

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS



DOCTORAL THESIS

ANALYSIS OF A STRATIFIED PRE-CHAMBER SPARK
IGNITION SYSTEM UNDER LEAN MIXTURE CONDITIONS

Presented by:
Vincenzo Pagano

Supervised by:
Dr. Joaquín de la Morena Borja

in fulfilment of the requirements for the degree of
Doctor of Philosophy

Valencia, June 2020

Ph.D. Thesis

ANALYSIS OF A STRATIFIED PRE-CHAMBER SPARK
IGNITION SYSTEM UNDER LEAN MIXTURE CONDITIONS

Written by: Mr. Vincenzo Pagano
Supervised by: Dr. Joaquín de la Morena Borja

Examination committee:

Chairman: Dr. Jesus Vicente Benajes Calvo
Secretary: Dr. Octavio Armas Vergel
Member: Dr. Hua Zhao

Reviewing board:

Dr. Rosario Ballesteros Yañez
Dr. Michele Bardi
Dr. Hua Zhao

Valencia, June 2020

Resumen

En el presente trabajo se realiza la caracterización del proceso de combustión dentro de un sistema de encendido por pre-cámara bajo carga estratificada. Por lo tanto, se presenta una extensa revisión bibliográfica sobre los sistemas de pre-cámara desarrollados desde la segunda mitad del siglo XX hasta los tiempos modernos. El resumen muestra que los sistemas de última generación tienen el potencial de cumplir con los límites de las emisiones, al tiempo que proporcionan un alto rendimiento y un bajo consumo de combustible. No obstante, todavía se necesitan muchos esfuerzos de la comunidad científica para permitir la difusión a gran escala de la tecnología. De hecho, sobre la base de los desafíos abiertos observados, se desarrolla el plan de investigación incluyendo tanto una parte experimental como numérica.

Todos los experimentos se realizan mediante la máquina de compresión-expansión rápida (RCEM) de que dispone el laboratorio CMT-Motores Térmicos. La disposición original de la culata se modificó para permitir el alojamiento de la propia pre-cámara, los inyectores, la bujía, los sensores de presión y un termopar. La metodología de ensayo implica la adquisición de la evolución de la presión tanto en cámara principal como en pre-cámara, el volumen del cilindro, la duración de la inyección auxiliar y el punto de ignición de la bujía. Estos se utilizan como parámetros de entrada para el modelo termodinámico cero-dimensional que devuelve los parámetros fundamentales que caracterizan ciclo de trabajo del sistema PCSI. Por lo tanto, se genera un conocimiento más profundo del proceso de intercambio de masas, del campo de turbulencias inducidas, de la tasa de liberación de calor, de la velocidad de combustión y del régimen de la llama.

Posteriormente, para calibrar los coeficientes del modelo cero-dimensional bajo condiciones de arrastre, se llevaron a cabo varias simulaciones CFD en 3D mediante el software Converge. Por lo tanto, los resultados de las simulaciones en términos de masa intercambiada y energía cinética turbulenta de la pre-cámara se han utilizado para calibrar el coeficiente de descarga de la tobera y los coeficientes del sub-modelo de turbulencia para todas las geometrías de la pre-cámara. Además, se analizan los resultados de las simulaciones CFD para comprender plenamente la estructura del campo de flujo y el efecto local inducido por las diferentes geometrías en el tiempo de activación de la chispa. La energía cinética turbulenta en términos de intensidad y orientación se investiga en varias secciones relevantes de la pre-cámara. Los resultados revelan una clara relación entre la turbulencia desarrollada dentro de la pre-cámara y la estructura de los orificios. Los orificios rectos o los chorros perpendiculares, promueven una turbulencia local más intensa debido a la colisión directa

mientras que los orificios inclinados del campo fluido y del dosado.

Precedentemente al desarrollo de la campaña experimental se evalúan varios aspectos fundamentales del sistema. La dispersión ciclo a ciclo se explora por medio de la evaluación estadística que muestra una baja desviación de los picos de presión. La presión y el punto de inyección auxiliar se optimizan para evitar los fenómenos de mojado de las paredes, asegurando al mismo tiempo una mezcla adecuada de aire/combustible. Finalmente, el punto de activación de la chispa se elige en función de la velocidad máxima teórica de la llama turbulenta.

De este modo, la campaña experimental se lleva a cabo de acuerdo con la matriz de pruebas, con el fin de evaluar el efecto del dosado equivalente de ambas cámaras, y cómo el diámetro, el número y la distribución de los orificios afectan al proceso de combustión. Además, las pruebas de visualización de quimioluminiscencia, realizadas mediante el acceso óptico disponible de la RCEM, se combinan con resultados de CFD y resultados del modelo cero-dimensional para arrojar luz sobre el ciclo de trabajo.

Las conclusiones sugieren que una mezcla ligeramente rica dentro de la pre-cámara combinada con el mayor número de orificios desfasados es la mejor configuración para garantizar una elevada eficiencia de la combustión en condiciones de mezcla pobre y ultra-pobre de la cámara principal. No obstante, los orificios axiales deben ser considerados para investigaciones futuras. Por último, el autor propone una serie de desarrollos considerados interesantes tanto en el campo experimental como en el numérico.