

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 178**

51 Int. Cl.:

**C10L 1/06** (2006.01)

**F02D 19/08** (2006.01)

12

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02715215 .6**

96 Fecha de presentación: **26.03.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1381657**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.01.2004**

54 Título: **Ajuste de la composición de combustible para condiciones de ciclo de conducción en motores de encendido por chispa de inyección**

30 Prioridad:  
**27.03.2001 US 818210**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**23.10.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**23.10.2012**

73 Titular/es:  
**EXXONMOBIL RESEARCH AND ENGINEERING  
COMPANY (100.0%)  
1545 ROUTE 22 EAST, P.O. BOX 900  
ANNANDALE, NJ 08801-0900, US**

72 Inventor/es:  
**WEISSMAN, WALTER;  
FARRELL, JOHN, T.;  
SCHILOWTIZ, ALAN, MARK;  
JOHNSON, JOHN, E.;  
UEDA, TAKANORI y  
AKIHAMA, KAZUHIRO**

74 Agente/Representante:  
**LEHMANN NOVO, Isabel**

**ES 2 389 178 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Ajuste de la composición de combustible para condiciones de ciclo de conducción en motores de encendido por chispa de inyección.

**CAMPO DE LA INVENCION**

5 La presente invención se refiere generalmente al uso de composiciones de combustible para motor en motores de combustión interna, de encendido por chispa de inyección de combustible por puerto o directa, especialmente aquellos que tienen una relación de compresión (CR) de 11 o más.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

10 Tanto las refinerías de petróleo como los fabricantes de motores se enfrentan constantemente al reto de mejorar continuamente sus productos para satisfacer los requisitos gubernamentales cada vez mayores de eficiencia y de emisión, y los deseos de los consumidores de un mejor comportamiento. Por ejemplo, a la hora de producir un combustible adecuado para uso en un motor de combustión interna, los productores de petróleo mezclan una pluralidad de corrientes que contienen hidrocarburos para producir un producto que satisfará las regulaciones de emisión de combustión gubernamentales y los criterios de rendimiento del combustible de los fabricantes de  
15 motores, tales como el índice de octano de investigación (RON). De forma similar, los fabricantes de motores diseñan convencionalmente motores de combustión interna de tipo encendido por chispa alrededor de las propiedades del combustible. Por ejemplo, los fabricantes de motores se esfuerzan en inhibir lo más posible el fenómeno de autoencendido que da típicamente como resultado detonación y potencialmente daño al motor cuando se quema en el motor un combustible con una resistencia insuficiente a la detonación.

20 En situaciones de conducción típicas, los motores funcionan bajo un amplio intervalo de condiciones, dependiendo de muchos factores que incluyen las condiciones ambientales (temperatura del aire, humedad, etc.), carga del vehículo, velocidad, tasa de aceleración, y similares. Los fabricantes de motores y los mezcladores de combustibles tienen que diseñar productos que se comporten bien bajo tales condiciones diversas. Esto requiere naturalmente un compromiso, puesto que a menudo las propiedades del combustible o los parámetros del motor que son deseables en ciertas condiciones de velocidad/carga demuestran ser perjudiciales para el comportamiento global en otras condiciones de velocidad/carga.

Un objeto de esta invención es proporcionar un motor con combustibles diseñados específicamente para mejorar el comportamiento del motor en condiciones de carga baja y alta del motor.

30 Otro objeto de la invención es proporcionar un motor con combustibles diseñados específicamente para mejorar el comportamiento del motor durante el ciclo de conducción.

También, los motores de encendido por chispa se diseñan generalmente para funcionar a una relación de compresión (CR) de 10:1 o inferior, para evitar la detonación a carga elevada. Como se sabe, mayores CRs, hasta alrededor de 18:1 son óptimas desde el punto de vista de la maximización de la eficiencia térmica del motor a lo largo del intervalo de carga. La relación de compresión (CR) se define como el volumen del cilindro y cámara de combustión cuando el pistón está en el punto muerto inferior (BDC) dividido entre el volumen cuando el pistón está en el punto muerto superior (TDC). Una mayor CR conduce a una mayor eficiencia térmica al maximizar el trabajo obtenible del ciclo de Otto (compresión/expansión del motor) teórico. Mayores CRs también conducen a mayores tasas de combustión, dando una mejora adicional en la eficiencia térmica al crear un enfoque más parecido a este ciclo de Otto ideal. El uso de motores de encendido por chispa de relación de compresión elevada está limitado, sin embargo, por el octano del combustible insuficientemente elevado, puesto que en la práctica es difícil suministrar un único combustible con un octano suficientemente elevado global para permitir un incremento significativo en la relación de compresión sin que se produzcan detonaciones del motor a cargas elevadas.

45 Por lo tanto, otro objeto de esta invención es facilitar el diseño de motores de relación de compresión elevada que logren una mayor eficiencia térmica durante todo el ciclo de conducción sin el problema de la detonación a una carga elevada.

En teoría, se puede lograr una operación del motor con mayor eficiencia en ciertas cargas moderadas a elevadas ajustando el reglaje del encendido por chispa hasta el valor más cercano que proporcione un reglaje de la chispa MBT. MBT se define como el avance mínimo de la chispa para el mejor par. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que el ajuste del reglaje del encendido para permitir que se alcance el MBT no es práctico puesto que la detonación se produce típicamente en condiciones de carga moderada a elevada a puntos de tiempo mucho más anteriores que MBT con gasolinas comercialmente disponibles. En principio, el funcionamiento con un combustible de octano muy elevado permitiría hacer funcionar al motor a MBT durante el ciclo de conducción. Se mostrará más abajo que un enfoque más preferido es suministrar al motor un combustible que tiene un octano suficiente para acercarse o funcionar a MBT sin detonación, junto con otras propiedades de combustión personalizadas para optimizar el rendimiento.

55 Actualmente los motores de encendido por chispa son capaces de funcionar con combustibles conocidos a una relación normalizada de combustible a aire ("φ") por debajo de 1,0 en condiciones de carga baja a moderada. La

relación normalizada de combustible a aire es la relación real de combustible a aire dividida entre la relación estequiométrica de combustible a aire. Además, estos motores se pueden hacer funcionar con recirculación de los gases de escape (EGR) como el diluyente "de empobrecimiento", a una  $\Phi$  de 1,0 o menor. EGR se entiende que incluye tanto gases de escape reciclados así como gases de combustión residuales. Un reto asociado con el funcionamiento de la mezcla pobre del motor es la dificultad de establecer una combustión rápida y completa del combustible.

También, la provisión de un motor con una combustible de tasa de combustión elevada para uso en condiciones pobres acorta la duración de la combustión y mejora de ese modo la eficiencia termodinámica. Una tasa de combustión más rápida también sirve para maximizar la conversión del combustible, incrementando de ese modo la economía global del combustible y reduciendo las emisiones. Como es conocido en la técnica, el autoencendido del combustible a cargas suficientemente elevadas puede plantear una amenaza de daño mecánico al motor, es decir, detonación. Sin embargo, a ciertas condiciones de carga baja, por ejemplo operación estratificada pobre, el autoencendido del combustible puede ser beneficioso para el funcionamiento global del motor al optimizar las características de combustión, que da como resultado emisiones reducidas del motor y una mayor eficiencia.

Otras ventajas de la invención serán manifiestas a partir de la lectura de esta memoria descriptiva.

#### SUMARIO DE LA INVENCION

Un aspecto de la invención es el uso de una pluralidad de composiciones de combustible sin plomo para uso en el funcionamiento de un motor de combustión interna de encendido por chispa que tiene una CR de 11 o más, cada una de cuyas composiciones tiene propiedades de combustión predeterminadas diferentes, adecuadas para uso en condiciones de funcionamiento del motor preseleccionadas, para mejorar uno o más de la eficiencia del combustible y emisiones de la combustión.

Según la invención, se proporciona al menos una primera y una segunda composición de combustible, teniendo el primer combustible propiedades de combustión suficientes para mejorar su combustión en condiciones de carga del motor elevada, y teniendo el segundo combustible propiedades de combustión suficientes para mejorar su combustión en condiciones de carga de motor baja.

Los combustibles para uso en condiciones de carga baja son aquellos combustibles sin plomo como menos de 20% en volumen de compuestos aromáticos que hierven en el intervalo de ebullición de la gasolina que tienen un RON menor que 90 y una tasa media de combustión en el motor, definida como  $1/\text{ángulos del cigüeñal}$  para una terminación de la combustión del 90%,  $>105\%$  de isoootano en este momento en el ciclo de funcionamiento del motor, y una velocidad de llama laminar  $>105\%$  de isoootano medida a una temperatura y presión representativas de las condiciones en el motor en o próximas a este tiempo en el ciclo de funcionamiento del motor.

