

Natalia Fonseca¹, Jesús Casanova² y Esther Garrido¹

¹ Dept. de Energía y Combustibles, ETSIME UPM Madrid, e-mail: natalia.fonseca@upm.es

² Dept. de Ingeniería Energética, ETSII UPM Madrid, e-mail: jesus.casanova@upm.es

OBJETIVOS

- Estudiar los parámetros de combustión de diferentes combustibles en condiciones variables de dosado, relación de compresión y avance al encendido en un motor de encendido provocado CFR adaptado para investigación, con sistema de medida en entorno LABVIEW.
- Desarrollar y validar un modelo de simulación del motor CFR con el programa AVL BOOST.
- Desarrollar una metodología para la parametrización del comportamiento de los combustibles en las diferentes condiciones de trabajo usando STATGRAPHICS.

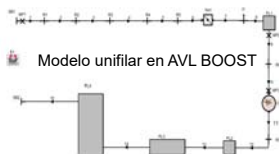
MONTAJE EXPERIMENTAL

- Motor C.F.R. Waukesha de medida de Número de Octano modificado para investigación.
- Velocidad constante con variador de frecuencia
- Sensor piezoeléctrico de presión en el cilindro
- Sensor de presión en conducto de admisión
- Caudalímetro instantáneo de aire de admisión
- Codificador angular de 100 pulsos/rev
- Inyección electrónica controlable
- Adquisición de datos computerizada con LABVIEW™

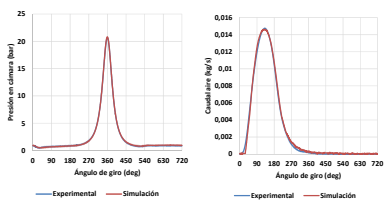


MODELO AVL BOOST

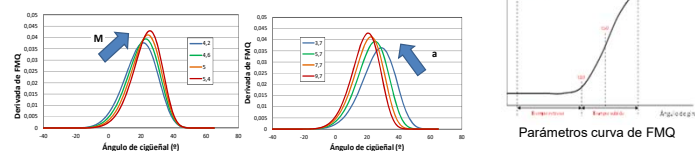
- Modelo unidimensional
- Combustión Ley de Vibe basada en medidas reales.
- Transferencia de calor en cilindro: Ley de Woschni
- Transferencia de calor en conductos: Modelo de Colburn
- Dimensiones y acabados superficiales reales
- Temperaturas superficiales medidas y/o estimadas



Propiedad.	Etanol	Gasolina 95
Fórmula empírica	C ₄ H ₁₀ O	Variable
R _m Molecular (g/mol)	46,07	111,239
PCI (kJ/kg)	26900	42500
Dosado estequiométrico	1/8,95	0,864
Masa C/masa total	0,5214	
Masa O/masa total	0,3472	
Coeficientes termodinámicos polinómiales (T=1000 K)		
a1 (-)	6,5624	26,0931
a2 (1/K)	0,0152	0,0317
a3 (1/K ²)	-5,389·10 ⁻⁶	-1,078·10 ⁻⁵
a4 (1/K ³)	8,6225·10 ⁻⁹	1,8653·10 ⁻⁸
a5 (1/K ⁴)	-5,1289·10 ⁻¹⁴	-9,5298·10 ⁻¹⁴
a6 (K)	-3267,79	-12839,54
a7 (-)	-9,473	-115,6514
Coeficientes termodinámicos polinómiales (T=1000 K)		
a1 (-)	4,858	-3,7498
a2 (1/K)	-0,00374	0,1054
a3 (1/K ²)	6,9555·10 ⁻⁵	-8,1278·10 ⁻⁵
a4 (1/K ³)	-8,8654·10 ⁻⁸	3,2627·10 ⁻⁸
a5 (1/K ⁴)	3,5168·10 ⁻¹¹	-5,3378·10 ⁻¹²
a6 (K)	-1738,30	-2913,94
a7 (-)	4,8018	43,1418

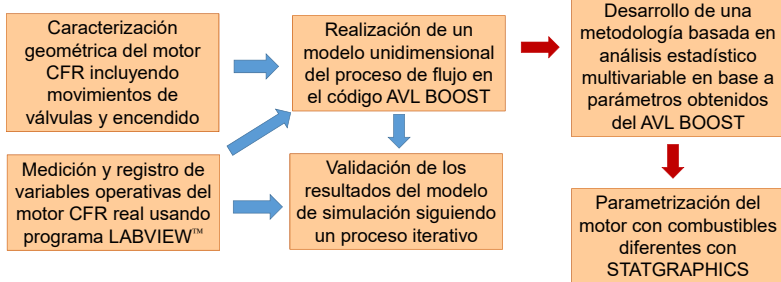


Presiones en cilindro y conducto de admisión



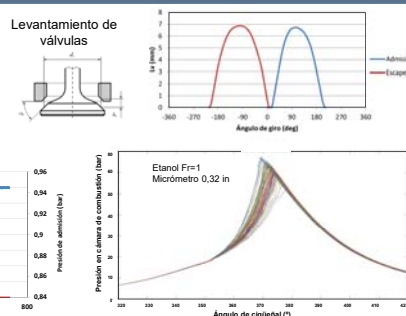
Ley de Vibe. Influencia de los parámetros m y a

