

Radiómetros del Instrumento LFI de la misión Planck

Eduardo Artal Latorre, Beatriz Aja Abelán, Marco Detratti, M.Luisa de la Fuente, Angel Mediavilla, Juan Pablo Pascual

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones
Grupo de Microondas
ETSI Telecomunicación. Universidad de Cantabria. 39005 Santander
E-mail: artal@dicom.unican.es

ABSTRACT

The Planck satellite is a mission of the European Space Agency due to be launched in 2007 to map the anisotropies in the Cosmic Microwave Background radiation [1]. These anisotropies hold the answers to many questions in cosmology. Planck receivers are specifically designed to detect microwaves at frequencies in the range between 30 and 850 GHz. Two different instruments are under development to cover low and high frequency channels. The Low Frequency Instrument (LFI) will take measurements in four channels, from 30 to 100 GHz, based on differential radiometers using broadband very low noise amplifiers and direct detection. The Front End amplifiers are cooled at 20 K and the Back End amplifiers are at high temperature. The LFI radiometer system will have a total number of 46 receivers. The Back End Modules at 30 and 44 GHz are in development in Spain, using MMIC amplifiers and Schottky diode detectors. At present the Qualified Model units are under fabrication.

1. INTRODUCCIÓN

La misión científica Planck de la Agencia Europea del Espacio tiene como objetivo la puesta en órbita de un satélite con receptores de tipo radiómetro en las bandas entre 30 y 850 GHz. El satélite Planck tiene previsto su lanzamiento en el año 2007. Los receptores de más baja frecuencia están agrupados en el llamado "instrumento de baja frecuencia" (LFI) y cubren las bandas de 30 a 100 GHz. Están basados en amplificadores de muy bajo ruido y banda ancha seguidos por una detección directa con diodo Schottky. Los amplificadores del cabezal de RF están enfriados a 20 K mientras que los amplificadores de los módulos posteriores operarán a una alta temperatura (alrededor de 318 K). Los módulos posteriores a 30 y 44 GHz se desarrollan en España, usando amplificadores MMIC y detectores a diodo Schottky. Actualmente se están fabricando las unidades de los Modelos de Calificación.

1.1. Datos del satélite Planck.

El satélite Planck se lanzará de forma compartida con el satélite Herschel en una misión conjunta con la lanzadera europea Ariane V. Los dos satélites se separarán después del lanzamiento y ocuparán órbitas diferentes. Planck estará en órbita de Lissajous

alrededor del punto Lagrangiano 2 del sistema Sol-Tierra-Luna, situado a unos 1,5 millones de kilómetros de la Tierra: aproximadamente 4 veces la distancia de la Tierra a la Luna. Este punto se ha elegido para minimizar las contribuciones de fuentes de radiación potentes, como la Tierra, el Sol o la Luna, que podrían interferir con sus emisiones e impedir la recepción de la señal de radiación cósmica del fondo de microondas.

El satélite Planck girará sobre sí mismo lentamente dando una rotación por minuto, observando con cada vuelta una parte del cielo. De esta forma en 15 meses habrá barrido todo el cielo dos veces. La Figura 1 muestra esquemáticamente el sistema de la antena del radiotelescopio de Planck. Es de tipo gregoriano con un gran reflector primario de 1,5 m de diámetro. El eje óptico del reflector primario está desplazado respecto al eje de rotación. El ancho de haz es de decenas de arco minuto y define el número de píxeles de las imágenes obtenidas en cada frecuencia.