Los combustibles especialmente preferidos para uso en condiciones de carga baja son aquellos combustibles sin plomo que hierven en el intervalo de ebullición de la gasolina que tienen un RON menor que 90 y una tasa media de combustión en el motor, definida como  $1/\text{ángulos del cigüeñal}$  para la terminación de la combustión del 90%,  $>105\%$  de isoootano en este momento en el ciclo y una velocidad de llama laminar  $>105\%$  de isoootano medida a una temperatura y a una presión representativas de las condiciones en el motor en el extremo inferior de la escala de carga.

#### BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

La figura 1 demuestra el efecto de la composición de combustible y relación de compresión en el par de salida para un combustible de la invención en comparación con isoootano.

La figura 2 compara la eficiencia relativa de rotura del motor frente al avance de la chispa para isoootano y un combustible de la invención.

La figura 3 compara las curvas de combustión para isoootano y un combustible de la invención.

La figura 4 demuestra el efecto sobre el par de salida de la composición de combustible y relación de compresión a diversos reglajes de inyección para un combustible de la invención en comparación con el combustible de referencia LFG-2B.

La figura 5 demuestra los beneficios de emisión obtenidos mediante la invención.

La figura 6 demuestra el efecto de una mayor relación de compresión y composición de combustible sobre el par de salida para un combustible de la invención en comparación con el combustible de referencia LFG-2B.

La figura 7 compara las curvas de combustión para el combustible de referencia LFG-2B y un combustible de la invención.

La figura 8 demuestra los beneficios de emisión obtenidos mediante la invención.

La figura 9 compara la eficiencia de rotura del motor a emisiones constantes de NOx para el combustible de

referencia LFG-2B y un combustible de la invención.

La figura 10 compara los datos de emisiones para un combustible de esta invención frente a los combustibles de referencia LFG-2B y RON91 a una condición de carga media.

5 La figura 11 demuestra el efecto de la composición de combustible y relación de compresión sobre el par de salida relativo para un combustible de la invención en comparación con los combustibles de referencia LFG-2B y RON91.

La figura 12 demuestra las mejoras de la eficiencia relativa del combustible obtenidas mediante la invención.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

10 Como es bien conocido en la técnica, los combustibles de gasolina generalmente están compuestos de una mezcla de hidrocarburos que hierven a presión atmosférica en el intervalo de alrededor de 77°F (25°C) a alrededor de 437°F (225°C). Típicamente, los combustibles de gasolina comprenden una cantidad importante de una mezcla de parafinas, cicloparafinas, polifinas y compuestos aromáticos, y menores cantidades, o cantidades minoritarias, de aditivos que incluyen compuestos oxigenados, detergentes, colorantes, inhibidores de la corrosión, y similares. También típicamente, los combustibles de gasolina se formulan para que tengan un RON de alrededor de 98 para grado súper, y alrededor de 92 para grado normal, y se usan sólo en un motor de vehículo, dependiendo el grado  
15 usado normalmente de la recomendación del fabricante del vehículo.

La presente invención se separada de la práctica de formular un único combustible para un motor de vehículo específico. De hecho, la presente invención se basa en el descubrimiento de que se pueden lograr beneficios significativos usando un intervalo de composiciones de combustibles que tienen propiedades de combustión personalizadas para la condición de funcionamiento específica del motor.

20 Las composiciones de combustibles usadas en la invención son combustibles sin plomo que hierven en el intervalo de la gasolina y son capaces de ser usadas en motores de combustión interna de encendido por chispa, especialmente aquellos que tienen una CR de 11 o mayor.

25 Las composiciones de combustibles comprenden al menos un primer combustible y un segundo combustible. El primer combustible tiene un RON mayor que 100, y una tasa de combustión mayor que 105% de isoootano en el extremo de carga elevada del ciclo, y una velocidad de llama laminar mayor que 105% de isoootano medida a una temperatura y presión representativa de condiciones en el motor en el extremo superior de la escala de carga. El segundo combustible tiene un RON menor que 90, una tasa de combustión mayor que 105% de isoootano en el extremo inferior del ciclo y una velocidad de llama laminar mayor que 105% de isoootano medida a una temperatura y presión representativa de condiciones en el motor en el extremo inferior de la escala de carga.

30 La velocidad de llama laminar de las composiciones de combustibles se mide mediante técnicas de bomba de combustión que son bien conocidas en la técnica. Véase, por ejemplo, M. Metghalchi y J. C. Keck, Combustion y Flame, 38:143-154 (1980). El combustible sin plomo para hacer funcionar el motor en la porción de carga elevada del ciclo de conducción comprende una mezcla de hidrocarburos que hierven en el intervalo de la gasolina con un RON > 100, que contiene más de 45% en volumen de compuestos aromáticos, y preferiblemente mayor que 55% en volumen.  
35

El segundo combustible sin plomo para hacer funcionar el motor en la porción de carga baja del ciclo de conducción comprende una mezcla de hidrocarburos que hierven en el intervalo de la gasolina que tiene un Ron < 90 y que contiene menos de 20% en volumen.

40 Los combustibles que satisfacen las características anteriores proporcionan beneficios de eficacia para diversos tipos de motores de combustión interna encendidos por chispa cuando funcionan en condiciones de carga elevada. Las condiciones de carga elevada se definen como aquellas regiones del mapa de funcionamiento del motor en las que, en el reglaje de la chispa MBT, se produce la detonación con una gasolina de RON 98. La detonación se define como autoencendido en condiciones en el cilindro suficientemente rigurosas que dan como resultado una detonación que presenta riesgo de daño mecánico al motor.

45 En el caso de motores de inyección de combustible por puerto, el uso de combustibles que tienen las propiedades del primer combustible anterior permite que se diseñe el motor para que funcione a una CR de 11 o más, y permite avanzar el reglaje de la chispa más próxima a aquel para MBT. Estas características de diseño mejoran la eficiencia global del ciclo, es decir, proporcionan economía mejorada del combustible.

50 Más particularmente, estos beneficios se logran con motores de inyección de combustible directa, y especialmente sistemas de motores de combustión pobre de inyección directa, tales como sistemas de inyección directa de carga estratificada. La carga estratificada es una condición en el cilindro en la que hay una distribución no homogénea de la relación de aire: combustible. Como se sabe, los motores de "combustión pobre" funcionan a relaciones normalizadas de combustible a aire (" $\phi$ ") por debajo de 1,0 y/o con recirculación de gas de escape como el diluyente de "empobrecimiento" a una  $\phi$  de 1,0 o menor.

55 Los combustibles que tienen las propiedades de combustión del segundo combustible anterior son adecuados para

uso especialmente en el funcionamiento de motores de encendido por chispa, incluyendo sistemas de combustible estratificados, que funcionan en condiciones de carga baja con recirculación de gases de escape. Las condiciones de carga baja del motor son aquellas regiones del mapa de funcionamiento del motor en las que o por debajo de las que, el motor se puede hacer funcionar a un reglaje MBT con un combustible que tiene un RON de aproximadamente 90 sin la condición de detonación como se define anteriormente.

Los combustibles que tienen un intervalo de propiedades de combustión entre el primer y el segundo combustible ofrecen un ajuste incluso más completo de las composiciones de combustibles a las condiciones de funcionamiento del motor. De hecho, se puede proporcionar una tercera composición de combustible que tiene un RON entre aquellos del primer y del segundo combustible, y lo más deseable una tasa de combustión mayor que 105% de isoootano en el extremo de carga media del ciclo, y lo más deseable, una velocidad de llama laminar mayor que 105% de isoootano medida a una temperatura y presión representativa de las condiciones en el motor en el extremo medio de la escala de carga. Tal combustible se puede usar en condiciones de carga moderada del motor, es decir, condiciones en las que el octano requerido para MBT es menor que 98 RON y más de 90 RON.

Los beneficios de la invención se logran suministrando el combustible de octano elevado a un motor en el extremo superior de la escala de carga del motor, por ejemplo, y el combustible de octano bajo en el extremo inferior de la escala de carga del motor. Hay muchas maneras en las que esto se puede lograr. Por ejemplo, se pueden proporcionar dos tanques de combustible, uno que contiene el primer combustible y el otro que contiene el segundo combustible, suministrándose el combustible al motor basándose en una condición del motor predeterminada. El mapa de la unidad de control electrónica será la base para esta decisión. Opcionalmente, los combustibles primero y segundo se pueden mezclar en proporciones apropiadas para proporcionar un tercer combustible a suministrar al motor en condiciones de carga moderada.

