

Resumen

El transporte terrestre es uno de los principales contribuyentes a las emisiones y tiene un impacto en los cambios climáticos y los peligros para la salud. Para abordar estos problemas, la industria automotriz se está moviendo hacia la movilidad sostenible, donde se están evaluando nuevas tecnologías como vehículos híbridos y vehículos eléctricos. Sin embargo, dado la falta de competencia en alternativas libres de combustibles fósiles para la producción de electricidad, se está abordando la dependencia de motores de combustión interna (ICEs) para ser utilizados como extensores de autonomía y producción de electricidad. Estos extensores de autonomía son generalmente motores de dos tiempos. Debido a su diseño y rango de operación, estos ICE pueden ser compactos, tener una gran reducción de tamaño y producir menos emisiones. Por lo tanto, es esencial comprender el rendimiento de estos nuevos conceptos de ICE, mostrar beneficios potenciales y ayudar en mejoras adicionales.

Con el objetivo anterior en este trabajo de tesis, se evalúa un concepto de motor de dos tiempos de barrido uniflow. Se obtienen datos experimentales de una celda de prueba de motor utilizando dos disposiciones de escape, tres velocidades de motor y dos condiciones de carga. Se desarrolla y valida un modelo gasodinámico 1D con respecto a todos los puntos probados. Se modela una réplica en 3D del motor y se utiliza en una simulación CFD en 3D. Los resultados del modelo 1D validados fluidodinámicamente se utilizan como condiciones iniciales y de contorno para evaluar las métricas térmicas y de barrido de este motor en particular. Al comparar los resultados 1D y CFD, se observó que la temperatura y el cortocircuito de aire no se capturaron bien utilizando modelos de transferencia de calor y barrido de última generación durante el proceso de barrido. Esto llevó a la propuesta de un nuevo modelo de transferencia de calor y una curva sintética de barrido.

La transferencia de calor en el cilindro es un fenómeno que afecta la temperatura de los gases quemados y el aire fresco en un motor de combustión interna. En comparación con las unidades de cuatro tiempos, esta influencia es más crítica en los motores de dos tiempos durante el proceso de barrido, ya que el campo de velocidad del gas dentro del cilindro evoluciona rápidamente en el espacio y el tiempo. Este estudio propone un nuevo modelo de coeficiente de transferencia de calor convectivo más allá de aquellos basados en el cálculo del número de Reynolds con la velocidad media del pistón. El modelo utiliza ecuaciones semiempíricas con números adimensionales ya que debe integrar-

se en el marco de un modelo físico de motor, donde las propiedades termo y fluidodinámicas de los gases dentro del motor se resuelven mediante enfoques 0D o 1D. En esta aplicación particular, la desviación de temperatura llevó a una predicción deficiente de la masa atrapada en el cilindro. El coeficiente propuesto se calcula utilizando una pseudo-velocidad de los gases dentro del cilindro basada en las tasas de flujo de masa en los puertos de admisión y escape durante el barrido.

El barrido en un motor de dos tiempos presenta un proceso complejo, distinto del ciclo de cuatro tiempos, ya que los procesos de admisión y escape ocurren simultáneamente durante una parte significativa del período de intercambio de gases. Debido a esta naturaleza superpuesta y a la duración más corta del intercambio de gases en comparación con un motor de cuatro tiempos, modelar con precisión la dinámica de gas dentro del cilindro se vuelve crucial. Este proceso de modelado tiene como objetivo garantizar la retención efectiva de la carga fresca suministrada y la extracción eficiente de los gases residuales del ciclo de motor anterior durante la fase de intercambio de gases. Este modelado es particularmente crucial en motores avanzados de dos tiempos para obtener estimaciones confiables de la composición de la mezcla atrapada y predecir con precisión el rendimiento del motor.

