



ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE MALLA EN INYECCIÓN DE REACTANTES EN MOTORES DE COMBUSTIÓN GIRATORIA

Mesh sensitivity analysis in reactant injection for rotary combustion engines

Carlos Manuel Fernández Moreno

Camilo Hernández Acevedo

Oscar Hernando Venegas Pereira

RESUMEN

Los motores de detonación rotativa representan una nueva generación de motores a reacción que aprovechan las ondas de detonación, en lugar de las de deflagración, dentro de la cámara de combustión; esto potencialmente incrementa tanto la eficiencia de propulsión como la eficiencia térmica. Con el objetivo de realizar un análisis de sensibilidad de malla en los fluidos involucrados en esta configuración de motor, se llevaron a cabo simulaciones utilizando diferentes tamaños de elementos en una malla estructurada. Posteriormente, se analizó el comportamiento de las principales variables fluidodinámicas con el fin de lograr una mejor caracterización del proceso. A partir de ello, se identificaron configuraciones que, para el fenómeno supersónico estudiado, mostraron un comportamiento consistente con lo reportado en la Referencias. Además, se destacaron algunas consideraciones clave durante las fases transitorias de operación de estos motores, tanto en la inyección de combustible como en la de oxidante hacia el combustor. Estas observaciones podrían sustentar futuras investigaciones orientadas a mejorar la estabilidad operativa, la cual constituye uno de los principales desafíos de esta tecnología.

PALABRAS CLAVE: detonación; turborreactor; propulsión; ondas de detonación; eficiencia térmica; ciclo termodinámico.

ABSTRACT

Rotating detonation engines represent a new generation of jet engines that utilize detonation waves—rather than deflagration waves—within the combustion chamber, potentially increasing both propulsion efficiency and thermal efficiency. In order to conduct a mesh sensitivity analysis of the fluids involved in this engine configuration, simulations were performed using different element sizes in a structured mesh. Subsequently, the behavior of the main fluid dynamic variables was analyzed to achieve a better characterization of the process. As a result, configurations were identified that, for the supersonic phenomenon under study, exhibited behavior consistent with findings reported in the literature. In addition, key considerations were highlighted during the transient operational phases of these engines, particularly in the injection of both fuel and oxidizer into the combustor. These observations could support future research aimed at improving operational stability, which remains one of the main challenges of this technology.

KEYWORDS: detonation, turbojet, propulsion, detonation waves, thermal efficiency, thermodynamic cycle.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta el objetivo de caracterizar el fenómeno de inyección de reactantes hacia una cámara de combustión en un motor de detonación giratoria, se realizará una caracterización detallada del proceso de inyección de cada uno de los reactantes. Para ello, se utilizarán diferentes configuraciones de malla con el fin de optimizar tanto el requerimiento computacional como la calidad de los resultados obtenidos, evaluando las principales variables físicas involucradas. Al modificar el mallado y estudiar la evolución del llenado de la cámara de combustión, no solo se definirá un mallado óptimo para las simulaciones posteriores, sino que además se caracterizarán los procesos transitorios y estables presentes durante la operación y el arranque de los motores de detonación giratoria. De este modo, se podrán sentar las bases para un sistema de control orientado a aumentar la estabilidad del combustor.

DESARROLLO TEMÁTICO

En la exploración del proyecto, se abordan tres ejes fundamentales que permiten comprender el comportamiento del sistema simulado: (a) la metodología empleada para llevar a cabo las simulaciones numéricas, (b) los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad de malla y de la evolución de las variables físicas principales, y (c) la comparación de dichos resultados, con el fin de evaluar el impacto del refinamiento de la malla sobre la precisión y estabilidad de las soluciones.

CONCLUSIONES

A través de un análisis de la literatura científica reciente, se identificaron varios aspectos clave que evidencian la relevancia y el potencial de los motores de detonación rotativa (RDE, por sus siglas en inglés) en el campo de la ingeniería aeroespacial, con aplicaciones tanto en propulsión comercial —utilizada actualmente en turbojets— como en exploración espacial y militar. Aunque esta tecnología aún es incipiente, ha sido objeto de investigación desde mediados del siglo XX. De acuerdo con los resultados preliminares presentados, sigue siendo una opción prometedora como alternativa de descarbonización, no solo por la posibilidad de utilizar combustibles sostenibles, sino también por la eficiencia en su utilización.

En este contexto, y considerando los resultados obtenidos en la inyección de cada una de las especies hacia una cámara de combustión anular, se recomienda el uso de mallas con elementos hexaédricos, estructurados y de alta calidad (en términos de skewness y ortogonalidad), de forma que se logre un equilibrio entre los recursos computacionales demandados y la calidad de los resultados. De manera preliminar, se sugiere utilizar elementos de malla con un tamaño de 0.5 mm, adecuados para las velocidades presentes en motores de detonación giratoria. Sin embargo, cuando se incorpora el proceso de combustión, las velocidades tienden a incrementarse y, en consecuencia, el tamaño de los elementos de malla debe reducirse para capturar adecuadamente los fenómenos físicos involucrados.

Las variables analizadas en este estudio —temperatura, velocidad y presión— sugieren un reto crítico durante la primera ignición del motor, en la cual podrían alcanzarse temperaturas inferiores a las necesarias para la condensación del vapor de agua en el aire y la fusión del agua. No obstante, una vez alcanzada una operación continua, estos riesgos tienden a mitigarse.



REFERENCIAS

- Armani Batista, M. R. (2020). Detonation wave interaction classifications in a rotating detonation rocket engine. AIAA Propulsion Energy Forum.
- Braun, E. M., Lu, F. K., Wilson, D. R., & Camberos, J. A. (2013). Airbreathing rotating detonation wave engine cycle analysis. *Aerospace Science and Technology*, 27, 201–208.
- Caleb Van Beck, V. R. (2024). NOx formation processes in rotating detonation engines. *Frontiers in Aerospace Engineering*.
- Daniel E. Paxson, A. N. (2017). Numerical and analytical assessment of a coupled rotating detonation engine and turbine experiment. NASA.
- Driscoll, R., Aghasi, P., George, A. S., & Gutmark, E. J. (2016). Three-dimensional, numerical investigation of reactant injection variation in a H₂/air rotating detonation engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 5162–5175. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.01.116>