En todavía otra realización de la invención, un único combustible, es decir, una gasolina de grado normal de alrededor de 92 RON se almacena en un tanque de combustible primario del vehículo. En condiciones de carga moderada del motor, el combustible se suministra directamente al motor. Una porción del combustible procedente del tanque primario también se separa en dos corrientes. En condiciones de carga elevada, se suministra al motor una primera corriente de combustible que tiene un RON mayor que 100 y más de 45% en volumen de compuestos aromáticos, que se almacenan para uso en condiciones de carga elevada. En condiciones de carga baja, se suministra al motor una segunda corriente de combustible de RON menor que 90 y menos compuestos aromáticos que el primer combustible, que se almacenan en un tanque secundario. La separación del combustible en las dos corrientes se logra preferiblemente mediante técnicas de separación por membranas de pervaporación (véase, por ejemplo, la patente EP466469 que enseña el uso de una membrana de politereftalato de etileno para la separación de compuestos aromáticos y no aromáticos en el intervalo de ebullición de la gasolina en condiciones de pervaporación, que se incorpora aquí como referencia).

En otra realización, la invención es aplicable a motores que funcionan en recirculación elevada de gases de escape, es decir, 20% o mayor durante la carga baja a moderada del motor.

## EJEMPLOS

### Ejemplo 1

Se investigaron los efectos de un combustible de tasa de combustión elevada, muy resistente a la detonación, de octano elevado, sobre la eficiencia y rendimiento en un motor de encendido por chispa de inyección directa de cuatro válvulas/cilindros DOHC de cuatro cilindros en línea (desplazamiento 2,0 l) con una cavidad de pistón con forma de carcasa, un puerto de aire de entrada directa, y un pulverizador de combustible con forma de ventilador. El motor se hizo funcionar a carga elevada/mariposa del acelerador totalmente abierta (WOT) a una relación de compresión de 13,0. El combustible base fue isoootano puro, con RON=100. El combustible de ensayo, denominado "DF-2", comprendió 60% de tolueno, 33% de isoootano, y 7% de n-heptano (RON medido = 103). Las propiedades del combustible se dan en la Tabla 1. Ambos combustibles se quemaron en las siguientes condiciones: velocidad del motor = 4000 rpm, relación combustible/aire ( $\phi$ ) = 1,15, reglaje del avance de la chispa = 11,24 grados antes del punto muerto superior (BTDC). En este ejemplo y en los otros que siguen, las cantidades de inyección del combustible se ajustan para mantener valores de calentamiento totales equivalentes.

TABLA 1: PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES PARA ENSAYOS WOT

Combustible de ensayo			DF-2	Isooctano
Densidad	g/cm <sup>3</sup> a 15°C		0,7945	0,694
RON			103,1	100
MON			93,2	100
LHV	KJ/g			44,4
H/C	mol/mol		1,553	2,25
Aromáticos	% en vol.		60	0
A/F estequio.				15,1
Viscosidad	mm <sup>2</sup> /s @ 30°C		0,569	
Destilación	EBP	°C	98,5	99
	T5	°C	102,0	99
	T10	°C	102,0	99
	T20	°C	102,5	99
	T30	°C	103,0	99
	T40	°C	103,0	99
	T50	°C	103,5	99
	T60	°C	104,0	99
	T70	°C	104,5	99
	T80	°C	105,0	99
	T90	°C	106,5	99
	T95	°C	107,5	99
	EP	°C	109,5	99

En la Figura 1 se muestra el efecto de una mayor relación de compresión sobre el par de salida. La comparación de los datos de la "base" e isooctano muestra que el par motor pico es 8% mayor a una relación de compresión de 13,0 frente a 9,8. El funcionamiento del motor para isooctano está imitado a un avance de chispa de ~18 grados BTDC debido a la limitación de la detonación. La comparación de los datos de DF-2 con los datos de isooctano muestra que no sólo el avance de la chispa se puede ajustar suficientemente temprano para alcanzar una meseta en la salida del par motor, es decir, funcionar a NBT, sino que, al mismo avance de la chispa, hay un beneficio significativo del par para el combustible DF-2 frente a isooctano. La combinación de una mayor relación de compresión con beneficios derivados del combustible conduce a una mejora significativa en el par global de 11,8%.

La figura 2 muestra la eficiencia de rotura del motor frente al avance de la chispa para isooctano y el combustible DF-2. La comparación de los datos de la base y de isooctano muestra que el incremento en la relación de compresión de 9,8 a 13,0, permitido al funcionar en isooctano, eleva la eficiencia relativa en ~11,6%. El DF-2 de octano elevado permite que el motor funcione a un avance de la chispa suficientemente temprano para alcanzar MBT a una CR de 13, dando un beneficio añadido con respecto a aquel para isooctano. El beneficio global asociado con el uso del combustible DF-2 de octano elevado es un incremento en la eficiencia de rotura relativa de ~14,6%.

La figura 3 muestra curvas de combustión para tanto isooctano como el combustible DF-2, a partir de lo cual se puede observar que el combustible DF-2 muestra una velocidad más rápida de liberación de calor (figura derecha). Esto está corroborado por los datos en la tabla en la parte inferior de la figura, que muestran que el combustible DF-2 toma menores ángulos de cigüeñal del motor para alcanzar una combustión tanto del 50% como del 90%. Esta combustión más rápida libera más energía cerca del punto muerto superior, dando como resultado una mayor eficiencia.

# ES 2 389 178 T3

Los beneficios del combustible DF-2 de octano elevado se identifican en la siguiente tabla.

TABLA 2

Combustible	% de crédito en par	% de crédito en eficiencia
Gas normal	--	--
Iso-octano	7,8	11,6
DF-2	11,8	14,6

## Ejemplo 2

5 Se investigaron los efectos de un combustible de tasa elevada de combustión, de baja resistencia al autoencendido, de octano bajo, sobre la eficiencia de la combustión y el rendimiento en el mismo motor de encendido por chispa de inyección directa de 4 válvulas DOHC de 4 cilindros en línea (desplazamiento de 2,0 l) descrito en el ejemplo 1. El motor se hizo funcionar a diversas condiciones de carga baja y moderada, a una relación de compresión de 9,8 y 13,0. El combustible base fue una gasolina normal japonesa comercial, denominada LFG-2B, con un valor RON de 91,7. El combustible de ensayo de octano bajo, denominado DF-1, comprendió 68% de isooctano, 22% de n-heptano, y 10% de tolueno (RON medido = 83,8). Las propiedades del combustible se muestran en la Tabla 3

10

TABLA 3

Propiedades del combustible

Combustible de ensayo			DF-1		ROM91	LFG-28
			Medido	Calculado		
Densidad			0,7851	0,7094	0,6931	0,7356
RON	-		83,6	80,7	91	91,7
MOW			82,2	?	91	82,7
LHV	KJ/g			43,91	44,5	43,0
H/C	mol/mol		2,164	2,112	2,25	1,87
A/F estequio.				14,900	15,1	14,7
Viscosidad	mm <sup>2</sup> /s a 30C		0,603			
Destilación	IBP	°C	95,0		Aprox. 99	31,5
	T5	°C	98,0			42,6
	T10	°C	98,0			50,5
	T20	°C	98,5			62,0
	T30	°C	98,5			72,6
	T40	°C	98,5			85,4
	T50	°C	98,5			101,0
	T60	°C	98,5			114,5
	T70	°C	98,5			127,5
	T80	°C	98,5			144,5
	T90	°C	98,5			157,0
	T95	°C	98,5			164,5
	EP	°C	120,0		Aprox. 99	175,5
Aromáticos % en volumen			10	0	0	28,7

En la figura 4 se muestra una comparación de la salida del par frente al reglaje de la inyección para el combustible DF-1 y el combustible base LFG-2B en condiciones de motor de 1200 rpm y un reglaje de la chispa fijo = 23 grados BTDC. Con el combustible DF-1 se obtienen valores de par significativamente mayores (figura izquierda) y fluctuaciones del par generalmente menores (figura derecha). El combustible DF-1 también genera emisiones significativamente menores de NO<sub>x</sub>, HC, y humo (véase la figura 5). En la figura 6 se muestra el efecto de la relación de compresión sobre la eficiencia, que muestra la eficiencia de la rotura frente al reglaje de inyección para LFG-2B a CR = 9,8 (base) y 13,0. La sobrealimentación global en eficiencia relativa obtenida mediante un funcionamiento a mayor CR es ~1,5%. El efecto de la composición de combustible sobre la eficiencia relativa global es incluso mayor que esto, como se muestra en la figura 6. El incremento de la eficiencia relativa asociado con la combustión de DF-1 frente a LFG-2B es ~5,5%, para una ganancia de eficiencia relativa global de 7%. En la Tabla 4 se resumen los beneficios de la eficiencia relativa.