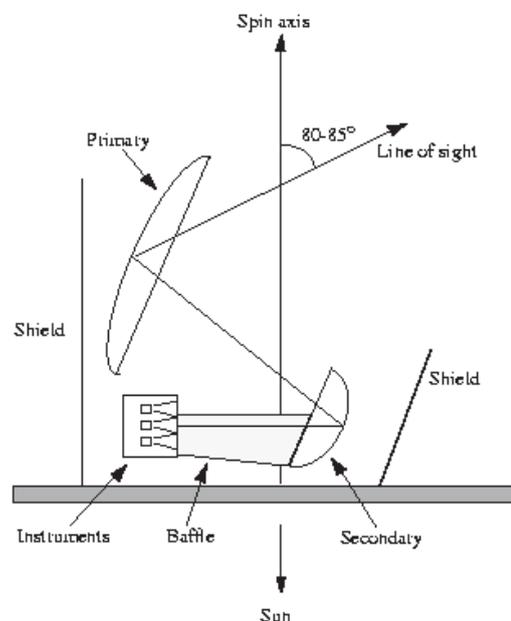


Figura 1. Sistema de antena de Planck

El satélite operará de forma completamente automática y descargará los datos adquiridos cada día hacia la estación terrena de la ESA, en Perth (Australia) en un periodo de tres horas.

Los instrumentos de Planck son de dos tipos: el instrumento de alta frecuencia (HFI) recibirá señales en 6 bandas entre 100 y 857 GHz utilizando bolómetros muy sensibles enfriados a 0.1 K. El instrumento de baja frecuencia (LFI) recibirá señales en las bandas de 30, 44, 70 y 100 GHz utilizando amplificadores de muy bajo ruido con transistores HEMT de InP, enfriados a 20 K. El instrumento HFI ocupa el centro del plano focal mientras que los frontales de RF de los receptores del LFI están rodeando a aquel. Las Figuras 2 y 3 muestran la distribución de las bocinas de los frontales del LFI y una vista general del HFI.

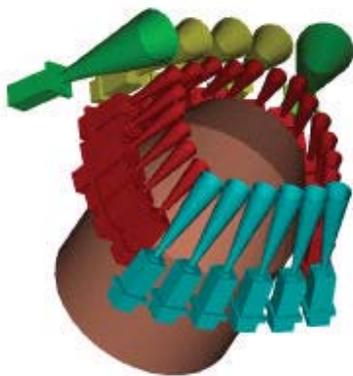


Figura 2. Distribución de las bocinas del LFI.

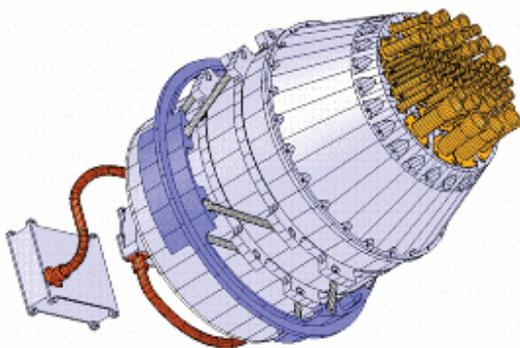
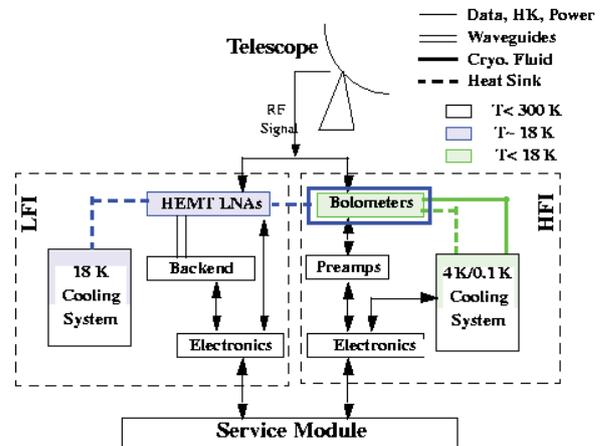


Figura 3. Vista general del instrumento HFI.

