

# Índice general

<b>1. Planteamiento de la Tesis</b>	<b>1</b>
1.1. Marco científico y tecnológico . . . . .	2
1.2. Antecedentes . . . . .	7
1.3. Objetivos . . . . .	9
1.4. Estructura . . . . .	9
Bibliografía del Capítulo . . . . .	14
<b>2. Emisiones y sistemas de control de contaminantes en MCIA</b>	<b>15</b>
2.1. Introducción . . . . .	17
2.1.1. Objetivos . . . . .	18
2.2. Regulaciones . . . . .	18
2.3. Emisiones contaminantes en MCIA . . . . .	19
2.3.1. Óxidos de nitrógeno . . . . .	20
2.3.2. Monóxido de carbono . . . . .	22
2.3.3. Hidrocarburos sin quemar . . . . .	24
2.3.4. Partículas . . . . .	25
2.3.4.1. Distribución de tamaño de partículas . . . . .	26
2.4. Sistemas de control de contaminantes en MCIA . . . . .	27
2.4.1. Sistemas para el control de la formación de emisiones en motores MEP . . . . .	28
2.4.2. Sistemas para el control de la formación de emisiones en motores MEC . . . . .	29
2.4.3. Sistemas de post-tratamiento de gases de escape . . . . .	30
2.4.3.1. Catalizadores de oxidación . . . . .	30
2.4.3.2. Catalizadores de tres vías . . . . .	33
2.4.4. Post-tratamiento para el control de NOx en mezclas pobres . . . . .	35
2.4.4.1. Catalizadores de reducción selectiva . . . . .	36
2.4.4.2. Trampas de óxidos de nitrógeno para mezclas pobres . . . . .	38
2.4.5. Post-tratamiento para el control de partículas . . . . .	40
Bibliografía del Capítulo . . . . .	54
<b>3. Trabajo experimental</b>	<b>55</b>
3.1. Introducción . . . . .	57
3.2. Instalación experimental . . . . .	57
3.2.1. Sala de ensayo y motores empleados . . . . .	57
3.2.1.1. Motor MEC de inyección directa . . . . .	58
3.2.1.2. Motor MEP de inyección directa . . . . .	61
3.2.2. Combustibles y lubricante empleados . . . . .	64

3.3.	Adquisición y registro de datos . . . . .	65
3.3.1.	Equipos de medida de parámetros de funcionamiento . . . . .	65
3.3.1.1.	Medida del gasto másico de aire . . . . .	65
3.3.1.2.	Medida del gasto másico de combustible . . . . .	65
3.3.1.3.	Medida de presión media y temperatura . . . . .	66
3.3.1.4.	Medida de la tasa de EGR . . . . .	66
3.3.2.	Equipos para la medida de emisiones contaminantes del gas de escape . . . . .	67
3.3.2.1.	Medida de compuestos gaseosos . . . . .	67
3.3.2.2.	Medida de opacidad . . . . .	70
3.3.2.3.	Medida del material particulado . . . . .	71
3.3.2.4.	Medida de la concentración numérica de partículas . . . . .	72
3.3.3.	Dispositivo para la medida de eficiencia en un sistema de post-tratamiento . . . . .	74
3.4.	Cálculos y procesamiento de datos para su análisis . . . . .	75
3.4.1.	Sincronización y ajuste temporal de las señales en condiciones dinámicas de operación . . . . .	75
3.4.2.	Cálculo de los índices de emisión de compuestos gaseosos . . . . .	77
3.4.2.1.	Corrección de los óxidos de nitrógeno por humedad ambiente. . . . .	78
3.4.2.2.	Corrección de los compuestos por secado de la muestra a analizar . . . . .	79
3.4.3.	Cálculo de los índices de emisión másica de hollín . . . . .	80
3.4.3.1.	Corrección de la masa de hollín por humedad ambiente . . . . .	81
3.4.4.	Cálculo de la eficiencia en un sistema de post-tratamiento . . . . .	81
3.4.5.	Separación de las diferentes modas de la concentración numérica de partículas total . . . . .	81
	Bibliografía del Capítulo . . . . .	85
<b>4.</b>	<b>Metodología para la medida de hollín <i>online</i></b> . . . . .	<b>87</b>
4.1.	Introducción . . . . .	88
4.1.1.	Objetivo . . . . .	89
4.2.	Metodología experimental . . . . .	90
4.2.1.	Técnicas ópticas y eléctricas para la medida de partículas . . . . .	92
4.2.2.	Plan de ensayos . . . . .	96
4.2.2.1.	Metodología de ensayos y estudio de la sensibilidad de la medida de concentración de hollín . . . . .	97
4.3.	Selección del ratio de dilución óptimo para la medida de la concentración de hollín . . . . .	98
4.3.1.	Medida de la concentración de hollín en condiciones dinámicas de operación . . . . .	101
4.4.	Correlaciones propuestas para la estimación del hollín en condiciones dinámicas de operación . . . . .	103
4.4.1.	Obtención de las correlaciones para motores MEC-Di . . . . .	104