TABLA 4

Combustible	% de crédito en eficiencia relativa
LFG-2B (CR=9,8)	--
LFG-2B (CR=13)	1,5
DF-1 (CR=13)	5,5
Total	7,0

La figura 7 muestra las curvas de combustión para DF-1 y LFG-2B a reglajes de inyección y avance de la chispa idénticos. Como se puede observar, la curva de combustión para el combustible DF-1 muestra dos etapas de liberación de calor. Este comportamiento de liberación de calor es indicativo de autoencendido de múltiples puntos que se produce con los combustibles de menor octano. Incluso aunque la tasa de combustión media global para estos combustibles es comparable, teniendo ambos combustibles una tasa de combustión relativamente elevada, los datos que muestran mayor eficiencia y menores emisiones demuestran la importancia de mantener bajo el RON para obtener los beneficios de autoencendido.

### Ejemplo 3

Se investigaron los efectos de un combustible de tasa de combustión elevada, poco resistente al autoencendido, de bajo octano, sobre la eficiencia de combustión y el comportamiento en una región diferente del ciclo de conducción en el mismo motor de encendido por chispa de inyección directa de 4 válvulas DOHC de 4 cilindros en línea (desplazamiento 2,0 l) descrito en los ejemplos 1 y 2. El motor se hizo funcionar a una velocidad de motor de 3000 rpm y a una relación de combustible/aire de  $\phi = 0,56$ , que se localiza en una parte diferente del mapa de velocidad/carga que las condiciones de motor descritas en el ejemplo 2. El motor se hizo funcionar a una relación de compresión de 9,8 y 13,0. El combustible base fue una gasolina normal japonesa comercial, denominada LFG-2B, con un valor RON de 91,7. El combustible de ensayo de bajo octano, denominado DF-1, es el mismo combustible descrito en el ejemplo 2, y comprende 68% de isoocatano, 22% de n-heptano, y 10% de tolueno (RON medido = 83,8). Las propiedades de combustible se muestran en la Tabla 3: Como se observó en las condiciones de funcionamiento del motor del Ejemplo 2, se observan emisiones significativamente menores de NO<sub>x</sub> y de humo con el combustible DF-1 que con el combustible base LFG-2B (véase la figura 8).

El efecto de la relación de compresión sobre la eficiencia relativa se muestra en la figura 9, que muestra la eficiencia de la rotura relativa frente al reglaje de inyección para LFG-2B a CR = 9,8 (base) y 13,0. La sobrealimentación global en eficiencia relativa obtenida mediante el funcionamiento a mayor CR es ~3%. El efecto de la composición de combustible sobre la eficiencia relativa global es incluso mayor que esto, como se muestra en la figura 8. El incremento de eficiencia relativa asociado con la combustión de DF-1 frente a LFG-2B es ~5%, para una ganancia de eficiencia relativa global de 8%. En la Tabla 5 se resumen los beneficios de la eficiencia relativa.

TABLA 5

Combustible	% de crédito en eficiencia relativa
LFG-2B (CR=9,8)	--
LFG-2B (CR=13)	3
DF-1 (CR=13)	5
Total	8



**Ejemplo 4**

Se investigaron los efectos del octano del combustible y la resistencia al autoencendido sobre la eficiencia de la combustión y el comportamiento en carga media en el mismo motor de encendido por chispa de inyección directa de 4 válvulas DOHC de 4 cilindros en línea (desplazamiento 2,0 l) descrito en los ejemplos 1-3. El motor se hizo funcionar a una velocidad del motor de 2400 rpm y una relación de combustible/aire de  $\phi = 0,63$ , que se localiza en una parte del mapa de velocidad/carga distinta de las condiciones del motor descritas en el ejemplo 2 y 3. El motor se hizo funcionar a una relación de compresión de 9,8 y 13,0. En este estudio se usaron dos combustibles base; el primero fue una gasolina normal japonesa comercial, denominada LFG-2B, con un valor RON de 91,7. El segundo fue una mezcla de 91% de isooctano y 9% de n-heptano, denominado RON91, con un valor RON de 91. El combustible de ensayo de bajo octano, denominado DF-1, es el mismo combustible descrito en el Ejemplo 2 y 3, y comprende 68% de isooctano, 22% de n-heptano, y 10% de tolueno (RON medido = 83,8). Las propiedades de los combustibles se muestran en la Tabla 3. Como se observó en las condiciones de funcionamiento del motor del ejemplo 2 y 3, se observaron emisiones significativamente menores de NO<sub>x</sub> y de humos con el combustible DF-1 que con el combustible base LFG-2B (véase la figura 10).

El efecto de la relación de compresión sobre la salida del par se muestra en la figura 11, que muestra la salida relativa del par frente al reglaje de inyección para LFG-2B a CR = 9,8 y 13,0. También se muestran los datos para RON91 y DF-1. A diferencia de los dos ejemplos previos, el combustible de bajo octano DF-1 tiene una menor salida relativa de par que los combustibles de mayor octano. De forma similar, la eficiencia relativa del motor es menor con el combustible de bajo octano DF-1 que con RON91 y LFG-2B (véase la figura 12). La razón para el comportamiento reducido es que el motor no puede funcionar con el combustible de bajo octano DF-1 con reglajes de avance de la chispa que se aproximan a MBT debido a limitaciones de detonación. Estos datos demuestran que, a cargas intermedias, las propiedades de los combustibles (niveles de octano y composición) más acordes con la gasolina convencional son más adecuadas que los combustibles de bajo octano (tal como el combustible DF-1).

**Ejemplo 5**

Se investigaron los efectos de un combustible de tasa de combustión elevada, de resistencia baja al autoencendido, de bajo octano, sobre la eficiencia de la combustión y el comportamiento en un motor de encendido por chispa de inyección directa de 4 válvulas DOHC de 4 cilindros en línea (desplazamiento 2,0 l) similar al motor descrito en los ejemplos 1-4. El motor tuvo un inyector de turbulencia en lugar de un inyector de pulverizador de ventilador descrito en los ejemplos 1-4, y se hizo funcionar a una menor relación de compresión de 10,3. El motor se hizo funcionar a una velocidad del motor de 1200 rpm y una relación de combustible/aire de  $\phi = 0,5$ . El combustible base fue 100% de isooctano (RON=100), y se estudiaron varios combustibles de ensayo de bajo octano, es decir, n-hexano (RON=25), 2-metilpentano (RON=69), y ciclohexano (RON=84).

Merece la pena hacer varias observaciones. En primer lugar, la curva de combustión para n-hexano es la más rápida y alcanza el 80% de la terminación de la combustión de forma mucho más rápida que los otros combustibles. En virtud de eso, la eficiencia global es 8% mayor que el isooctano. En segundo lugar, los niveles de NO<sub>x</sub> para n-hexano son mucho menores que isooctano. Esto refleja la liberación muy rápida de calor, y la tendencia a formar menos NO<sub>x</sub> cuando se minimiza la combinación de temperatura elevada y tiempo. En tercer lugar, se observan beneficios de eficiencia relativa similares a los identificados para n-hexano con los otros dos combustibles de bajo octano, es decir, 2-metilpentano y ciclohexano, en los que se observan créditos de 2% y 6%, respectivamente. La eficiencia relativa elevada de estos combustibles de bajo octano refleja las tasas rápidas de combustión de los combustibles de bajo octano. Esta tasa de combustión elevada tiene dos factores contribuyentes principales: i) velocidad de llama laminar elevada, y ii) autoencendido controlado. La velocidad de llama laminar elevada es el factor principal responsable de la eficiencia relativa elevada de ciclohexano, mientras que el autoencendido es probable que sea el factor principal responsable de la eficiencia relativa incrementada de n-hexano y 2-metilpentano. Se postula que la liberación muy rápida de calor para n-hexano se origina desde el autoencendido de múltiples puntos iniciado por la compresión de los gases terminales desde el frente de la llama y el movimiento del pistón. Merece la pena observar que, en estas condiciones, el autoencendido no genera los niveles de liberación de calor típicamente encontrados en condiciones de detonación a mayor carga, y de este modo no se observan efectos perniciosos asociados con el autoencendido.

Es importante señalar que, aunque estos datos se obtuvieron en un motor con una relación de compresión de 10:1 se espera que se obtengan beneficios de octano bajo a mayor CR igualmente. Esto se demostró en los ejemplos 2 y 3, en los que al incrementar la CR desde 9,8 hasta 13, condujo a una mayor eficiencia en todas las cargas y velocidades. También se espera obtener beneficios adicionales de eficiencia y emisión observados ara estos ejemplos con el combustible de bajo octano con estos combustibles en un motor de mayor CR en condiciones de funcionamiento similares.