METODOLOGÍA

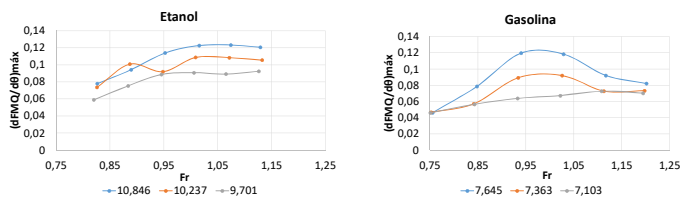


MEDICIONES

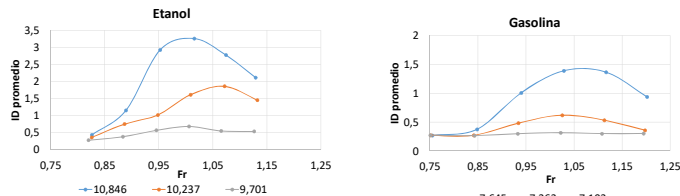
- Medición del levantamiento de las válvulas
- Presión de combustión – ángulo
- Presión en conducto de admisión
- Caudal de aire instantáneo
- Caudal de combustible (calibración del inyector)
- Temperaturas del gas



RESULTADOS:



Variación de la pendiente máxima de la curva FMQ en función del dosado relativo para distintas relaciones de compresión



Variación del índice de detonación promedio en función del dosado relativo para distintas relaciones de compresión

Parámetro	ETANOL	R ²
P _{máx}	= -88,2874 + 5,7832·Rc - 1,0296·Ae + 54,4278·Fr	99,57%
(dP/dθ) _{máx}	= -52,9648 + 1,03965·Rc - 0,0420221·Ae + 0,0022279·Ae ² - 81,8367·Fr - 37,8889·Fr ²	98,37%
θ ((dP/dθ) _{máx})	= 479,943 - 9,55889·Rc + 0,453308·Rc ² + 1,29647·Ae - 75,0808·Fr + 32,2152·Fr ²	99,54%
(dFMQ/dθ) _{máx}	= -0,854657 - 0,0163433·Rc + -0,00118377·Ae + 1,48001·Fr + -0,701304·Fr ²	95,54%
θ (dFMQ/dθ) _{máx}	= 447,99 - 1,33334·Rc + 1,37001·Ae - 78,788·Fr + 32,7036·Fr ²	99,39%
t10	= 410,128 - 1,54417·Rc + 1,14384·Ae - 31,4131·Fr + 11,3067·Fr ²	99,45%
t50	= 461,943 - 1,88831·Rc + 1,35253·Ae - 98,0029·Fr + 41,4501·Fr ²	99,55%
t90	= 550,452 - 3,16302·Rc + 1,5429·Ae - 227,922·Fr + 102,702·Fr ²	99,23%
Índice Detonación	= 1507,37 - 10,883·Rc + 0,361208·Rc ² + 0,000385014·Ae ² - 5929,46·Fr + 895,96·Fr ² - 6007,61·Fr ³ + 1498,22·Fr ⁴ + 4,95614·Rc·Fr	91,20%
Vibe Δbc	= 193,65 - 2,9959·Rc + 0,554404·Ae - 192,292·Fr + 85,2483·Fr ²	96,86%
Vibe m	= -41,6318 + 0,409743·Rc - 0,11058·Ae + 84,2532·Fr - 39,7337·Fr ²	94,13%
Vibe a	= 595,284 - 3,13334·Rc + 0,169664·Rc ² - 0,0270044·Ae - 2394,87·Fr + 3662,26·Fr ² - 2482,02·Fr ³ + 626,893·Fr ⁴	81,41%

Funciones de regresión múltiple y su R² para cada parámetro característico de la combustión

