



RESUMEN

En los turbocompresores con turbina de geometría variable (VGT por sus siglas en inglés) los vanos del estator se mueven a una posición cerrada para generar una contrapresión durante el modo de frenado del motor. De este modo, se generan ondas de choque en el estator. Además, en otras aplicaciones donde se utilizan turbinas radiales como en ciclos reversos de Brayton para refrigeración, ciclos orgánicos Rankine, y en las turbinas para la unidad de potencia auxiliar, dependiendo de las condiciones de operación, pueden aparecer condiciones sónicas y ondas de choque.

El presente trabajo se centra en el estudio del comportamiento del flujo a través de una turbina de geometría variable de un turbocompresor comercial en condiciones fuera de diseño alcanzando condiciones de choque. Se ha realizado un análisis detallado del patrón de flujo dentro de la turbina usando simulaciones CFD, identificando y cuantificando los fenómenos más importantes bajo diferentes condiciones de operación. Se han llevado a cabo simulaciones estacionarias usando Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) y no estacionarias (unsteady RANS) para obtener las características del flujo en el estator y en el rotor, además de obtener el mapa de la turbina.

Los resultados CFD muestran que la región del dominio computacional donde aparecen las condiciones sónicas depende de la posición de los vanos del estator y la relación de presiones. Cuando los vanos del estator están en una posición cerrada (10% VGT), el fluido se acelera y, dependiendo de la relación de presiones, la presión estática en el lado de succión disminuye hasta cierto punto donde un incremento repentino revela la presencia de una onda de choque, la cual se expande por el espacio sin vanos. La intensidad de la onda de choque bajo la relación de presiones más altas varía con la velocidad de giro.

Para analizar la interacción entre el rotor y el estator se llevaron a cabo simulaciones numéricas con los vanos del estator en una posición cerrada, 10% VGT, y en una posición más abierta, 30% VGT. El número de choques que una partícula del fluido experimenta aguas arriba del rotor está correlacionado con las pérdidas por choque del fluido. Cerca de los vanos del estator, las pérdidas de presión son altas, hacia el centro del espacio sin vanos las pérdidas disminuyen y cerca del rotor empiezan a incrementar. La interacción entre el rotor y el estator crea ondas de choque cuya intensidad depende de la posición del borde de ataque del rotor y de la velocidad de giro. A la velocidad de giro más alta, ocurren fluctuaciones en la carga cerca del borde de ataque, las cuales pueden comprometer la integridad de la pala.

Cuando la turbina tiene los vanos del estator abiertos (80% VGT) y opera a la relación de presión más alta seleccionada, las condiciones de choque aparecen en el plano del borde de fuga del rotor. Además, el desarrollo del área chocada depende de la velocidad de giro y de las fugas en la punta del álabe. Así, se investigó los efectos de las fugas en la punta del alabe sobre el flujo principal bajo condiciones sónicas disminuyendo e incrementando el intersticio entre la punta del álabe y la carcasa hasta un 50% en base a la geometría dada por el fabricante. El flujo a través de este espacio se acelera para posteriormente mezclarse con el flujo principal y generar un vórtice. Los efectos del vórtice sobre el flujo en el plano ubicado en el borde de fuga del rotor cuando el intersticio varía son más significativos a altas velocidades que a bajas velocidades. El vórtice permanece más cerca del lado de succión a altas velocidades generando una región



subsónica que incrementa con la altura del intersticio. Las fugas en la punta del álabe no afectan al flujo principal cerca del cubo cuando la turbina opera a altas y bajas velocidades.

A parte de cambiar la geometría del rotor para analizar los efectos sobre las condiciones de choque, la superficie plana del lado de succión del vano del estator ha sido modificada para analizar el impacto de dos configuraciones usando ondulaciones sobre la superficie. Los resultados revelan que las ondulaciones afectan especialmente la eficiencia de la turbina a altas velocidades, generando un incremento entre 2 y 6 puntos de eficiencia. Además, las ondulaciones reducen la región supersónica sobre el lado de succión y disminuyen la intensidad de la onda de choque.

Finalmente se ha realizado un análisis exergético para cuantificar la energía disponible en cada región del dominio computacional cuando la turbina opera con los vanos en una posición cerrada y abierta a bajas y altas velocidades y relaciones de presiones. Los resultados ayudan a determinar en cual región se deben disminuir las pérdidas, encontrando que la mayor fracción de exergía estimada corresponde al rotor seguido del estator y el espacio sin vanos. Un análisis similar se ha llevado a cabo para comparar el impacto sobre el flujo cuando el estator tiene una superficie ondulada en lugar de una superficie plana. En los resultados destacan los casos a alta relación de presión y alta velocidad, donde las configuraciones con 5 y 11 ondulaciones presentan en el estator un incremento en la calidad de la energía de 8.2% y 15.9%, respectivamente. El cambio en la exergía en el espacio sin vanos presenta una caída del 23.0% y 40.2% para los casos de 5 y 11 ondulaciones respectivamente. Así, el trabajo normalizado del rotor incrementa 8.7% y 7.7% como consecuencia de la disminución de la intensidad de la onda de choque en el espacio sin vanos.