**REIVINDICACIONES**

1. Uso de una pluralidad de combustibles que comprende al menos un primer combustible sin plomo y un segundo combustible sin plomo, hirviendo cada uno en el intervalo de la gasolina, en un motor de combustión interna de encendido por chispa que tiene una relación de compresión, CR, de 11 o más, en el que
- 5 el primer combustible, que es una mezcla de hidrocarburos con más de 45% en volumen de compuestos aromáticos y que tiene un RON mayor que 100, y en condiciones de carga elevada, en las regiones del mapa de funcionamiento en las que, en el avance de la chispa mínimo para el mejor reglaje del par (MBT), se produce detonación con una gasolina de RON 98, una tasa media de combustión mayor que 105% de isooctano y una velocidad de llama laminar mayor que 105% de isooctano, se usa en el extremo superior de la escala de carga del motor;
- 10 el segundo combustible, que es una mezcla de hidrocarburos con menos de 20% en volumen de compuestos aromáticos que tiene un RON menor que 90, y en condiciones de baja carga, en las regiones del mapa de funcionamiento del motor a o por debajo de las cuales el motor se puede hacer funcionar a un reglaje MBT con un combustible que tiene un RON de 90 sin detonación, una tasa media de combustión mayor que 105% de isooctano, una velocidad de llama laminar mayor que 105% de isooctano, se usa en el extremo inferior de la escala de carga del motor.
- 15
2. El uso de la reivindicación 1, que incluye el uso de al menos un tercer combustible que tiene un RON entre aquellos del primer y segundo combustible, y en condiciones de carga media una tasa de combustión mayor que 105% de isooctano y una velocidad de llama laminar mayor que 105% de isooctano.
3. El uso de la reivindicación 2, en el que el tercer combustible se mezcla del primer y segundo combustible.
- 20
4. El uso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho primer combustible tiene más de 55% de compuestos aromáticos.
5. El uso de la reivindicación 4, en el que dicho primer combustible tiene 60% de compuestos aromáticos.
6. Un método para hacer funcionar un motor de combustión interna de encendido por chispa que tiene una CR de 11 o más, que comprende:
- 25 quemar un primer combustible sin plomo que es una mezcla de hidrocarburos con más de 45% en volumen de compuestos aromáticos y que tiene un RON mayor que 100, una tasa de combustión mayor que 105% de isooctano y una velocidad de llama laminar mayor que 105% de isooctano en condiciones de carga elevada, en las regiones del mapa de funcionamiento en las que, en el avance mínimo de la chispa para el mejor reglaje del par (MBT), se produce detonación con una gasolina de RON 98; y
- 30 quemar en condiciones de carga baja, en las regiones del mapa de funcionamiento de motor a las cuales o por debajo de las cuales el motor se puede hacer funcionar a un reglaje de MBT con un combustible que tiene un RON de 90 sin detonación, un segundo combustible sin plomo que es una mezcla de hidrocarburos con menos de 20% en volumen de compuestos aromáticos que tiene un RON menor que 90, y en condiciones de carga baja una tasa media de combustión mayor que 105% de isooctano, una velocidad de llama laminar mayor que 105% de isooctano.
- 35
7. El método de la reivindicación 6, que incluye quemar en condiciones de carga moderada el combustible de la reivindicación 2.

