

Instrumentación para “Tenerife Microwave Spectrometer”

Autora: Paz Alonso Arias

Tesis doctoral dirigida por: Roger John Hoyland y José Alberto Rubiño Martín

Centro: Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) / Universidad de La Laguna (ULL)

Fecha de lectura: 3 de octubre de 2022

El interés por desentrañar la historia térmica del Universo, codificada en la distribución espectral del fondo cósmico de microondas (FCM), ha sido durante mucho tiempo una fuerza impulsora en la comunidad científica. Recientemente se han propuesto nuevas misiones espaciales para detectar distorsiones espectrales a alta frecuencia, aprovechando recientes avances tecnológicos que prometen sensibilidades muy elevadas (los últimos límites establecidos para las distorsiones son de $\sim < 10E-5$ en el rango de ondas centimétricas). Hasta disponer de estos resultados, los experimentos en tierra pueden ser pioneros en este campo, sirviendo como banco de pruebas para diferentes tecnologías y métodos novedosos y completando la información espectral del cielo de microondas. En este escenario, el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) propone y lidera el *Tenerife Microwave Spectrometer* (TMS), un experimento que tomará medidas absolutas de la emisión del cielo entre 10 y 20 GHz desde el Observatorio de Izaña (Tenerife).

Esta tesis se ha desarrollado en el contexto del experimento TMS y ha abordado principalmente el desarrollo instrumental de una selección de subsistemas clave, incluyendo el diseño y la caracterización de un calibrador interno de cuerpo negro, el diseño del sistema óptico del TMS y de sus filtros, y el diseño del transductor de modos ortogonales (OMT) y del acoplador híbrido de banda ultraancha.

En la primera parte de la tesis se ha simulado el funcionamiento del TMS en condiciones nominales, incluyendo predicciones realistas de la contaminación de cielo y atmósfera en la banda de interés. Hemos verificado nuestra capacidad para reconstruir la temperatura atmosférica y la resolución de características espectrales de hasta 0,6 mK mediante observaciones de tipo *skydip* de corta duración (10 min). También se ha verificado nuestra capacidad para medir el exceso de emisión detectado por el instrumento ARCADE, uno de los principales objetivos científicos de TMS. Se ha confirmado que para detectar esta radiación sin sesgos es necesaria una calibración y estimación diaria de la cantidad de vapor de agua de la atmósfera. La estrategia de observación propuesta incluye observaciones cortas de tipo *skydip*

antes y después de la operación en modo *raster*, para asegurar la correcta caracterización de la variación de la atmósfera.

En la parte central de la tesis, describimos el desarrollo y las pruebas del calibrador interno de cuerpo negro y el diseño del sistema óptico. La carga a 4K de TMS (4KCL) proporcionará una señal de referencia ultraestable para comparar con la señal del cielo. La carga fría consiste en un núcleo de aluminio, compuesto por una base y un lecho de elementos piramidales revestidos con un material absorbente, y un escudo metálico. Su diseño está optimizado para cumplir los estrictos requisitos de estabilidad y homogeneidad térmica, y de emisividad en la banda TMS, entre 10 y 20 GHz. Se han realizado mediciones de reflectividad especular y difusa de la carga en un rango de frecuencias extendido entre 8–24 GHz. La reflectividad especular es mucho mejor que el objetivo de diseño para la mayor parte de la banda de TMS (-40 dB). Se ha comprobado tanto la integridad mecánica frente al estrés térmico, como la homogeneidad térmica del diseño (gradiente de temperatura < 5 mK). Se ha presentado un diseño para el sistema óptico del TMS, maximizando su acoplamiento con el instrumento. El sistema final presenta dos espejos en configuración Gregoriana, e incluye la ventana del criostato (fabricada en UHMWPE) y un filtro de radiación infrarroja IR (en PTFE), así como las estructuras de soporte. Se han realizado mediciones de la reflectividad del prototipo de filtro IR, para verificar que cumple con las especificaciones requeridas ($RL < -25$ dB). Adicionalmente, hemos realizado simulaciones electromagnéticas para caracterizar el comportamiento del sistema, enfocándonos en la variación espectral del haz, la filtración en polarización y el análisis de la región de lóbulos laterales. En la banda de 10–20 GHz, el haz principal presenta menos de 2° , y la filtración de polarización es mejor que el 2,6 % para toda la banda. En la configuración actual, la contribución parásita al ángulo sólido total es menor que aproximadamente el 3,0 %. La estructura de soporte y la visión directa del cielo desde la bocina son los principales contribuyentes a la región de lóbulos laterales. Se ha confirmado la necesidad de una estructura de apantallamiento para minimizar estos lóbulos laterales por debajo del 0,1 % del ángulo sólido total.

Finalmente, se ha abordado el diseño del transductor de modos ortogonales (OMT) y del acoplador híbrido de 180° . El diseño del OMT se basa en la tecnología de guía de ondas de cuatro resaltes o *ridges*, y presenta una geometría altamente simétrica que permite el funcionamiento en todo el ancho de banda de operación del TMS (10–20 GHz). El diseño del OMT garantiza unas pérdidas de retorno (-25 dB), así como niveles de polarización cruzada (-60 dB) óptimas. Además, se garantiza un máximo rechazo de los modos de orden superior que se propagan en la bocina del TMS. El concepto del acoplador híbrido es un diseño frontera basado en el diseño del OMT que permite alcanzar una octava completa de ancho de banda con unas prestaciones en cuanto a adaptación (-25 dB), aislamiento (-60 dB) y rizado ($< 0,1$ dB) excepcionales. El diseño garantiza un mínimo desequilibrio de fase y amplitud de salida en toda la banda de TMS.

