
Índice general

Índice general	I
Índice de figuras	V
Lista de símbolos	XI
1 Planteamiento de la tesis	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Sobre esta tesis	4
Bibliografía	5
2 El proceso de inyección	7
2.1. Introducción	7
2.2. Sistemas de inyección Diesel	7
2.2.1. Tipos de sistemas de inyección directa	10
2.2.2. El sistema Common Rail	13
2.3. El flujo interno en toberas de inyección	18
2.3.1. Geometría de un orificio de inyección	18
2.3.2. Características del flujo	19
2.3.3. Pérdidas de carga	21
2.3.4. El coeficiente de descarga	24
2.3.5. El fenómeno de la cavitación	26
2.3.6. Influencia de la geometría sobre el flujo interno	34
2.4. El chorro de inyección	38

2.4.1.	Regímenes de atomización	39
2.4.2.	Mecanismos de atomización de un chorro Diesel	40
2.4.3.	Parámetros característicos de los chorros Diesel	42
2.5.	Conclusiones	48
	Bibliografía	50
3	La medida del flujo de cantidad de movimiento	59
3.1.	Introducción	59
3.2.	Definición de flujo de cantidad de movimiento de un chorro	59
3.3.	Utilidad de la medida del $fCdM$	61
3.3.1.	Velocidad y área efectivas	62
3.3.2.	Coeficientes de flujo	63
3.4.	Técnicas experimentales de medida del $fCdM$	65
3.4.1.	Medida del $fCdM$ total del chorro	65
3.4.2.	Medida de la distribución de cantidad de movimiento dentro de un chorro	67
3.4.3.	Comentarios sobre ambas técnicas	71
3.5.	Principio de medida del $fCdM$	72
3.6.	Conclusiones	74
	Bibliografía	74
4	Diseño de la maqueta de $fCdM$	77
4.1.	Introducción	77
4.2.	Captador de $fCdM$	78
4.2.1.	Requerimientos	78
4.2.2.	Alternativas	79
4.2.3.	Adaptación del sensor de presión para medir fuerza	82
4.2.4.	Solución adoptada	86
4.3.	Proceso de calibración del captador de $fCdM$	86
4.4.	Diseño de la maqueta de $fCdM$	88
4.4.1.	Posicionamiento del inyector	89
4.4.2.	Posicionamiento del captador de $fCdM$	93
4.4.3.	Sistema de presurización de la maqueta	94
4.4.4.	Otros elementos de la maqueta	94
4.5.	Sistema de medida de $fCdM$	96
4.6.	Conclusiones	97
4.A.	Anexo: Método alternativo de calibración del captador de $fCdM$	97
	Bibliografía	99
5	Señal de $fCdM$. Análisis y acondicionamiento	101

5.1.	Introducción	101
5.2.	La señal de $fCdM$	101
5.2.1.	Fuentes de fluctuaciones y ruido	102
5.2.2.	La señal promediada	104
5.3.	Efecto de acumulación de la señal de $fCdM$	105
5.3.1.	Consideraciones teóricas	106
5.3.2.	Comprobación	108
5.3.3.	Corrección del fenómeno de acumulación de la señal . . .	109
5.4.	Validación de la técnica de medida de $fCdM$	112
5.4.1.	Variación de la distancia entre el sensor y la salida del orificio	112
5.4.2.	Estudio frente a las variaciones de presión	113
5.4.3.	Influencia de la densidad	114
5.5.	Efectos transitorios en la señal	115
5.5.1.	Efecto de acumulación de cantidad de movimiento . . .	115
5.5.2.	Impacto del frente del chorro	116
5.6.	Conclusiones	117
	Bibliografía	118
6	Técnicas Experimentales	121
6.1.	Introducción	121
6.2.	Determinación de la geometría de toberas	121
6.2.1.	Parámetros geométricos característicos de una tobera . .	125
6.2.2.	Validación de la técnica	127
6.3.	Medida de tasa de inyección. Tasímetro	128
6.3.1.	Base teórica del tasímetro de tubo largo	130
6.3.2.	Ajuste de la integral	131
6.3.3.	Fenómeno de acumulación en la medida de flujo másico	131
6.4.	Maqueta de visualización de chorros de inyección	131
6.4.1.	Procesado de las imágenes	135
6.5.	Conclusiones	137
	Bibliografía	137
7	Estudio del flujo interno en toberas de inyección	139
7.1.	Introducción	139
7.2.	Influencia del diámetro del orificio	140
7.2.1.	Resultados	141
7.2.2.	Análisis de los resultados	149
7.3.	Influencia de la convergencia del orificio. Estudio de la cavitación	152
7.3.1.	Resultados	155

7.3.2.	Análisis de la influencia de la convergencia y los efectos de la cavitación	166
7.4.	Conclusiones	167
7.A.	Anexo: Metodología de cálculo de los parámetros del flujo interno	168
7.A.1.	Determinación de las propiedades del combustible	169
7.A.2.	Eliminación del efecto de las presiones distintas en flujo másico y $fCdM$	171
7.B.	Anexo: Teoría de capa límite aplicada a orificios de inyección	172
	Bibliografía	173
8	Estudio del comportamiento del chorro de inyección	177
8.1.	Introducción	177
8.2.	Modelización de la penetración del chorro mediante el $fCdM$	178
8.3.	Toberas estudiadas y plan de ensayos	179
8.4.	Procesado de los ensayos de visualización	181
8.5.	Resultados obtenidos	181
8.5.1.	Resultados de penetración	181
8.5.2.	Resultados de ángulo de chorro	189
8.6.	Análisis del ángulo del chorro	192
8.6.1.	Correlaciones para el ángulo del chorro	195
8.7.	Análisis de la penetración del chorro	196
8.7.1.	Chorro desarrollado	197
8.7.2.	Inicio del chorro	201
8.7.3.	Tiempo de transición t_r entre la zona inicial y la zona desarrollada	203
8.8.	Conclusiones	203
	Bibliografía	206
9	Conclusiones y desarrollos futuros	209
9.1.	Conclusiones	209
9.2.	Desarrollos futuros	213
	Bibliografía	217
A	Resultados de geometría interna	231