FIG. 1

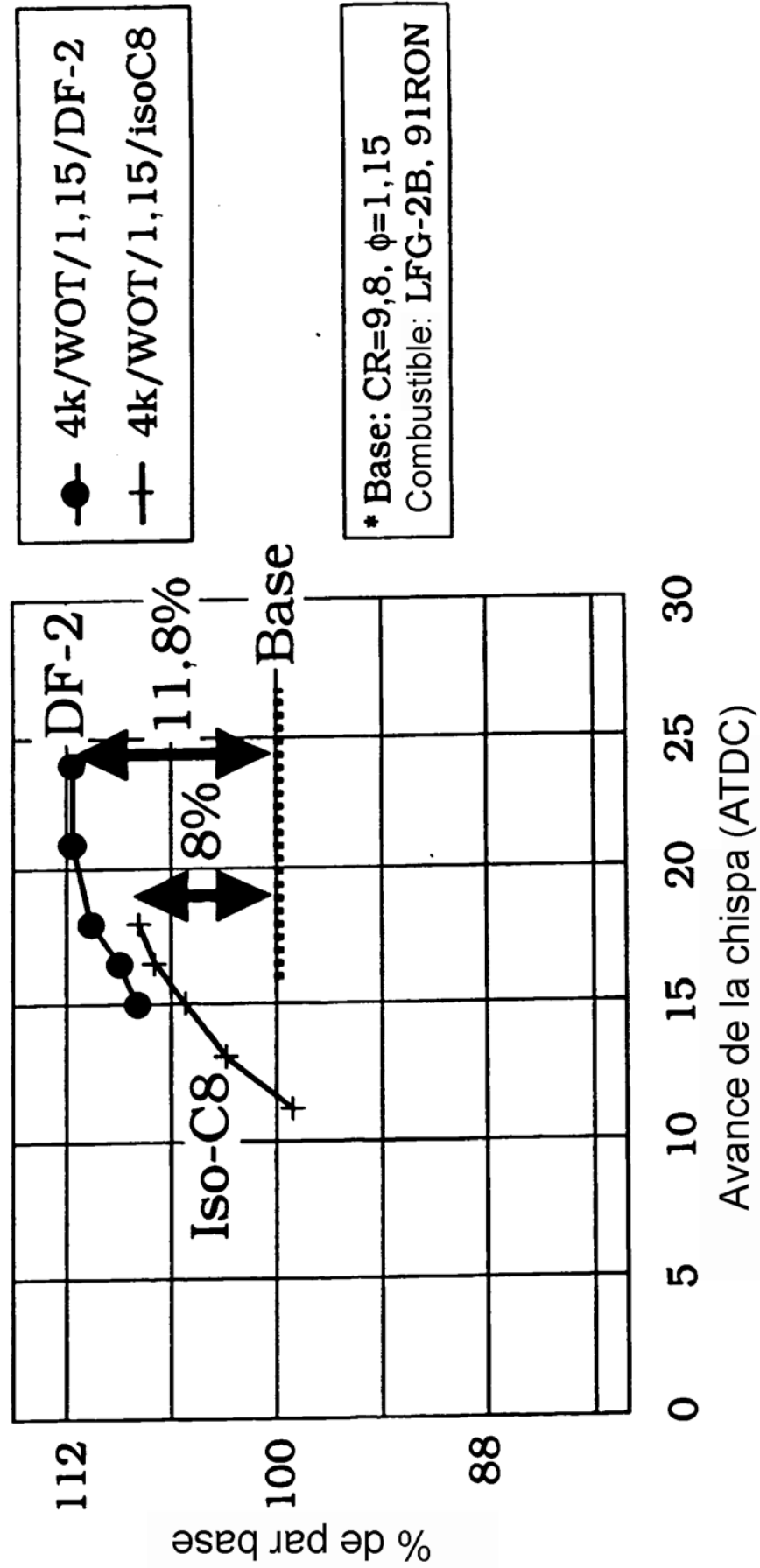


FIG. 2

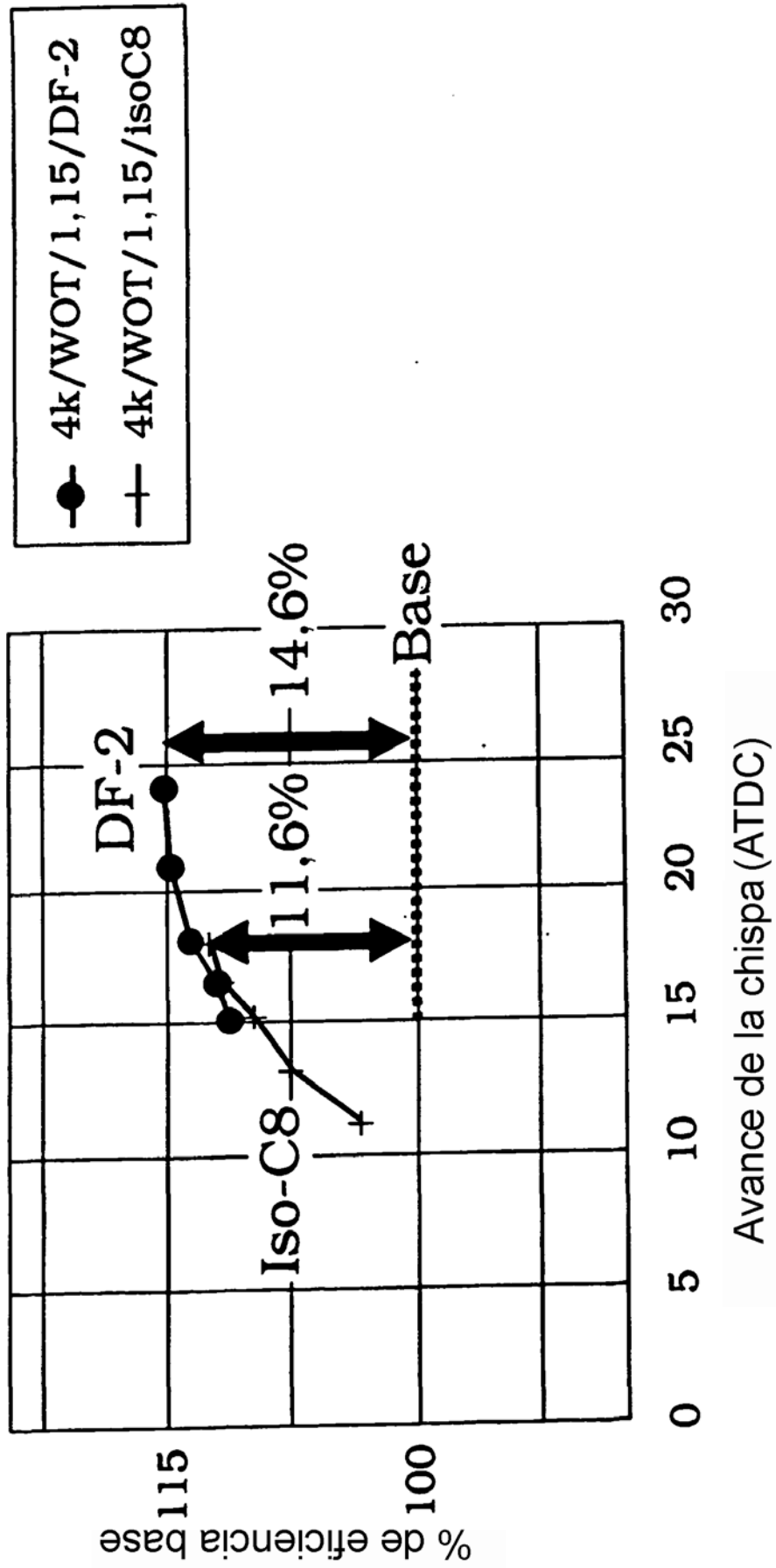


FIG. 3

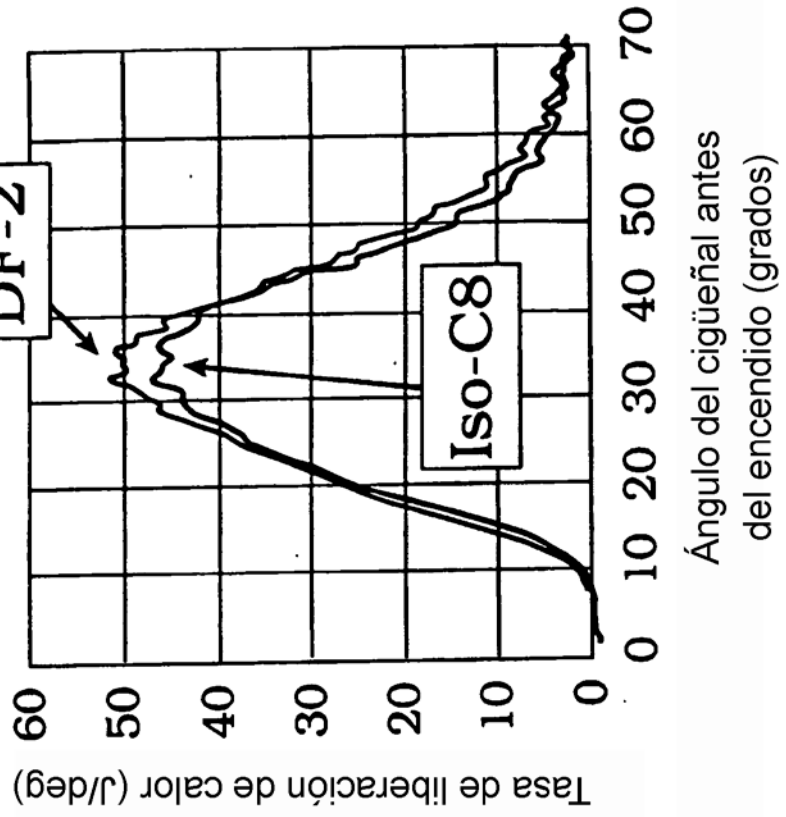
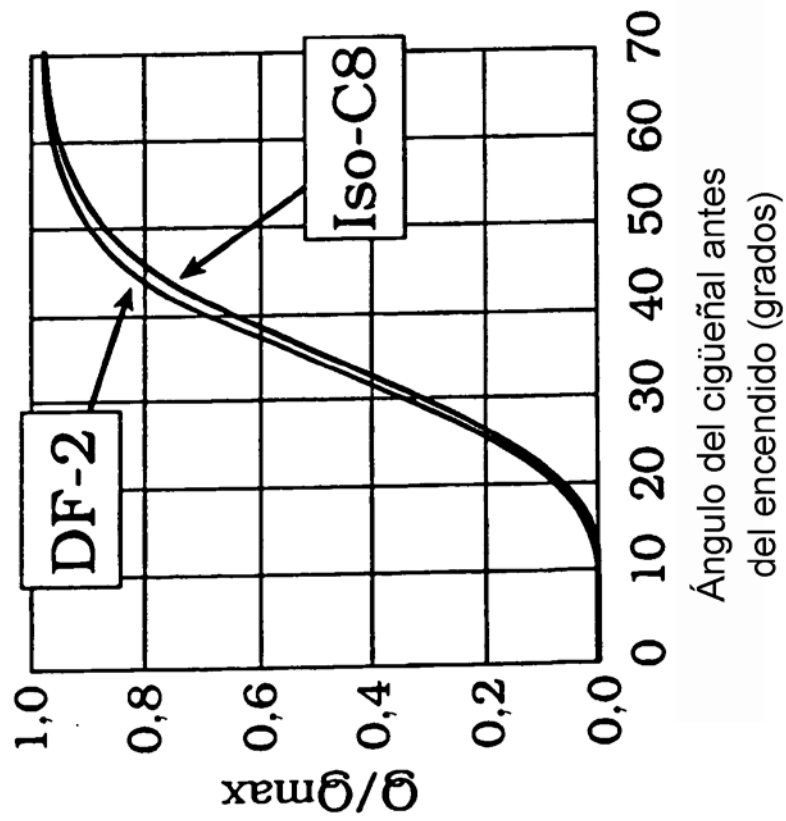


