la transferencia de datos desde el ordenador a la tarjeta y es el encargado de la sincronización del proceso de seguimiento.

La figura 7 permite observar el diagrama de flujo del proceso de seguimiento.

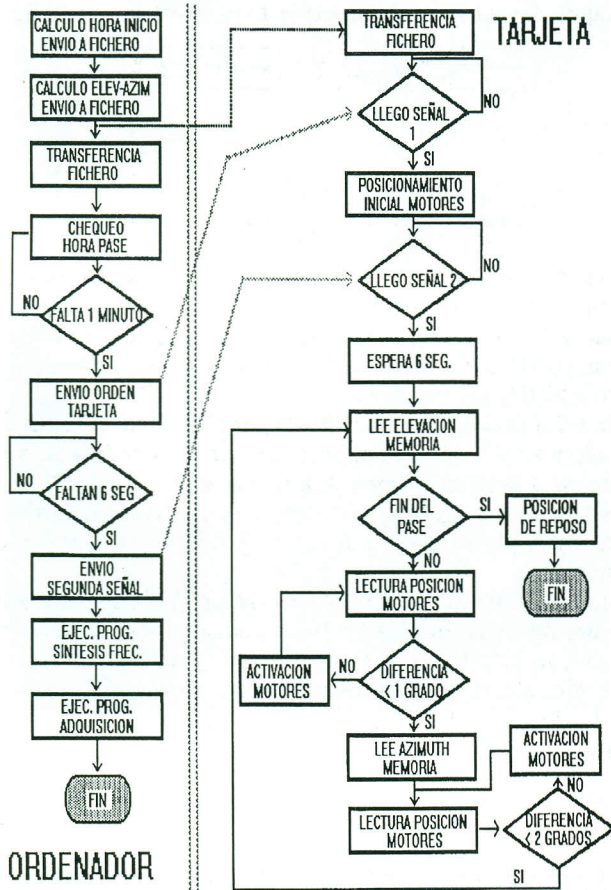


Figura 7.- Diagrama de flujo correspondiente al proceso de adquisición

## 6.- RESULTADOS

En las siguientes figuras, podemos apreciar algunas de las imágenes obtenidas por el sistema implementado. Estas, son almacenadas inicialmente en el disco duro y posteriormente en cintas para su ulterior tratamiento. Como se comentó en la introducción, dichas imágenes son calibradas (3) para obtener los parámetros físicos asociados a los valores digitales obtenidos por los sensores a bordo del satélite (%albedo, temperatura)



Figura 8.- Imágenes adquiridas con el sistema

## 7.- BIBLIOGRAFIA

- Belotserkovski. "Fundamentos de antenas"Edt. Marcombo Boixareu Editores (1983).  
Mather, Paul. " Computer Processing of Remotely - Sensed Images" Edt. John Wiley & Sons. England (1 989).  
"NOAA TECHNICAL MEMORANDUM NESS 95"  
Thimothy Pratt. "Satellite Communications"Edt. John Wiley & Sons. U.S.A. (1986).