Todos los receptores de Planck son de detección directa, es decir sin pasar por etapas de frecuencia intermedia, y de banda ancha para conseguir la máxima potencia recibida posible y por tanto la máxima sensibilidad. El esquema general de los receptores de Planck se muestra en la Figura 4. Las primeras etapas de ambos instrumentos están enfriadas criogénicamente, mientras que las etapas posteriores operan a temperaturas cercanas a la 300 K. Las

señales convenientemente amplificadas y detectadas se procesan previamente a ser entregadas al módulo de servicio, que las enviará a la Tierra.



LFI=Low Frequency Instrument HFI=High Frequency Instrument

Figura 4. Esquema de los receptores de Planck.

2. RADIÓMETROS DEL INSTRUMENTO DE BAJA FRECUENCIA.

Los radiómetros del instrumento LFI, aunque serán de una gran sensibilidad, introducirán una gran cantidad de ruido al amplificar y detectar las señales debilísimas de la radiación de fondo recibidas. Este ruido añadido se podrá eliminar mediante procesamiento posterior en Tierra de las señales en bruto almacenadas en el satélite y enviadas desde el módulo de servicio. Básicamente el procesamiento consiste en hacer muchos promedios de las señales recibidas desde cada punto concreto del cielo, para eliminar el ruido añadido cuyo valor medio es nulo. Para poder alcanzar la sensibilidad requerida es preciso tener receptores repetidos para cada banda de frecuencia. Por otra parte se pretende obtener datos de la polarización electromagnética de las señales del fondo cósmico. Para ello desde cada bocina receptora se separarán las dos polarizaciones mediante un ortomodo, siendo el número de receptores el doble que el de bocinas. La Tabla I indica los objetivos más relevantes de los radiómetros del instrumento LFI.

Frecuencia central (GHz)	30	44	70	100
Ancho de banda (%)	20	20	20	20
Número de bocinas	2	3	6	17
Número de radiómetros	4	6	12	34
Resolución angular (arcmin)	33	23	14	10
Temperatura de ruido T_{sys} (K)	10.3	14.5	22.0	35.6
Sensibilidad por Pixel (μ K)	5.7	7.8	10.6	12.1

Tabla I. Objetivos de los radiómetros Planck-LFI

Los objetivos de la Tabla I son los previstos para operación de los receptores enfriados a 20 K, con la temperatura de ruido del sistema T_{sys} que incluye la temperatura de antena del cielo. Cada pixel es un cuadrado cuyo lado corresponde a la anchura de haz entre puntos de -3 dB. Se suponen igualmente dos coberturas de todo el cielo. La resolución angular es más alta que la de cualquier otra misión que haya estudiado el fondo cósmico. La temperatura de ruido de los receptores es la más baja posible dada la tecnología actual de los transistores.

El diagrama de bloques del instrumento LFI se muestra en la Figura 5. El frontal de RF, denominado Front End Unit (FEU), contiene varias bocinas (Feed Horn = FH) para cada uno de los canales, frecuencias de 30, 44, 70 y 100 GHz. La señal recibida se separa en las dos polarizaciones mediante un divisor ortomodo (Ortomode Transducer = OMT). Los circuitos amplificadores están incluidos en el módulo frontal (Front End Module = FEM). Toda la unidad frontal (FEU) está enfriada a una temperatura de 20 K, gracias a un criostato (Sorption Cooler System = SCS) que estará alojado en el módulo de servicio del satélite.

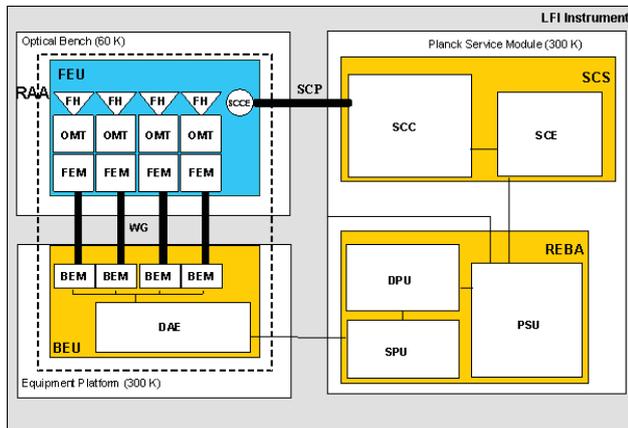


Figura 5. Diagrama de bloques del instrumento LFI.