FIG. 4

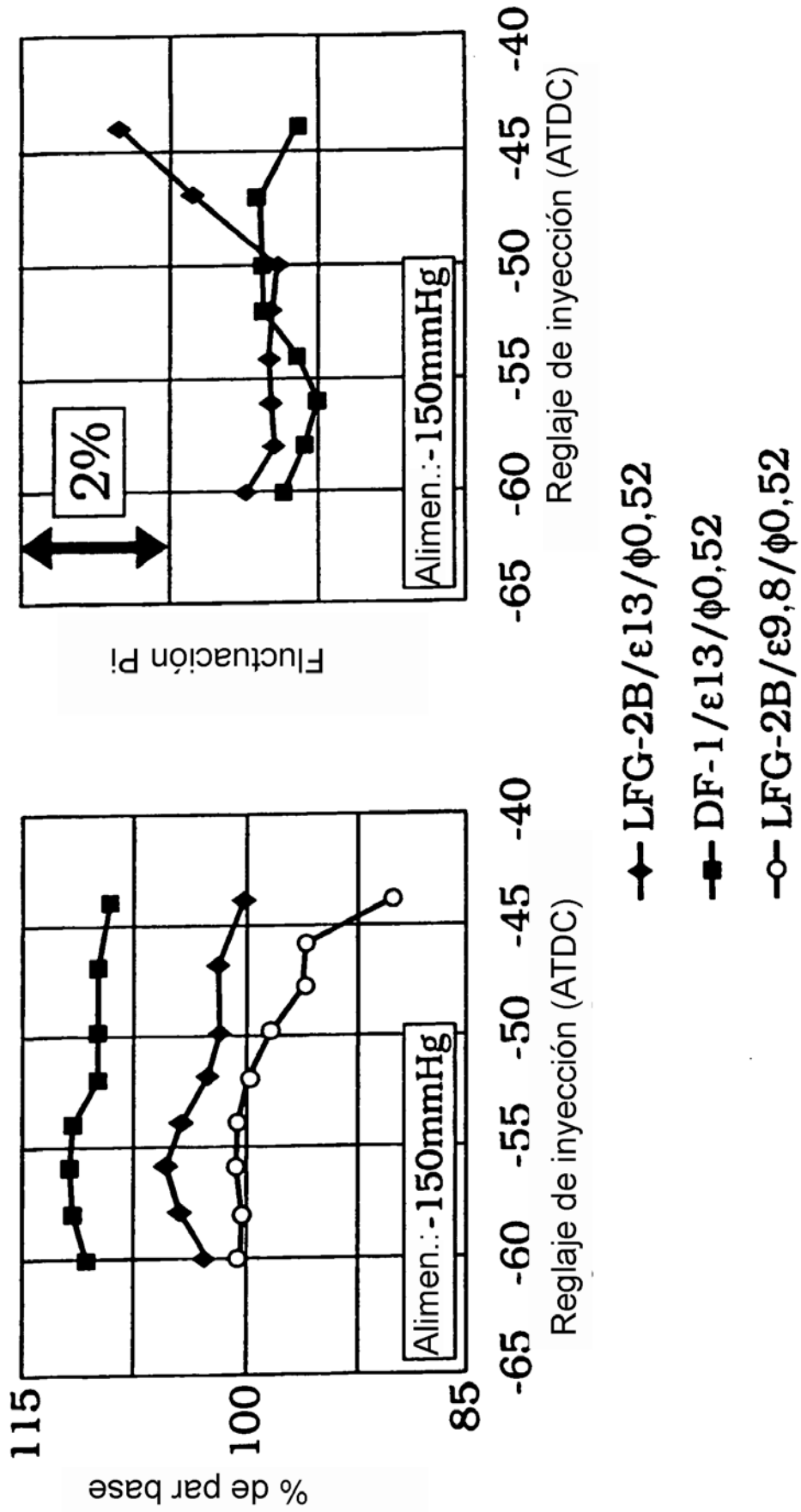


FIG. 5

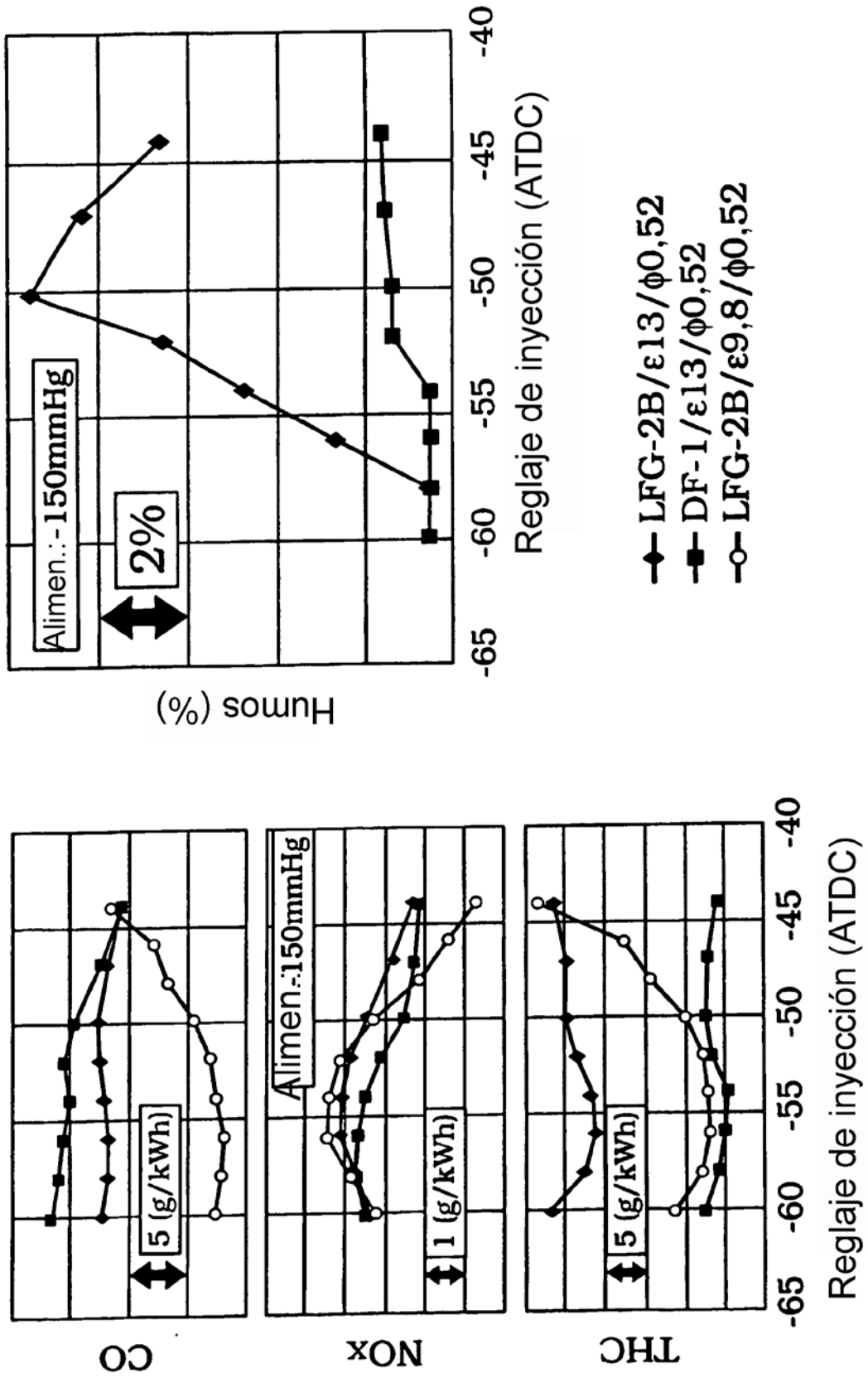


FIG. 6

