



TEMAS AVANZADOS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

F. Payri/J.M^a. Desantes

MODELADO FENOMENOLÓGICO DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN POR DIFUSIÓN DIESEL



CARLOS FENOLLOSA



EDITORIAL REVERTÉ

TEMAS AVANZADOS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

F. Payri/J.M^a. Desantes

MODELADO FENOMENOLÓGICO DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN POR DIFUSIÓN DIESEL

CARLOS FENOLLOSA

Dr. Ingeniero Industrial

Profesor Ayudante

Departamento de Tecnología, Universitat Jaume I



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



EDITORIAL REVERTÉ S.A.
www.reverte.com

Directores de la Serie

Francisco Payri González

Dr. Ingeniero Industrial

José María Desantes Fernández

Dr. Ingeniero Industrial

Catedráticos de Universidad
CMT – Motores Térmicos
Universidad Politécnica de Valencia

Modelado fenomenológico del proceso de combustión por difusión Diesel

Copyright © C. Fenollosa

Edición en papel:

© Editorial Reverté. S.A., 2005

ISBN: 978-84-291-4702-3

Edición en e-book:

© Editorial Reverté. S.A., 2020

ISBN: 978-84-291-9090-8

Propiedad de:

EDITORIAL REVERTÉ, S. A.

Loreto, 13-15, Local B

08029 Barcelona

Tel: (34) 93 419 33 36

e-mail: reverte@reverte.com

www.reverte.com

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos, queda rigurosamente prohibida sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas por las leyes.

Prefacio

La preocupación en torno a dos aspectos claves del sector del automóvil como son el consumo energético y la protección del medio ambiente han sido motivo de una intensa actividad científica. Fruto de este interés y en el marco de una serie de proyectos de colaboración con la empresa PSA - Peugeot Citroën, a la que desde aquí agradecemos su confianza, nace el trabajo que se presenta en esta monografía.

La labor plasmada en el presente documento se enmarca dentro de la línea de investigación sobre los motores Diesel de inyección directa del grupo CMT - Motores Térmicos. Dicha labor de investigación ha ido encaminada al desarrollo de un estudio teórico-experimental del proceso de combustión en motores Diesel de inyección directa, con objetivo de contribuir a una mejor comprensión de los fenómenos involucrados en dicho proceso.

Por último, es una satisfacción para mí presentar esta monografía que constituye el colofón a varios años de trabajo. Espero que, en la medida de lo posible, todo este trabajo sea de utilidad para aquellos a los que va dirigido este libro, tanto investigadores como profesionales de la automoción.

Jean Arrègle

Profesor Titular de Universidad

CMT – Motores Térmicos

Universidad Politécnica de Valencia

Índice General

1	Introducción	1
1.1	El estudio del proceso de combustión en motores Diesel	1
1.2	Sobre esta monografía	4
2	Descripción del proceso de combustión Diesel. Estado del arte	7
2.1	Descripción general del proceso de combustión Diesel	7
2.2	Descripción cualitativa del proceso de combustión por difusión	10
2.3	Descripción cuantitativa del proceso de combustión por difusión	15
2.3.1	Métodos de descripción detallada	17
2.3.1.1	Métodos de descripción multi-dimensionales .	17
2.3.1.2	Métodos de descripción cuasi-dimensionales . .	22
2.3.2	Métodos de descripción global	25
2.4	Síntesis y planteamiento	29
3	Fuentes de información experimental y teórica	35
3.1	Introducción	35
3.2	Fuentes de información experimental	36
3.2.1	Instalación experimental y parámetros medidos	36
3.2.2	Metodología y plan de trabajo	47
3.2.3	Modelo de diagnóstico de la combustión	48

3.3	Fuentes de información teórica	51
3.3.1	Teoría básica de los chorros gaseosos estacionarios . . .	52
3.3.2	Resultados de modelos CFD de chorros gaseosos pulsados	54
4	Relación entre ley de combustión y condiciones de funciona-	57
	miento	
4.1	Introducción	57
4.2	Metodología propuesta. Tiempo Aparente de Combustión (<i>ACT</i>)	58
4.3	Análisis de la fase de combustión por difusión cuasi-estacionaria	66
4.3.1	Análisis teórico <i>ACT</i> . Analogías con el chorro gaseoso estacionario	66
4.3.2	Confirmación estadística a partir de los ensayos experimentales	68
4.3.3	Síntesis y discusión	71
4.3.3.1	Efecto de la concentración de O_2	72
4.3.3.2	Efecto del swirl	73
4.3.3.3	Conclusión	79
4.4	Análisis del transitorio final de la combustión por difusión . . .	81
4.4.1	Introducción	81
4.4.2	Cálculo CFD de disipación de viscosidad efectiva en chorro	82
4.4.3	Velocidad equivalente y aplicación al modelo conceptual	87
4.5	Análisis del transitorio inicial de la combustión por difusión . .	88
4.5.1	Introducción	88
4.5.2	Cálculo CFD del comportamiento del transitorio de inicio de inyección	90
4.5.3	Corrección semi-empírica para englobamiento en el frente	92
4.6	Síntesis del análisis <i>ACT</i> de la combustión por difusión Diesel .	94