Las señales amplificadas por el frontal de RF se envían mediante guías de onda rectangulares (Waveguides = WG), de una longitud aproximada de un metro, a la unidad posterior (Back End Unit = BEU), donde se vuelven a amplificar y se detectan mediante los módulos posteriores (Back End Modules = BEM). Las señales detectadas se digitalizan mediante la unidad electrónica de adquisición (DAE=Data Acquisition Electronics). Los datos de la versión digitalizada de las señales se almacenan en las memorias de la caja electrónica del radiómetro (Radiometer Electronics Box Assembly = REBA). Estos datos se descargan periódicamente desde el satélite hacia la estación terrena de acuerdo a las operaciones de telemetría y telecontrol de la misión.

Dada la gran diferencia de temperatura existente entre el frontal de RF y los módulos posteriores, el satélite llevará unos anillos de aislamiento térmico para evitar que el calor de la unidad BEU se transmita hacia la FEU.

El satélite Planck tendrá un tamaño aproximado de 4 x 4,5 m y una masa de 1,5 toneladas. La fotografía de la Figura 6 muestra una maqueta a escala real del satélite.



Figura 6. Maqueta del satélite Planck

En la fotografía se distingue fácilmente el reflector primario (de color blanco) y el escudo protector (de color negro) que evitará la recepción de señales provenientes del Sol y de los planetas más cercanos.

3. MÓDULOS POSTERIORES A 30 Y 44 GHz.

La contribución española a la misión Planck consta del diseño y fabricación de los módulos posteriores (BEM) de 30 y 44 GHz, mediante un proyecto coordinado dirigido por la Universidad de Cantabria en el que participa la Universidad Politécnica de Cataluña. Por otra parte el Instituto de Astrofísica de Canarias se encarga del diseño y fabricación de la caja electrónica (REBA). En ambos casos se cuenta con la colaboración de la industria española del espacio, que se encarga de la fabricación de los Modelos de Calificación y de los Equipos de Vuelo.

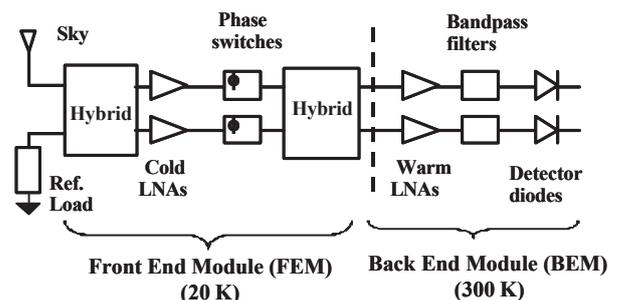


Figura 7. Esquema de un radiómetro de Planck.

La Figura 7 muestra el esquema de uno de los radiómetros de Planck. La estructura del radiómetro es diferencial, con dos ramas amplificadoras y detectoras [2]. Dicha estructura es especialmente útil para eliminar el ruido sistemático de baja frecuencia de espectro $1/f$. La cancelación de este ruido es totalmente necesaria para asegurar la viabilidad científica de la misión.

3.1. Demostradores y prototipos.

Se han diseñado y construido varios prototipos y demostradores de los módulos posteriores a 30 y 44 GHz. La primera versión del demostrador de 30 GHz se basó en amplificadores MMIC de la marca UMS (chip CHA2092A) y filtros paso banda de líneas acopladas realizados en sustrato de alúmina. La fotografía de la Figura 8 muestra la vista general del equipo desarrollado, que incorpora también los detectores y amplificadores de DC hechos en Barcelona.

