

On the influence of inlet geometry on turbocharger compressor noise

Ferran Roig Villanueva

Resumen

En la sociedad actual hay cada vez una mayor conciencia de la importancia del calentamiento global. Esta preocupación se ve reflejada por los poderes legislativos de las naciones occidentales en normativas de emisiones cada vez más restrictivas. En este contexto, la industria automovilística se ha visto fuertemente incentivada a desarrollar motores térmicos más eficientes e incluso a explorar nuevas soluciones propulsivas, como el motor eléctrico.

La tendencia adoptada para mejorar la eficiencia energética de los motores de combustión interna alternativos es la reducción del tamaño de los motores. Esto ha obligado a los compresores a trabajar en condiciones más extremas, en las que su emisión acústica llega a ser problemática. El problema de la respuesta acústica adquiere una mayor relevancia en el contexto de la competencia frente al coche eléctrico que es intrínsecamente más silencioso. Incluso los vehículos híbridos que incorporan motores térmicos para alimentar las baterías del motor eléctrico, presentan estos problemas de ruido del compresor, que siguen suponiendo una desventaja frente a los vehículos enteramente eléctricos. La emergencia de nuevas tecnologías como los drones, cuya presencia se incrementa rápidamente en los ámbitos urbano e industrial, refuerza el interés en las metodologías de análisis de las emisiones acústicas de las turbomáquinas.

La revisión bibliográfica llevada a cabo en esta tesis muestra que en las últimas dos décadas ha habido un gran auge de la investigación en acústica de compresores radiales de sobrealimentación. A pesar de los avances conseguidos, sigue sin haber consenso acerca de la causa de ciertas componentes del espectro, como los ruidos de banda ancha conocidos como *whoosh* y TCN. La influencia en el ruido de la geometría de los conductos de entrada al compresor está asimismo poco explorada. Esta tesis presenta una metodología computacional de análisis del campo de flujo que permite la identificación de las estructuras de flujo responsables de las componentes espectrales más relevantes, así como el análisis de la influencia en éstas de las condiciones de operación y las geometrías de entrada.

El campo de presión en el interior del compresor se analiza mediante técnicas de descomposición modal. Éstas permiten identificar patrones espaciales y asociarlos a las frecuencias del espectro medido de forma objetiva. Posteriormente se identifica las estructuras de flujo correspondientes a dichos patrones, y su evolución con las condiciones de operación y la geometría de entrada. Mediante la aplicación de la metodología descrita se describe los diferentes mecanismos

de generación de los ruidos tonales en el inductor y el borde de fuga del rotor. Mientras que el primero está relacionado con las condiciones sónicas en el borde de ataque, el segundo está excitado por el campo de presiones asimétrico en el difusor. En cuanto a los ruidos de banda ancha mencionados, los vórtices encontrados aguas arriba del inductor generan oscilaciones en la banda de frecuencias del *whoosh*, y favorecen el desprendimiento rotativo, que contribuye a dicho ruido en el difusor y la voluta. La carga no estacionaria sobre la superficie de los álabes es identificada como un importante contribuidor al ruido TCN.

La influencia de las condiciones de operación en la generación de ruido se manifiesta a través de la intensidad del flujo inverso en el inductor. La aparición de este flujo inverso es característica de los puntos de bajo gasto másico, aunque se sigue apreciando, con menor intensidad, en algunos puntos de alto gasto. El flujo inverso inhibe las condiciones sónicas en el borde de ataque, debilitando el ruido tonal a la frecuencia de paso de álabe. En cuanto a los ruidos de banda ancha, el flujo inverso es la causa de los vórtices en el inductor que producen el ruido *whoosh* y el despegue rotativo, y además promueve la carga no estacionaria de los álabes, asociada con el TCN.

El papel de la geometría del conducto de entrada en el ruido depende de su grado de interacción con los vórtices del inductor. En aquellas geometrías que limitan la extensión aguas arriba de los vórtices del inductor, como los codos con radio de curvatura reducido, tiene lugar una interacción intensa de los vórtices con las paredes del conducto y con otros vórtices. Ello está correlacionado con un aumento del ruido *whoosh*. Los conductos de entrada que están suficientemente separados de los vórtices, intervienen en el ruido solamente a través de sus propiedades de transmisión de las oscilaciones acústicas generadas en el rotor y el difusor.

Al final de la tesis se reflexiona sobre las contribuciones de los resultados expuestos al estado del arte de la investigación en el ruido de compresores. Además, se propone nuevas líneas de investigación para extender la metodología presentada, y completar el conjunto de condiciones de funcionamiento y geometrías de entrada analizadas en este trabajo.

Lista de Publicaciones

Los siguientes artículos fueron publicados en el marco del trabajo de investigación realizado en la presente tesis.

1. Alberto Broatch, Jorge García-Tíscar, Ferran Roig, and Sidharath Sharma. “Dynamic mode decomposition of the acoustic field in radial compressor”. *Aerospace Science and Technology*, 2019.
2. Alberto Broatch, Xandra margot, Jorge García-Tíscar, and Ferran Roig. “Impact of simple surge-enhancing inlet geometries on the acoustic behavior of a turbocharger compressor”. *International Journal of Engine Research*, 2018.

3. Alberto Broatch, Santiago Ruiz, Jorge García-Tíscar, and Ferran Roig. “On the influence of inlet elbow radius on recirculating backflow, whoosh noise and efficiency in turbocharger compressors”. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2018.