

---

# Índice general

---

Índice general	xv
Índice de figuras	xix
Índice de tablas	xxviii
Lista de símbolos	xxxi
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Justificación y objetivos . . . . .	1
1.2. Antecedentes . . . . .	3
1.3. Sobre esta tesis . . . . .	4
Referencias . . . . .	7
<b>2 Fundamentos sobre el proceso de inyección Diesel</b>	<b>11</b>
2.1. Introducción . . . . .	11
2.2. Sistemas de inyección Diesel . . . . .	12
2.2.1. Sistemas de inyección directa en motores Diesel . . . . .	13
2.2.2. El sistema common-rail . . . . .	15
2.3. Características del flujo interno . . . . .	22
2.3.1. Geometría de una tobera de inyección . . . . .	22
2.3.2. Morfología del flujo en toberas de inyección . . . . .	25
2.3.3. La turbulencia en orificios de inyección Diesel . . . . .	26
2.3.4. Caracterización hidráulica . . . . .	28
2.4. El fenómeno de la cavitación . . . . .	32
2.4.1. Estudios experimentales . . . . .	35
2.4.2. Estudios computacionales . . . . .	52

2.5. El chorro Diesel . . . . .	57
2.5.1. El proceso de atomización . . . . .	58
2.5.2. Caracterización del chorro Diesel . . . . .	67
Referencias . . . . .	76
<b>3 Técnicas y equipos experimentales</b>	<b>89</b>
3.1. Introducción . . . . .	89
3.2. Toberas transparentes . . . . .	90
3.2.1. Tipos de toberas . . . . .	90
3.2.2. Ventajas y desventajas de usar toberas planas . . . . .	91
3.3. Maqueta de micro-visualización . . . . .	94
3.3.1. Sistema de visualización del flujo interno . . . . .	95
3.3.2. Requerimientos y selección de las ventanas . . . . .	96
3.3.3. Estudio de esfuerzos y deformaciones del sistema de vi- sualización . . . . .	101
3.3.4. Procedimiento de montaje . . . . .	113
3.4. Determinación de la geometría de toberas . . . . .	124
3.4.1. Parámetros geométricos caracterizados . . . . .	125
3.4.2. Validación de la técnica . . . . .	127
3.5. Visualización del flujo interno y del chorro Diesel . . . . .	128
3.5.1. Configuración óptica . . . . .	129
3.5.2. Visualización del flujo interno y a la salida de la tobera .	133
3.5.3. Procesado de las imágenes . . . . .	137
3.6. Medida del gasto másico en flujo continuo . . . . .	139
3.6.1. Principio físico de la medida . . . . .	139
3.7. Geometrías utilizadas y plan de trabajo . . . . .	140
3.7.1. Pruebas preliminares . . . . .	140
3.7.2. Modelos definitivos y plan de ensayos . . . . .	144
3.A. Anexo: Procedimiento de cálculo para el estudio de cargas . . .	146
3.A.1. Estanqueidad en la junta superior . . . . .	146
3.A.2. Estanqueidad entre las láminas y las ventanas . . . . .	152
3.B. Anexo: Metodología detallada para el procesado del contorno de las imágenes . . . . .	155
3.B.1. Algoritmo para la detección del contorno . . . . .	155
3.B.2. Parámetros obtenidos de la visualización inyectando en combustible . . . . .	156
3.B.3. Parámetros obtenidos de la visualización usando aire co- mo fluido de descarga . . . . .	157
Referencias . . . . .	158

---

<b>4</b>	<b>Influencia de la cavitación en el flujo interno</b>	<b>161</b>
4.1.	Introducción . . . . .	161
4.2.	Pérdidas de carga . . . . .	163
4.3.	Caracterización hidráulica en estado estacionario . . . . .	165
4.3.1.	Influencia de la geometría en el gasto másico . . . . .	167
4.3.2.	Influencia de la geometría en el coeficiente de descarga .	174
4.3.3.	Conclusiones . . . . .	190
4.4.	Visualización de la cavitación . . . . .	190
4.4.1.	Modelo para predecir el comportamiento de los números de cavitación críticos . . . . .	199
4.4.2.	Caracterización de la cavitación en el interior del orificio	206
4.4.3.	Conclusiones . . . . .	224
4.5.	Influencia del combustible en el flujo interno . . . . .	225
4.5.1.	Caracterización hidráulica . . . . .	227
4.5.2.	Visualización en atmósfera líquida . . . . .	233
4.6.	Conclusiones . . . . .	238
	Referencias . . . . .	242
<b>5</b>	<b>Estudio del chorro Diesel en los primeros milímetros</b>	<b>245</b>
5.1.	Introducción . . . . .	245
5.2.	Evaluación del proceso de atomización . . . . .	246
5.2.1.	Visualización del chorro inyectando en aire . . . . .	247
5.3.	Influencia de la geometría y la cavitación en el chorro Diesel estacionario . . . . .	253
5.3.1.	Efecto sobre el micro-ángulo de apertura . . . . .	255
5.3.2.	Longitud de la zona no perturbada . . . . .	264
5.4.	Conclusiones . . . . .	270
	Referencias . . . . .	273
<b>6</b>	<b>Conclusiones y desarrollos futuros</b>	<b>275</b>
6.1.	Conclusiones . . . . .	275
6.2.	Desarrollos futuros . . . . .	283
	<b>Bibliografía</b>	<b>285</b>