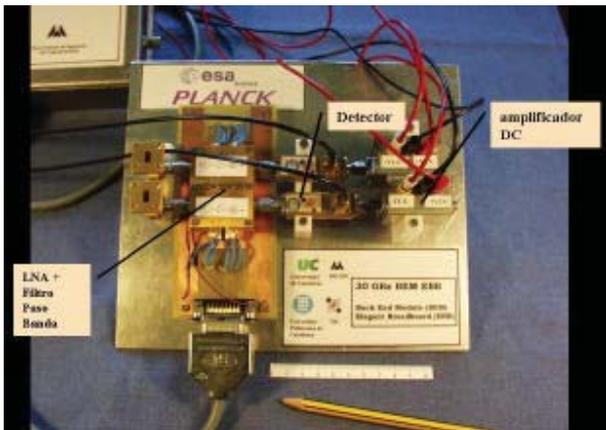


Figura 8. Demostrador del BEM de 30 GHz (versión 1)

Este equipo se integró en el año 2000 con el demostrador del frontal de RF en los laboratorios del Observatorio Radioastronómico de Jodrell Bank, situado en las cercanías de Manchester (Inglaterra). Se obtuvieron las primeras pruebas satisfactorias de operación del radiómetro y de cancelación del ruido 1/f. Posteriormente se desarrolló una segunda versión con amplificadores MMIC de Hittite (chips HMC 263), con una red de ecualización de la ganancia y nuevos detectores. Esta segunda versión se integró de nuevo con el demostrador del FEM en el verano del año 2001, obteniéndose mejoras en el ancho de banda del radiómetro. La Figura 9 contiene un detalle de las dos ramas amplificadoras y de filtrado del BEM de 30 GHz.

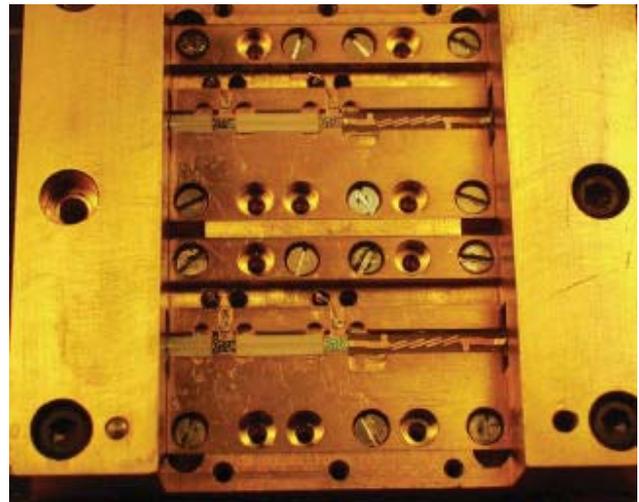


Figura 9. Interior del demostrador del BEM de 30 GHz

La respuesta de una de las ramas de este segundo demostrador se muestra en la Figura 10. La ganancia en la banda de interés es mayor de 30 dB. Los niveles de adaptación son aceptables.

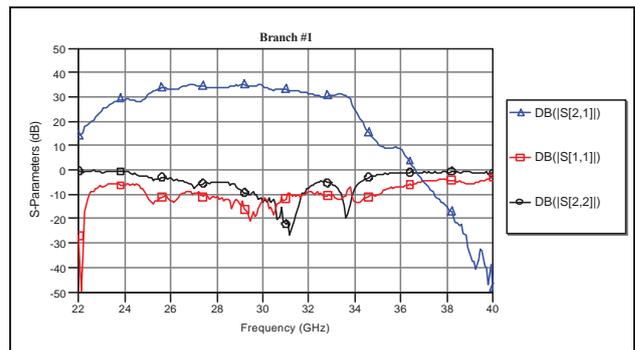


Figura 10. Ganancia y adaptaciones de RF en una rama del BEM de 30 GHz (versión 2).

