

Resumen

La investigación realizada como parte de este doctorado industrial en *COMET Ingeniería* y la *Universitat Politècnica de València* aborda el problema crítico de las cargas vibroacústicas durante la fase de despegue de los lanzadores espaciales. Estas representan una amenaza para instrumentos delicados y la integridad de la carga de pago. El enfoque principal de la investigación es mejorar el comportamiento vibroacústico de los vehículos de lanzamiento mediante el desarrollo de tecnologías de mitigación y una metodología de predicción numérica. Se han identificado dos fases principales: predecir la generación y propagación del ruido aeroacústico y diseñar sistemas de mitigación del sonido.

El objetivo en la predicción aeroacústica es doble: abordar la predicción hasta ahora imprecisa de la carga acústica durante el lanzamiento y comprender los mecanismos que modifican el campo acústico. Las condiciones hostiles de este entorno limitan la medición a escala real del ruido emitido por un vehículo de lanzamiento. Por lo tanto, hemos propuesto un método numérico basado en el mismo conjunto de ecuaciones para resolver directamente la generación y propagación del ruido con Dinámica de Fluidos Computacional, CFD. La primera estrategia que proponemos es un modelo de *Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes*, URANS, basado en OpenFOAM que ofrece factibilidad computacional con la capacidad de calcular campos de flujo promediados en conjunto mientras retiene el término transitorio. La segunda estrategia es una *Large Eddy simulation*, LES, que proporciona mayor precisión en un código llamado DrNum desarrollado por enGits, diseñado para una eficiente computación con GPU.

El estudio simula el complejo entorno acústico durante el lanzamiento de un cohete VEGA con ambas estrategias. Los modelos CFD se han validado utilizando datos de lanzamientos reales, demostrando su eficacia en predecir ondas de choque, flujo turbulento y propagación del campo acústico. El estudio también explora el impacto de los deflectores en las

cargas acústicas, enfatizando la importancia de la elección y forma del deflector. Además del campo cercano del chorro del cohete, se estudia el campo de presión en la cofia como novedad en este trabajo.

Para la mitigación del ruido, la investigación se centra en metamateriales acústicos basados en resonadores de Helmholtz. Esta solución puede proporcionar una absorción casi perfecta dentro de la gama de sub-longitudes de onda y es totalmente sintonizable. El enfoque propuesto se basa en dos etapas para reducir el campo acústico que ingresa a la cofia. En primer lugar, se reduce el ruido a lo largo de la trayectoria de propagación en la plataforma de lanzamiento, lo que disminuye el ruido de banda ancha que se propaga hacia el carenado. En segundo lugar, se aumenta la TL de la carcasa del carenado, lo que reduce el SPL que ingresa al carenado, y se maximiza la absorción interna para atenuar la reverberación dentro del carenado. Se han realizado tres diseños de metamateriales: Rainbow Trapping Absorber (RTA) para la plataforma de lanzamiento, Single Resonator Absorber (SRA) para el carenado y Composite Honeycomb Absorber Resonator (CHAR) para aplicaciones multifuncionales en el carenado.

Campañas experimentales validan la eficacia de estos metamateriales en la reducción del ruido, con logros destacados en coeficientes de absorción y pérdida de transmisión. La combinación de RTA y SRA en el lanzador VEGA resultaría en una reducción del Nivel de Presión Sonora General, OASPL, de 7.8 dB. Además, el CHAR ha sido diseñado para incorporar resonadores de Helmholtz en la estructura compuesta tipo sándwich de la cofia, con el objetivo de mejorar tanto las propiedades estructurales como la absorción de energía acústica al tiempo que proporciona un material ligero. Se exploran dos tipos de núcleos de panel (cuadrado y hexagonal), siendo el diseño hexagonal el más eficiente en términos de masa y rendimiento estructural.

Los hallazgos presentan una técnica innovadora de dos etapas para disminuir las cargas acústicas que llegan al carenado durante el despegue, reduciendo el riesgo de fallas técnicas. La solución propuesta supera a los materiales existentes de reducción de ruido, ofreciendo opciones de diseño personalizables adaptadas a entornos acústicos específicos. Además, los metamateriales exhiben una capacidad única para una absorción casi perfecta en frecuencias específicas, mostrando su potencial para aplicaciones prácticas en la industria aeroespacial.