Al comparar los resultados CFD en 3D con los datos 1D, el modelo 1D demostró solidez al capturar tanto los fenómenos de transferencia de calor como los dinámicos de gas durante el proceso de barrido. Además, se realiza un análisis de perspectiva comparando modelos de última generación con modelos propuestos para el rendimiento del motor, demostrando el potencial de los modelos propuestos. Al comparar el modelo propuesto de transferencia de calor con la correlación de transferencia de calor existente bajo condiciones iniciales de CFD similares, se observa que las correlaciones de última generación llevaron a una desviación máxima en la temperatura de 85 °C, lo que resultó en una desviación del 12 % en la masa atrapada. Por otro lado, el modelo propuesto de transferencia de calor mostró una desviación máxima de 25 °C en la temperatura y un error insignificante en la masa atrapada.

En un análisis de perspectiva bajo condiciones de combustión similares, comparando el modelo de transferencia de calor de Woschni y la correlación de transferencia de calor propuesta, se observaron diferencias en la masa atrapada de hasta el 6 %. Esto se tradujo en un enfriamiento adicional de los gases dentro del cilindro en casi 85 °C, lo que resultó en una diferencia del 12 % en el IMEP. Se realiza un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de las

constantes del modelo en la operación del motor. Estas constantes incluyeron tanto Woschni como la correlación de transferencia de calor propuesta durante el barrido. En este análisis, el coeficiente b (coeficiente de corrección de la correlación de transferencia de calor propuesta) se cambió en $\pm 50\%$ desde el valor medio, y el coeficiente a (coeficiente de corrección de la correlación de transferencia de calor de Woschni) se cambió en $\pm 42\%$. Los resultados mostraron que el coeficiente b tenía un impacto más significativo en la masa atrapada. Un barrido variando el coeficiente b y a un coeficiente a constante puede llevar a un cambio del 15% en la masa atrapada. Por otro lado, un barrido variando el coeficiente a y a un coeficiente b constante puede llevar a una diferencia máxima del 5% en la masa atrapada.

Para capturar con precisión el cortocircuito de aire, se propone un modelo de barrido sintético (SS). La curva SS consta de cuatro puntos característicos: el punto inicial, el punto de transición, el punto de anclaje y el punto objetivo. La curva SS calibrada se estudia para capturar con precisión el inicio y el pico del cortocircuito de aire. El punto de transición indica el inicio del cortocircuito, mientras que el punto de anclaje se calibra para alcanzar los picos del cortocircuito, que están influenciados por la velocidad del motor, la condición de carga y la configuración del escape. Por ejemplo, a 2000 RPM con una combustión similar, configuraciones de puerto y condiciones de carga, utilizando la disposición de escape config-1 resulta en un pico de cortocircuito de aire de 0.22 g, mientras que la disposición de escape config-2 proporciona 0.10 g de cortocircuito observado.

Se analiza el impacto de la disposición del colector de escape en el comportamiento del gas dentro del cilindro, centrándose en los pulsos de presión observados dentro del cilindro y el colector de escape, así como en la tasa de flujo de masa en el escape. Con la config-1, una mayor presión hacia adelante cerca del cierre del puerto de escape conduce a una mayor extracción de gas al final del proceso de barrido. Por otro lado, con la config-2, se extraen mayores gases de escape durante la fase de apertura del puerto, donde los gases de escape y la carga fresca no están perfectamente mezclados. Esto resulta en un menor cortocircuito de aire ayudado por una mayor presión de escape. El menor cortocircuito de aire, junto con una mayor masa atrapada y una relación aire-combustible constante, condujo a un aumento del 19% en el IMEP.

Se realiza un análisis de sensibilidad analizando todas las curvas SS calibradas y seleccionando condiciones de operación extremas (ExC1 y ExC2). Los resultados muestran que la masa atrapada se mejora en un promedio del

12 % al cambiar de ExC2 a ExC1. A lo largo de las condiciones de operación, se observa un cambio promedio del 16 % en la fracción de masa de aire, una reducción del 49 % en la fracción de masa de gas y una reducción del 35 % en el cortocircuito de aire. Esto resulta en un aumento promedio de 16 puntos en la eficiencia de barrido, 11 puntos en la eficiencia de trampa y 11 puntos en la eficiencia de carga.

Palabras clave: Motor de barrido uniflow; Extensores de autonomía; Transferencia de calor; Barrido; Motor de dos tiempos; Modelado termo-fluido.