Para el demostrador del BEM de 44 GHz se han diseñado amplificadores MMIC especiales para este proyecto [3], dado que no hay componentes comerciales que cubran la banda del 20% necesaria. Se ha montado y medido una rama amplificadora y de filtrado paso banda, obteniéndose la ganancia mostrada en la Figura 11.

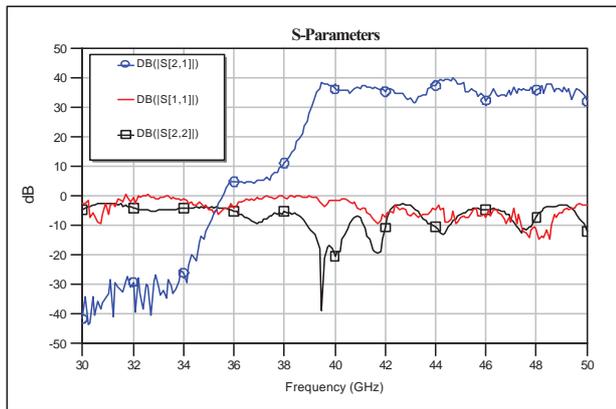


Figura 11. Ganancia y adaptaciones del demostrador de RF del BEM de 44 GHz.

La rama consta de dos MMIC conectados en cascada mediante una línea microstrip. La ganancia obtenida es mayor de 30 dB en la banda de interés. Al igual que en el caso de 30 GHz la entrada de la señal se hace en guía de onda rectangular utilizándose transiciones a microstrip mediante guía "ridge" escalonada. La adaptación de entrada no es buena al principio de la banda.

3.2. Montaje de los MMIC.

Los amplificadores MMIC tienen ganancias elevadas, más de 20 dB en cada uno, y se requiere un montaje cuidadoso para evitar oscilaciones de baja frecuencia debidas a las inherentes altas ganancias de los transistores. Para asegurar la estabilidad y a la vez proteger los transistores internos de los MMIC se han añadido redes de polarización que incorporan resistencias, condensadores y diodos. Para evitar realimentación entre ambos MMIC en la banda de trabajo, que puede producir oscilaciones, las líneas microstrip están encerradas por un contorno rectangular de tamaño reducido, de forma que se comporte como una guía en corte a todas las frecuencias. Las longitudes de los hilos de oro (bonding) de conexión de los MMIC son muy críticas y se han minimizado tanto como ha sido posible.

4. CONCLUSIONES

La misión Planck de la ESA tiene como objetivo la puesta en órbita de un satélite que contendrá radiómetros de banda ancha muy sensibles en las bandas de ondas milimétricas. Los módulos posteriores de los radiómetros de 30 y 44 GHz se están desarrollando en España, así como la caja electrónica que procesará los datos a enviar a la Tierra. En la fase actual se está iniciando la fabricación de los equipos de calificación y la validación de los radiómetros mediante medidas con demostradores.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido cofinanciado por la CICYT y la Comisión Europea (referencia 1FD97-1769-C04-02).

6. REFERENCIAS

- [1] Monica Salamone, Jan Tauber, "Planck: A mission to understand the origin and evolution of our Universe", Brochure No: BR-159, ESA Publications Division, July 2000. (Available at: <http://www.sci.esa.int>).
- [2] E. Artal, B. Aja, M.L. de la Fuente, C. Palacios, A. Mediavilla, J.P. Pascual, J. Portilla, "Demostrador del módulo posterior del radiómetro de 30 GHz de Planck". Actas del XVI Simposium Nacional de URSI, 2001, pags 15-16.
- [3] Aja B., de la Fuente L., Pascual J.P., Cryan M., Artal E., "Amplificadores MMIC de bajo ruido en la banda Q utilizando transistores de enriquecimiento y de deplexión". Comunicación a presentar en el XVII Simposium Nacional de URSI, Universidad de Alcalá, septiembre de 2002.