

## Capítulo 2

# Material del telescopio

### 2.1. Fibra de carbono reforzado de plástico

La fibra de carbono reforzado de plástico (carbon-fiber reinforced plastic (CFRP)) es por sus cualidades termomecánicas el material elegido para la realización del telescopio de la Misión LISA. Los tubos realizados con este material son muy ligeros y poseen una gran dureza, rigidez y estabilidad térmica. Su composición junto con un delicado proceso de fabricación es capaz de determinar muy bien sus propiedades.

#### 2.1.1. Composición del CFRP

El CFRP de alta calidad está formado por fibras de carbono de poliacrilonitrilo (PAN) y una matriz polimérica de resina epoxy.

Las fibras son las encargadas de soportar la carga y proporcionar dureza, rigidez y estabilidad térmica al composite<sup>1</sup>.

La matriz une las fibras transfiriéndoles la carga. Proporciona rigidez y forma al todo, aislando a su vez las fibras y proporcionando protección contra ataques químicos y daños mecánicos [9].

#### 2.1.2. Características

La fibra de carbono reforzada de plástico [9, 10, 11, 12] posee las siguientes características:

- rigidez extremadamente alta con poca masa,
- alta estabilidad termomecánica,
- alta durabilidad y resistencia a la fatiga,
- conductividad térmica y eléctrica razonable,
- alta efectividad de apantallamiento contra interferencia electromagnética (EMI),

---

<sup>1</sup>materiales formados por uno o más constituyentes con el objetivo de obtener características mejoradas aprovechando las cualidades de estos. Se componen normalmente de una matriz y un refuerzo.

- coeficiente de expansión térmica ‘ajustable’.

## 2.2. El coeficiente de expansión térmica

Es de sobra conocido que los materiales cambian sus dimensiones con la temperatura. La estabilidad térmica en longitud de un material sólido se caracteriza mediante el coeficiente de expansión térmica (CTE) lineal, definido como,

$$CTE_l = \alpha = \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad [\text{K}^{-1}], \quad (2.1)$$

donde  $\Delta L/L$  representa la variación relativa en longitud cuando el material es expuesto a un cambio de temperatura  $\Delta T$ . Se expresa normalmente en unidades de microstrain por Kelvin [ $10^{-6}/\text{K}$ ]. El coeficiente de expansión térmica es específico del material y ligeramente dependiente de la temperatura.

La propiedad más interesante del CFRP es la posibilidad de definir su CTE en fabricación. Así, las fibras orgánicas usadas para reforzar la matriz, carbono, son anisotrópicas. Los polímeros se expanden igual en cualquier dirección, por tanto son isotrópicos. Las fibras orientadas, siendo más rígidas que la matriz, producen composites con una rigidez más alta en la dirección axial que en la transversal. De esta manera, la deformación termomecánica en la dirección axial de un tubo puede ser controlada combinando una fibra determinada de alta rigidez y coeficiente de expansión térmica negativo con una matriz con coeficiente de expansión térmica positivo.

Un tubo con coeficiente de expansión térmica teóricamente cero en la dirección axial puede fabricarse bajo esta premisa con un lay-up bien estudiado de los pliegues que lo conforman.

## 2.3. El lay-up de un tubo de CFRP

El lay-up de pliegues de un laminado o tubo de CFRP determina el número de pliegues de fibra y matriz y su orientación relativa (ver figura 2.1). A su vez se deben proporcionar el porcentaje volumétrico sobre el total de cada constituyente

Tabla 2.1: Propiedades de materiales sumamente estables usados en la industria aeroespacial. Una aleación metálica, un composite y un material vítreo. La estabilidad térmica se logra de la unión de dos componentes.

