

## Resumen de la tesis “*Thermal Diagnostics in the LISA Technology Package Experiment*”

*LISA Pathfinder (LPF)* [1] es una misión de la *ESA*, con contribuciones de la *NASA*, que tiene como objetivo poner a prueba las tecnologías necesarias para el correcto funcionamiento de la futura misión *LISA (Laser Interferometer Space Antena)*, propuesta como el primer detector espacial de ondas gravitacionales. La puesta en marcha de un detector de radiación gravitatoria en el espacio permitiría la observación del cielo gravitatorio en la banda del milihertzio donde éste es mucho más activo que en las frecuencias que actualmente observan los detectores terrestres, entre cuatro y seis órdenes de magnitud mayores. La misión *LPF* debe medir el movimiento geodésico de dos masas en caída libre en el interior de la nave, con resolución picométrica, mediante un sistema de interferometría láser y un sistema de control que permite mantener las masas centradas en el interior del satélite. El experimento que llevará a cabo esta medida en la misión *LPF* es el *LISA Technology Package (LTP)*.

El trabajo desarrollado en esta tesis se centra en el estudio del subsistema de diagnóstico térmico, que se incluye dentro del sistema de diagnóstico del satélite [2, 3], el cual tiene como misión el medir y caracterizar las perturbaciones térmicas a bordo del satélite a partir de las medidas proporcionadas por 22 sensores de temperatura conjuntamente con la información generada por 14 calentadores con los que se aplicarán pulsos controlados de temperatura.

El primer objetivo que se persiguió con el presente estudio fue la caracterización del sistema de adquisición de temperaturas mediante la construcción de un aislante térmico capaz de reducir las fluctuaciones térmicas en la banda del milihertzio. En esta tesis se ha propuesto un método analítico para encontrar la función de transferencia térmica (la relación entre fluctuaciones térmicas externas e internas) de un sólido en función de su geometría y propiedades materiales. La construcción del aislante diseñado según estos estudios ha corroborado la validez del modelo analítico mediante resultados experimentales [4, 5]. A su vez, este aislante ha permitido conseguir el nivel de estabilidad térmica requerido para testear el sistema de temperatura que volará en el satélite *LPF*, es decir  $S_T^{1/2} \leq 10^{-4} \text{ K}/\sqrt{\text{Hz}}$ . Las campañas experimentales han demostrado que el sistema de medidas térmicas cumple con los requerimientos científicos [9] y que por lo tanto el diseño está cualificado para su integración en el satélite.

En una segunda fase del trabajo, se han llevado a cabo medidas térmicas en los modelos de ingeniería del banco óptico del experimento *LTP*. Los resultados obtenidos han permitido determinar los valores de activación de los calentadores que forman parte del sistema térmico, así como también evaluar los efectos térmicos a los cuales el satélite será más sensible durante el período de operaciones [7]. Los resultados han permitido definir un sistema de activación óptimo de los calentadores, estableciendo los tiempos y las potencias requeridas para obtener una determinada relación señal/ruido térmica. Estos resultados forman parte en la actualidad de las especificaciones técnicas del satélite.

Finalmente, la campaña de medidas térmicas ha permitido un estudio detallado de la ventana óptica, la interfaz que separa la masa de test, en el interior de un tanque de vacío controlado, del banco óptico donde se genera la interferometría láser. En este caso, el estudio se ha centrado en la metodología de tratamiento de los datos térmicos y de como obtener la contribución al nivel de ruido del experimento proveniente de las fluctuaciones térmicas. La propuesta descrita en la tesis es la de modelar los datos térmicos mediante un modelo digital *ARMA (Auto Regressive Moving Average)*, el cual permite describir las modulaciones del láser atravesando la ventana, debido a efectos térmicos [6, 8]. Esta herramienta puede ser usada en otras localizaciones del satélite con finalidades de diagnóstico térmico y en la actualidad está siendo integrada en el paquete de software con el que se analizarán los datos del *LISA Pathfinder*.

En conclusión, la presente tesis aborda el problema del diagnóstico térmico en la detección de ondas gravitacionales en detectores espaciales abordando el problema desde diferentes aspectos: analítico, experimental y a partir de simulaciones, contribuyendo así con una visión coherente de aspectos diferentes del instrumento, a la vez que proponiendo soluciones concretas a problemas existentes. La tesis ha tenido su impacto en el desarrollo del satélite aportando directivas y metodologías concretas que se aplicarán durante la misión, y que tendrán repercusión en el futuro observatorio espacial *LISA*.

Se incluyen a continuación las publicaciones donde ha contribuido el autor, siendo las referencias [4, 5, 7, 8] trabajos directamente derivados de la presente tesis.

## References

- [1] S. Anza et al. The LTP experiment on the LISA Pathfinder mission. *Class. Quantum Grav.*, 22:S125–S138, 2005.
- [2] H. Araújo et al. LISA and LISA PathFinder, the endeavour to detect low frequency GWs. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 66:012003, 2007.
- [3] A. Lobo et al. In-flight diagnostics for LISA Pathfinder. *AIP Conf. Proc.*, 873:S171–S176, 2005.
- [4] A. Lobo, M. Nofrarias, J. Ramos, and J. Sanjuan. On-ground tests of LISA PathFinder thermal diagnostics system. *Class. Quantum Grav.*, 23:5177–5193, 2006.
- [5] A. Lobo, M. Nofrarias, and J. Sanjuan. LTP thermal diagnostics. *Class. Quantum Grav.*, 22:S171–S176, 2005.
- [6] A. F. G. Marín et al. Interferometric characterization of the Optical Window for LISA and LISA Pathfinder. *AIP Conf. Proc.*, 873:344–348, 2006.
- [7] M. Nofrarias, A. G. Marín, G. Heinzel, A. Lobo, J. Ramos-Castro, J. Sanjuan, and K. Danzmann. Thermal diagnostic test in the LTP experiment. *AIP Conf. Proc.*, 873:199–203, 2006.
- [8] M. Nofrarias, A. G. Marín, A. Lobo, G. Heinzel, J. Ramos-Castro, J. Sanjuan, and K. Danzmann. Thermal diagnostic of the Optical Window on board LISA Pathfinder. *Class. Quantum Grav.*, 24:5103–5121, 2007.
- [9] J. Sanjuan, A. Lobo, M. Nofrarias, J. Ramos-Castro, and P. Riu. Thermal diagnostics Front-End Electronics for LISA Pathfinder. *Rev. Sci. Instr.*, 78:104904, 2007.