

## Resumen

La creciente preocupación por la contaminación y los problemas medioambientales y de salud, además de la limitada disponibilidad de combustibles fósiles unido a la gran demanda de automóviles y vehículos de transporte, han llevado a los gobiernos a regular los niveles de emisiones, incluyendo  $\text{CO}_2$ , que los motores de combustión emiten a la atmósfera. Además, existe un fuerte deseo y con ello numerosas propuestas de adoptar fuentes de energía renovables y más sostenibles, incluyendo la electrificación parcial (hibridación) o la electrificación total (BEV). Sin embargo, la sustitución de los combustibles líquidos derivados del petróleo como fuente primaria de energía no será llevada a cabo de forma fácil, rápida o rentable, y el transporte propulsado por motores de combustión interna (ICE) seguirá destacando en la industria durante los próximos años. La eficiencia de la combustión además del rendimiento del motor están fuertemente influenciados por el complejo proceso de inyección de combustible. Las estrategias de inyección directa de gasolina (GDI) tienen la capacidad de aumentar en gran medida el ahorro de combustible y cumplir con los requisitos de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero propuestos, aunque a día de hoy aún queda mucho potencial por descubrir. Por ello, este ha sido uno de los principales objetivos de investigación en los últimos años y, en consecuencia, de la presente Tesis.

Este trabajo de investigación tiene como motivación proporcionar a la comunidad científica un mejor entendimiento acerca de los fenómenos que tienen lugar durante el proceso de inyección directa de gasolina. La naturaleza transitoria de la inyección, junto con la complejidad de la dinámica del inyector, hace que el estudio experimental sea bastante complejo. La Mecánica de Fluidos Computacional (CFD) surge como una potente alternativa a los experimentos, la cual ha sido adoptada para esta investigación. Bajo este mismo contexto, se propone como objetivo principal de la presente Tesis, el desarrollo de una metodología predictiva capaz de ser aplicada a las actuales y futuras generaciones de inyectores GDI, independientemente de las características del inyector y del software empleado para el estudio, para la caracterización hidráulica del inyector en condiciones de operación estacionarias y transitorias. Una vez validada, el objetivo posterior es emplear los resultados obtenidos de esta metodología predictiva para analizar el comportamiento del flujo aguas abajo del inyector. La intención de este enfoque es seguir los pasos de la comunidad científica sustituyendo, en la medida de lo posible, la práctica experimental.

La validación de la mencionada metodología predictiva ha sido llevada a cabo mediante su aplicación en dos inyectores GDI solenoides multi-orificio con características muy diferentes entre sí. Por un lado, un inyector Del-

phi perteneciente a la conocida Engine Combustion Network (ECN) y denominado Spray G. Por otro lado, un inyector industrial Denso de aplicabilidad real denominado Production Injector Unit (PIU). No solo esto, sino que también, dicha metodología ha sido evaluada en varios contextos utilizando dos diferentes códigos CFD comerciales: CONVERGE™ y StarCCM+. La metodología predictiva se centra en el estudio del flujo interno y de campo cercano para caracterizar hidráulicamente el inyector. El problema a tratar se define en base a un sistema multifásico, llevado a cabo en un marco Euleriano y modelado considerando un único fluido. El tratamiento del flujo multifásico se realiza mediante el enfoque Volume-of-Fluid (VOF). Además, se emplea el Homogeneous Relaxation Model (HRM) para considerar el intercambio de masa entre las fases líquida y vapor dentro de la tobera debido a cavitación y flash boiling. El tratamiento de la turbulencia se ha llevado a cabo a partir de los enfoques Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) y Large Eddy Simulations (LES). Por otro lado, en cuanto al estudio del flujo externo, se ha adoptado uno de los esquemas más extendidos para el modelado del proceso de atomización, Discrete Droplet Model (DDM). Además, siendo conscientes de que el comportamiento de la atomización y del chorro están muy influenciados, entre otros factores, por la geometría de la tobera, la estrategia de acoplamiento del flujo interno y externo complementa los análisis. Para ello, se han adoptado enfoques de acoplamiento unidireccional y mapeado, utilizando como parámetros de entrada los datos de flujo interno obtenidos a partir de la mencionada metodología predictiva ya validada.

Así pues, esta Tesis aporta una nueva y valiosa metodología predictiva, la cual ha demostrado una elevada precisión a la hora de caracterizar el comportamiento de flujo durante el proceso de inyección a través de la comparativa con datos experimentales presentes en la literatura. Por otro lado, ha sido probado que es directamente transferible a distintos códigos de cálculo así como aplicable a inyectores con características geométricas dispares sin perjudicar las exigencias del modelo. La correcta caracterización del flujo interno ha permitido emplear los datos obtenidos para analizar el comportamiento del chorro aguas abajo del inyector lo que elimina la necesidad de emplear datos experimentales. Los resultados obtenidos de este estudio capturan el comportamiento macroscópico del chorro con una precisión comparable a los experimentos bajo diferentes condiciones de operación. Aunque todavía hay muchos retos que afrontar, en general, la presente Tesis supone un gran avance en el campo del GDI. El remarcable progreso se debe al desarrollo y uso de una metodología totalmente predictiva, que permite prescindir de la mayoría de los experimentos para contribuir a una mayor y más amplia visión de la física del proceso de inyección.