	<b>Invar36<sup>®</sup></b> [13]	<b>CFRP</b> [10]	<b>Zerodur<sup>™</sup></b> [14]
<b>Composición</b>	Fe(64)Ni(36)	fibras de PAN & resina epoxy	vítreo-cerámico
<b>Modulus [GPa]</b>	140-150	≈ 145	90
<b>Densidad [kg/m<sup>3</sup>]</b>	8000	≈ 2000	≈ 2500
<b>CTE [<math>\cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}</math>]</b>	≈ 1,8	-0,1 – 1,5	0,02 – 0,1

y el grosor de los pliegues para el proceso fabricación. Para un tubo la cantidad de material de cada pliegue en la sección debe ser constante. Asumiendo una variación radial de la temperatura, este hecho proporciona un comportamiento adecuado en la dirección axial bajo condiciones térmicas variables.

Con esto el equipo de Formulación de la Misión LISA llevó a cabo un estudio para fabricar un tubo de CFRP basado en un lay-up existente con un coeficiente de expansión térmica teóricamente cero ( $0 \pm 0,025 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ) en dirección axial [15]. El factor  $\pm 0,025 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  es consecuencia de las tolerancias de manufactura en el lay-up de  $\pm 0,5^\circ$  con una sensibilidad a tolerancia total en el ángulo de lay-up de  $\sim 0,05 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

La verificación experimental del valor de CTE teórico de dicho tubo ha sido el objetivo de este proyecto.

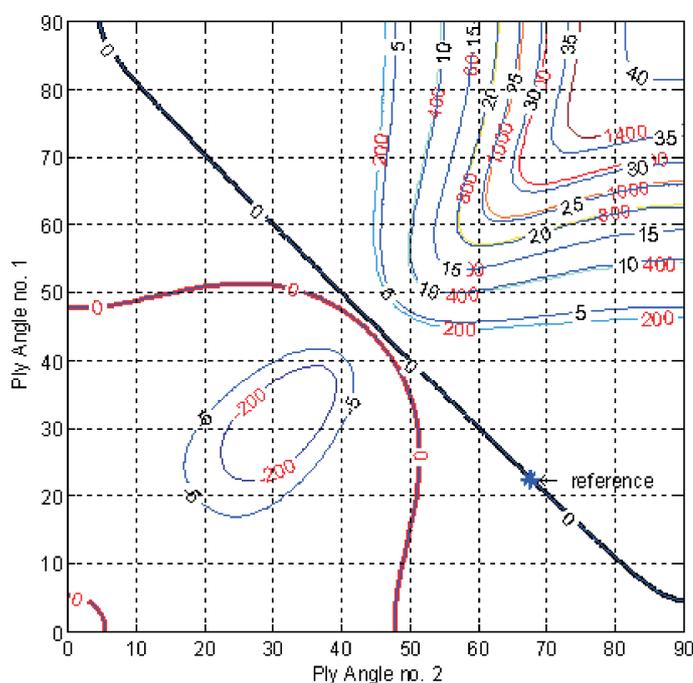


Figura 2.1: Ejemplo de un lay-up de pliegues para la fabricación de un tubo de CFRP. La línea negra representa un coeficiente de expansión térmica (CTE) cero.

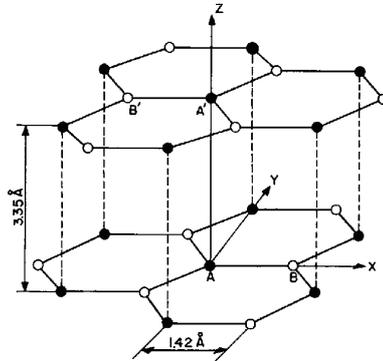


Figura 2.2: Estructura del cristal de grafito. Las capas hexagonales de carbono están alineadas en paralelo al eje de las fibras, proporcionando de esta manera una rigidez extremadamente alta [12].



Figura 2.3: Tubo de fibra de carbono reforzado de plástico y tubo de Zerodur™ de clase cero. Tubos sumamente estables térmicamente diseñados específicamente para la medida del coeficiente de expansión térmica usando el prototipo dilatómetro óptico con el que se ha trabajado en este proyecto.