
Índice general

Índice general	I
Índice de figuras	v
Índice de tablas	XIV
Lista de símbolos	XV
1 Planteamiento de la tesis	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Objetivos	4
1.4. Estructura de la tesis	4
Referencias	6
2 Fundamentos del proceso de inyección	13
2.1. Introducción	13
2.2. Sistemas de inyección diésel	14
2.2.1. Sistemas de inyección directa en motores diésel	15
2.2.2. El sistema <i>common-rail</i>	17
2.2.3. Inyectores <i>common-rail</i>	19
2.3. Flujo interno en toberas de inyección diésel	22
2.3.1. Toberas de inyección diésel	23
2.3.2. Características del flujo interno	26
2.3.3. Caracterización hidráulica	30
2.3.4. El fenómeno de la cavitación	35

2.3.5.	Estudios computacionales sobre el flujo interno en toberas diésel	40
2.4.	Chorro diésel	44
2.4.1.	El proceso de atomización	44
2.4.2.	El proceso de evaporación	51
2.4.3.	Características macroscópicas del chorro diésel	53
2.4.4.	Características microscópicas del chorro diésel	58
2.4.5.	Estudios computacionales del chorro diésel	61
2.5.	Gasóleo	66
2.5.1.	Contexto actual	66
2.5.2.	Propiedades físico-químicas del gasóleo	67
	Referencias	69
3	Técnicas experimentales	89
3.1.	Introducción	89
3.2.	Caracterización geométrica de las toberas	90
3.2.1.	Obtención del molde de silicona	90
3.2.2.	Visualización del molde mediante microscopía electrónica de barrido	91
3.3.	Caracterización hidráulica del flujo interno	93
3.3.1.	Medición de la tasa de inyección	93
3.3.2.	Medición del flujo de cantidad de movimiento	95
3.4.	Visualización del chorro diésel	97
3.4.1.	Instalación de alta presión y alta temperatura	97
3.4.2.	Técnica de Mie Scattering	99
3.4.3.	Técnica de Schlieren	100
3.4.4.	Procesado de las imágenes	102
	Referencias	103
4	Metodología computacional	107
4.1.	Introducción	107
4.2.	Ecuaciones de Navier-Stokes	108
4.2.1.	Ecuación de continuidad	108
4.2.2.	Ecuación de conservación del momento	109
4.2.3.	Ecuación de conservación de la energía	109
4.3.	Modelado de la turbulencia	110
4.4.	Modelado del chorro	111
4.4.1.	Ecuación de movimiento de las gotas	112
4.4.2.	Modelos de atomización	114
4.4.3.	Modelos de colisión y coalescencia	118

4.4.4.	Modelos de evaporación	122
4.4.5.	Modelos de dispersión turbulenta	123
4.5.	Refinamiento adaptativo de la malla	125
	Referencias	127
5	Análisis de resultados	131
5.1.	Introducción	131
5.2.	Análisis de resultados experimentales	132
5.2.1.	Caracterización geométrica de las toberas	133
5.2.2.	Caracterización hidráulica	135
5.2.3.	Visualización del chorro diésel	143
5.3.	Estudio computacional del flujo interno con CONVERGE . . .	151
5.3.1.	Estudio de independencia de la malla	152
5.3.2.	Validación del código en condiciones estacionarias . . .	154
5.3.3.	Simulación del transitorio: Ley de levantamiento de la aguja	154
5.3.4.	Resultado de la simulación del transitorio	156
5.3.5.	Evaluación de la velocidad de inyección en el transitorio de apertura y cierre	164
5.4.	Simulación del chorro diésel	166
5.4.1.	Dominio computacional	166
5.4.2.	Refinamiento de malla adaptativo (<i>AMR</i>)	168
5.4.3.	Sensibilidad a parámetros numéricos	171
5.4.4.	Sensibilidad a parámetros físicos del chorro	173
5.4.5.	Estudio estadístico	177
5.4.6.	Optimización	183
5.4.7.	Validación del proceso de optimización con otros inyec- tores y comparación	184
5.4.8.	Análisis de la variación del parámetro C_{RT}	186
	Referencias	189
6	Conclusiones y desarrollos futuros	191
6.1.	Conclusiones	191
6.2.	Desarrollos futuros	194
	Bibliografía	197
A	Apéndice	221
A.1.	Tasa de inyección - Comparación entre inyectores	221
A.2.	Flujo de cantidad de movimiento	231
A.3.	Visualización del chorro diésel	234

A.3.1. Bosch CRI2.18	234
A.3.2. Bosch CRI2.22	240
A.3.3. Delphi DFI4	244
A.4. Sensibilidad a parámetros numéricos	248
A.5. Sensibilidad a parámetros físicos del chorro	256
A.6. Diseño de experimentos y estudio de análisis de la varianza (ANOVA)	275
A.7. ANOVA	275
A.8. Diseño de experimentos	279
Referencias	280