5 Validación y potencial del modelo conceptual propuesto	97
5.1 Introducción	97
5.2 Predicción de la ley de liberación de calor	98
5.3 Uso como herramienta de análisis. Aplicación a inyección múltiple	102
5.3.1 Metodología y ensayos experimentales	103
5.3.2 Efecto del uso de inyecciones múltiples sobre la ley de liberación de calor	106
5.4 Aplicación al modelado predictivo	108
6 Reflexiones finales	119
Bibliografía	121

Tabla de símbolos

Latinos

a	Constante
a	Velocidad del sonido
A	Sección
b	Constante
c	Constante
C	Constante
Ce	Coefficiente de englobamiento
d	Constante
D	Constante de disipación
D	Diámetro del cilindro
D_{bowl}	Diámetro máximo del bowl
f	Concentración de combustible
Fr	Dosado relativo
F	Coefficiente corrector para el transitorio inicial
h	Entalpía
I_{mezcla}	Intensidad de mezcla
I_{mando}	Corriente de mando del inyector
k	Energía cinética turbulenta
K	Constante ACT
L_b	Longitud de la biela
L_m	Longitud de la manivela
m	Masa
\dot{m}	Flujo másico
M	Constante de modulación de disipación
M_i	Masa de combustible inyectada hasta el instante considerado
M_u	Masa de combustible no preparada

n	Régimen de giro
P	Presión
P	Ratio de preparación de la mezcla
P_{bowl}	Profundidad máxima del bowl
P_{O_2}	Presión parcial del oxígeno
\dot{Q}	Flujo de calor
r	Posición radial
r	Relación de compresión
R	Constante universal de los gases
S	Carrera del pistón
t	Tiempo
T	Temperatura
T_{ad}	Temperatura adiabática de llama
u	Energía interna
u	Velocidad
V	Volumen
V_{bowl}	Volumen del bowl
x	Posición axial
Y_{O_2}	Concentración másica de oxígeno
z	Número de orificios de la tobera de inyección

Griegos

α	Ángulo de giro del cigüeñal
Δ	Incremento
ε	Disipación de la turbulencia
ϕ	Diámetro
μ	Viscosidad dinámica
ρ	Densidad

Subíndices y superíndices

0	Condiciones en la tobera de inyección
a	Aire, gas
adm	Condiciones en el colector de admisión
atm	Condiciones atmosféricas
bb	Blow-by
cil	Condiciones en el interior del cilindro

<i>e</i>	Condiciones de equilibrio químico
<i>eff</i>	Efectiva
<i>eq</i>	Equivalente
<i>f</i>	Fuel, combustible
<i>hp</i>	Alta presión (<i>high pressure</i>)
<i>i</i>	Elemento de combustible
<i>max</i>	Valor máximo de la variable
<i>m</i>	Mezcla de gases
<i>q</i>	Gases quemados
<i>sq</i>	Gases sin quemar
<i>ST</i>	Condiciones estequiométricas
<i>W</i>	Pared

Siglas

AAE	Avance a la Apertura del Escape
ACT	Tiempo aparente de combustión (<i>Apparent Combustion Time</i>)
cc	por Cilindro y Ciclo
CFD	Código de cálculo de mecánica de fluidos (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)
CO	Monóxido de carbono
dFQL	Derivada de la Fracción de Calor Liberado
DPMS	Después del Punto Muerto Superior
DI	Inyección directa (<i>Direct Injection</i>)
EGR	Gases de escape recirculados (<i>Exhaust Gas Recirculation</i>)
EOC	Final del proceso de combustión (<i>End Of Combustion</i>)
EOI	Final del proceso de inyección (<i>End Of Injection</i>)
FL	Longitud de llama (<i>Flame Length</i>)
FQL	Fracción de Calor Liberado
HC	Hidrocarburos sin quemar
IP	Presión de inyección (<i>Injection Pressure</i>)
NO _x	Óxidos de nitrógeno
PMI	Presión Media Indicada
PMS	Punto Muerto Superior
POC	Instante en el que se quema un elemento de combustible (<i>Point Of Combustion</i>)
POI	Instante en el que se inyecta un elemento de combustible (<i>Point Of Injection</i>)

RCA	Retraso al Cierre de la Admisión
rpm	Revoluciones por minuto
SOC	Inicio del proceso de combustión (<i>Start Of Combustion</i>)
SOI	Inicio del proceso de inyección (<i>Start Of Injection</i>)