Parámetro	GASOLINA 95	R ²
P _{máx}	= -208,585 + 9,8846·Rc - 1,20049·Ae + 0,0382051·Ae ² - 0,000159925·Ae ³ - 0,0000035302·Ae ⁴ - 286,723·Fr - 130,241·Fr ²	99,57%
(dP/dθ) _{máx}	= 618,342 - 59,252·Rc + 4,08601·Rc ² - 0,123724·Ae + 0,0298906·Ae ² - 0,000135426·Ae ³ - 0,00000402653·Ae ⁴ - 2,87833·E-8·Ae ⁵ - 1736,05·Fr + 2719,93·Fr ² - 1859,48·Fr ³ + 469,345·Fr ⁴	98,37%
θ ((dP/dθ) _{máx})	= -40,4314 + 129,95·Rc - 8,7057·Rc ² + 1,49503·Ae + 0,00861851·Ae ² - 80,6394·Fr + 30,9006·Fr ²	98,61%
(dFMQ/dθ) _{máx}	= 21,5944 - 0,522693·Rc - 0,0389332·Rc ² - 0,00381087·Ae + 0,000559441·Ae ² - 4,96633·E-7·Ae ³ - 0,00000200144·Ae ⁴ - 4,23028·E-8·Ae ⁵ + 1,04827·E-10·Ae ⁶ - 84,825·Fr + 133,961·Fr ² - 92,5574·Fr ³ + 23,6399·Fr ⁴	96,04%
θ (dFMQ/dθ) _{máx}	= -167,068 - 168,298·Rc - 11,2105·Rc ² + 1,64564·Ae + 0,0117424·Ae ² - 115,434·Fr + 48,03·Fr ²	98,99%
t10	= 453,999 - 3,21682·Rc + 1,30344·Ae + 0,00774645·Ae ² - 89,4888·Fr + 39,531·Fr ²	99,79%
t50	= 513,455 - 3,30418·Rc + 1,54837·Ae + 0,00937491·Ae ² - 173,643·Fr + 77,3996·Fr ²	99,84%
t90	= 595,228 - 5,16102·Rc + 1,86222·Ae + 0,0179434·Ae ² - 289,928·Fr + 133,59·Fr ²	99,77%
Índice Detonación	= -1148,9 + 4746,13·Rc - 646,954·Rc ² + 29,3652·Rc ³ + 0,311756·Ae - 0,038945·Ae ² - 0,013368·Ae ³ + 0,000525206·Ae ⁴ + 0,0000714512·Ae ⁵ + 0,0000013761·Ae ⁶ - 674,26·Fr + 967,479·Fr ² - 631,055·Fr ³ + 151,5·Fr ⁴ + 3,83079·Fr ⁵	99,94%
Vibe Δbc	= 280,415 - 2,84469·Rc + 0,928953·Ae - 0,0352119·Ae ² + 0,000805119·Ae ³ - 0,000194356·Ae ⁴ + 0,00000916863·Ae ⁵ + 6,99063·E-8·Ae ⁶ - 274,47·Fr + 124,956·Fr ²	99,27%
Vibe m	= 595,688 - 36,6204·Rc + 2,64559·Rc ² - 0,341332·Ae + 0,0401109·Ae ² - 0,000268807·Ae ³ - 0,000164296·Ae ⁴ - 0,00000676556·Ae ⁵ - 8,18145·E-8·Ae ⁶ - 2095,04·Fr + 3399,82·Fr ² - 2345,68·Fr ³ + 599,468·Fr ⁴	99,02%
Vibe a	= 5396,7 + 2161,95·Rc - 294,158·Rc ² + 13,3362·Rc ³ - 0,225269·Ae + 0,00510325·Ae ² - 0,00163027·Ae ³ - 0,0000210336·Ae ⁴ - 0,00000560184·Ae ⁵ - 1,164028·E-7·Ae ⁶ + 430,26·Fr - 660,764·Fr ² + 448,676·Fr ³ - 113,612·Fr ⁴	95,61%

CONCLUSIONES

- Los modelos de simulación AVL BOOST tienen un grado elevado de ajuste a la realidad.
- La metodología desarrollada permite caracterizar la combustión de distintos combustibles y comparar entre ellos su comportamiento.
- Es posible generar un modelo general que prediga el comportamiento de un combustible en cualquier condición de trabajo del motor CFR
- Esta metodología desarrollada permite reducir el número de ensayos.

RECONOCIMIENTOS. Esta Investigación de una parte preliminar del Proyecto de I+D "Sustainable Production of Next Generation Biofuels from Waste Streams" del programa H2020 (call LCE11-2015), código EH160525B079



REFERENCIAS

- Brimkan, N. (1981). Ethanol Fuel-A Single-Cylinder Engine Study of Efficiency and Exhaust Emissions. SAE Technical Paper 810345.
- Iliev, S. (2015). A comparison of ethanol and methanol blending with gasoline using a 1-D engine model. Energy Procedia, 100, 1013-1022.
- Prah I, Ktrašnik T. Application of Optimization Techniques to Determine Parameters of the Vibe Combustion Model. J Mech Eng 2009; 55:715-26.



10º Congreso Nacional Ingeniería Termodinámica Lleida, 28 al 30 de Junio de 2017