4.4.1.1. Validación de las correlaciones para motores MEC-Di	107
4.4.2. Obtención de las correlaciones para motores MEP-Di	108
4.4.2.1. Validación de la correlación para motores MEP-Di	109
4.5. Conclusiones	111
Bibliografía del Capítulo	116
<b>5. Influencia de la arquitectura del sistema de post-tratamiento</b>	<b>117</b>
5.1. Introducción	119
5.1.1. Objetivo	120
5.2. Metodología experimental	121
5.2.1. Arquitecturas del sistema de post-tratamiento sujetas a ensayos	122
5.2.2. Plan de ensayos	123
5.3. Análisis de las emisiones contaminantes durante los modos de operación estacionarios	126
5.3.1. Emisión de compuestos gaseosos durante los modos de operación estacionarios	127
5.3.1.1. Óxidos de nitrógeno	127
5.3.1.2. Amoníaco, dióxido de azufre y oxido de dinitrogeno	129
5.3.1.3. Monóxido de carbono e hidrocarburos totales sin quemar	130
5.3.1.4. Hidrocarburos ligeros sin quemar	131
5.3.2. Emisión de partículas durante los modos de operación estacionarios	132
5.4. Análisis de las emisiones contaminantes durante el ciclo dinámico NEDC	137
5.4.1. Emisión de compuestos gaseosos durante el NEDC	137
5.4.1.1. Compuestos gaseosos regulados: Ciclo en condiciones “frías”.	137
5.4.1.2. Óxidos de nitrógeno durante el NEDC	139
5.4.1.3. Amoníaco, dióxido de azufre y oxido de dinitrogeno durante el NEDC	140
5.4.1.4. Hidrocarburos ligeros sin quemar durante el NEDC	141
5.4.2. Emisión de partículas durante el NEDC	143
5.5. Conclusiones	147
Bibliografía del Capítulo	153
<b>6. Análisis del comportamiento de la técnica de inyección de agua en el DPF</b>	<b>155</b>
6.1. Introducción	157
6.1.1. Objetivo	159
6.2. Metodología experimental	159
6.2.1. Características de la inyección de agua	160
6.2.2. Plan de ensayos	161
6.2.2.1. Metodología para la estabilización termofluidodinámica de los modos de operación estacionarios	163
6.3. Análisis de las emisiones contaminantes durante la inyección de agua	164

6.3.1.	Evaluación de la fracción volumétrica de agua . . . . .	165
6.3.2.	Evaluación de la concentración de compuestos gaseosos . . . . .	167
6.3.3.	Evaluación de la opacidad . . . . .	169
6.3.4.	Evaluación de la emisión de partículas . . . . .	170
6.4.	Análisis de la emisión de partículas y eficiencia de filtrado durante el proceso de carga del DPF . . . . .	172
6.4.1.	Evaluación de la eficiencia de filtrado durante el proceso de carga del DPF . . . . .	175
6.5.	Análisis de la emisión de partículas y eficiencia de filtrado del DPF durante los modos de operación estacionarios de carga parcial . . . . .	178
6.6.	Análisis de la influencia de las inyecciones de agua sobre la regeneración pasiva del DPF . . . . .	180
6.6.1.	Evaluación de la regeneración pasiva durante el proceso de carga del DPF . . . . .	180
6.6.2.	Evaluación de la regeneración pasiva durante el funcionamiento en modos de operación estacionarios de alta carga . . . . .	181
6.7.	Conclusiones . . . . .	185
	Bibliografía del Capítulo . . . . .	189
<b>7.</b>	<b>Influencia del sistema LP-EGR en las emisiones de un MEP-Di</b> . . . . .	<b>191</b>
7.1.	Introducción . . . . .	193
7.1.1.	Objetivo . . . . .	195
7.2.	Metodología experimental . . . . .	195
7.2.1.	Plan de ensayos . . . . .	196
7.2.1.1.	Metodología de ensayo para los modos de operación estacionarios . . . . .	199
7.3.	Análisis de las emisiones contaminantes durante los modos de operación estacionarios . . . . .	200
7.3.1.	Funcionamiento del motor . . . . .	200
7.3.2.	Emisión de compuestos gaseosos . . . . .	203
7.3.2.1.	Hidrocarburos totales sin quemar . . . . .	203
7.3.2.2.	Monóxido de carbono . . . . .	204
7.3.2.3.	Óxidos de nitrógeno . . . . .	205
7.3.3.	Evaluación de la eficiencia del sistema de post-tratamiento . . . . .	207
7.3.4.	Emisión de hollín . . . . .	209
7.3.5.	Emisión numérica de partículas . . . . .	212
7.4.	Análisis de las emisiones contaminantes durante el ciclo de homologación NEDC . . . . .	215
7.4.1.	Funcionamiento del motor . . . . .	215
7.4.2.	Emisión de compuestos gaseosos . . . . .	217
7.4.2.1.	Hidrocarburos totales sin quemar . . . . .	217
7.4.2.2.	Monóxido de carbono . . . . .	219
7.4.2.3.	Óxidos de nitrógeno . . . . .	220
7.4.3.	Emisión de hollín . . . . .	222

7.4.4. Emisión numérica de partículas . . . . .	223
7.5. Conclusiones . . . . .	226
Bibliografía del Capítulo . . . . .	234
<b>8. Conclusiones y trabajos futuros</b>	<b>235</b>
8.1. Introducción . . . . .	236
8.2. Principales conclusiones . . . . .	236
8.2.1. Desarrollo de correlaciones para la estimación del hollín en condiciones dinámicas de operación . . . . .	236
8.2.2. Uso de la configuración pre-turbo en sistemas de post-tratamiento en motores MEC-Di . . . . .	237
8.2.3. Aplicación de la técnica de inyección de agua pre-DPF . . . . .	238
8.2.4. Uso del sistema LP-EGR en motores MEP-Di . . . . .	238
8.3. Trabajos futuros . . . . .	239
8.4. Producción científica . . . . .	242
Bibliografía del Capítulo . . . . .	247
<b>Bibliografía general</b>	<b>249</b>