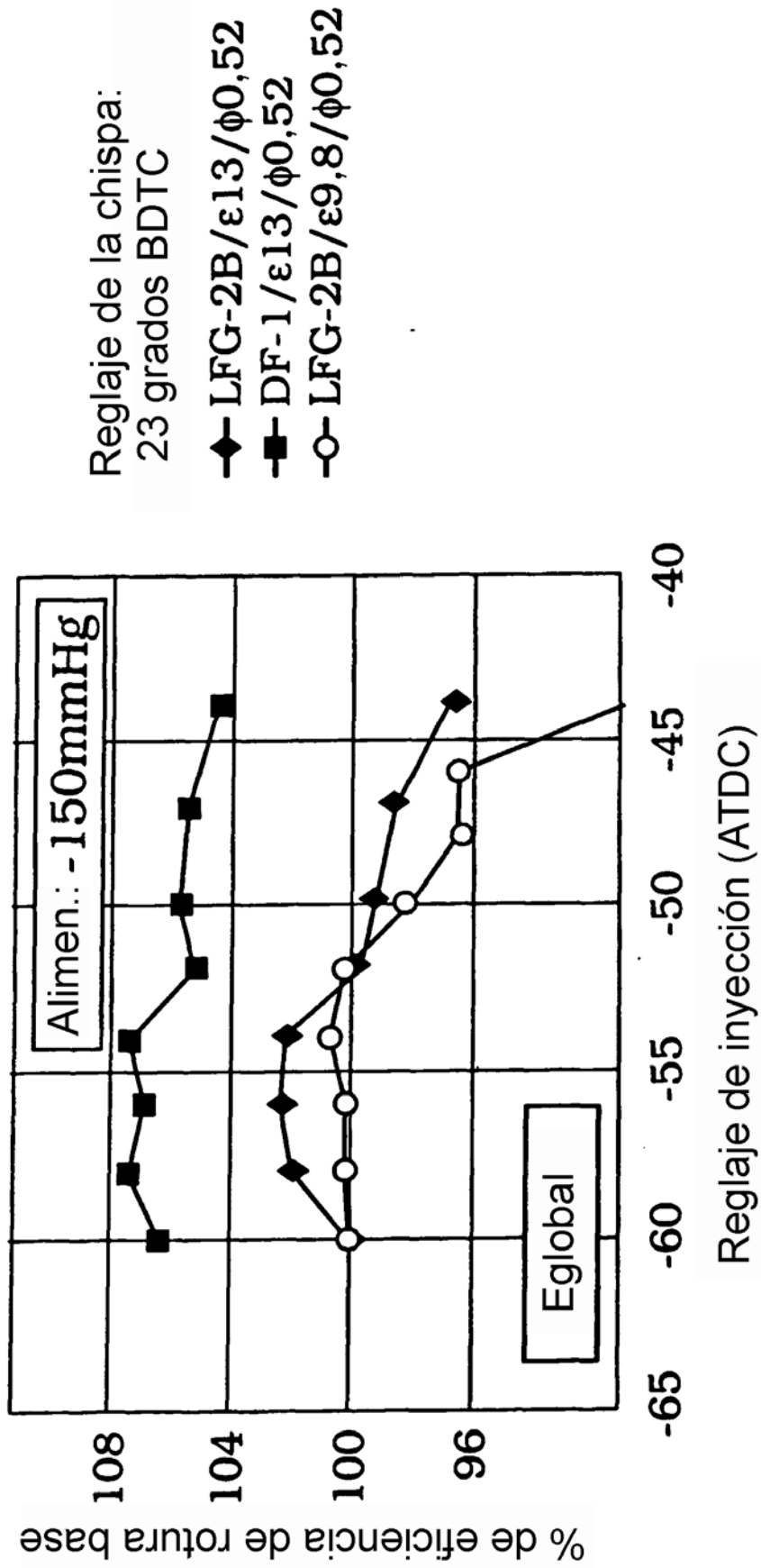




FIG. 7

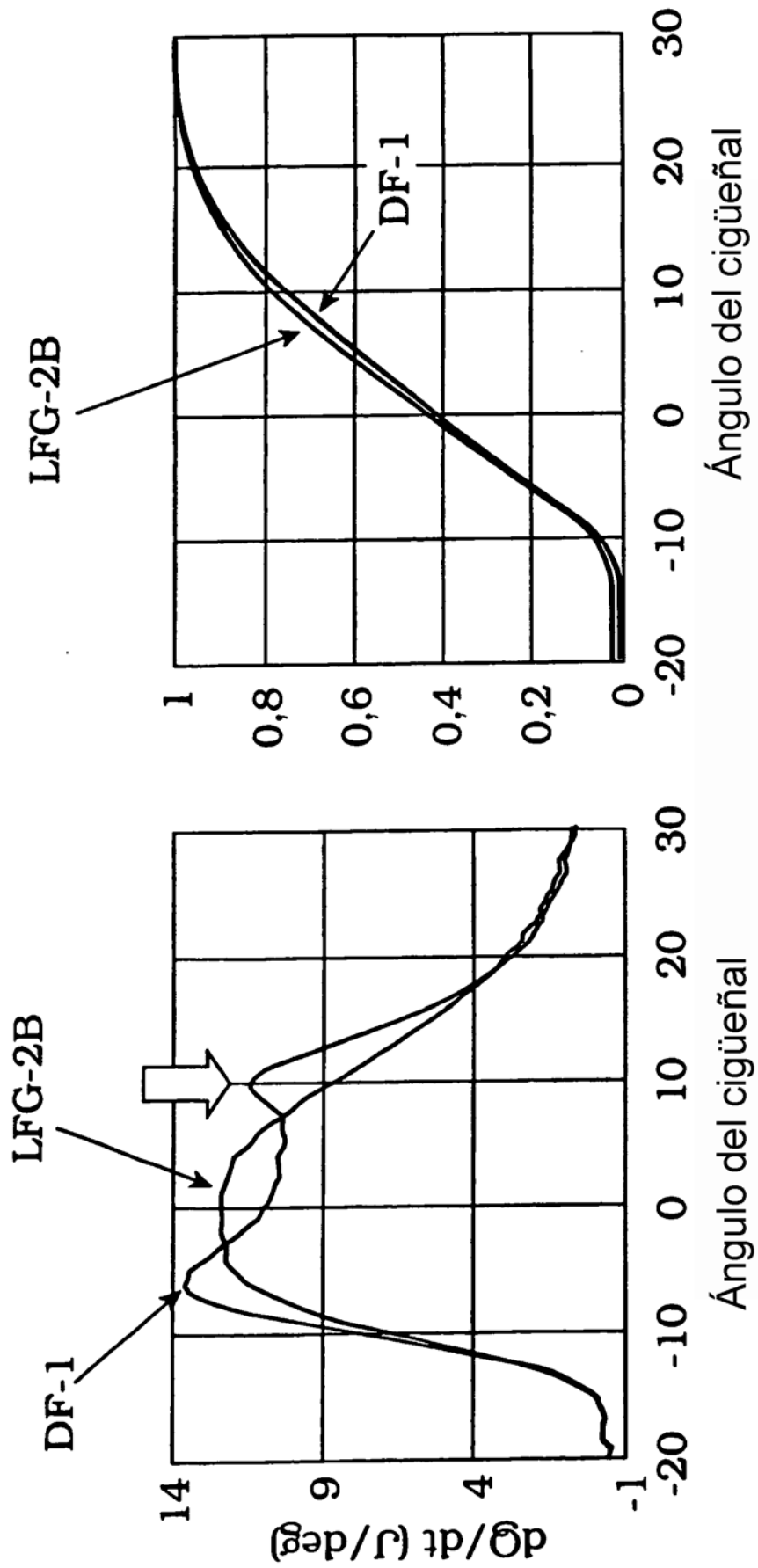


FIG. 8

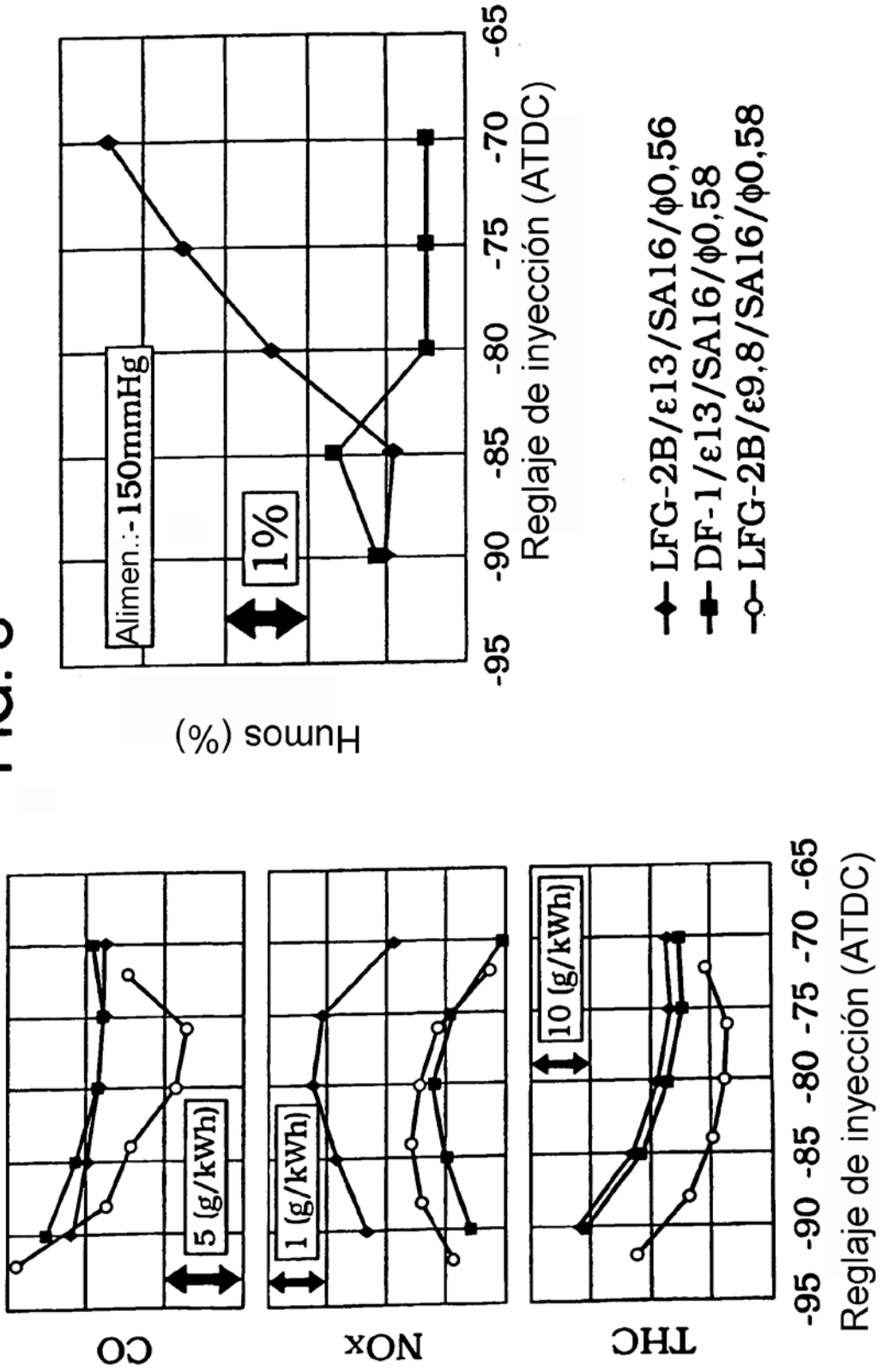
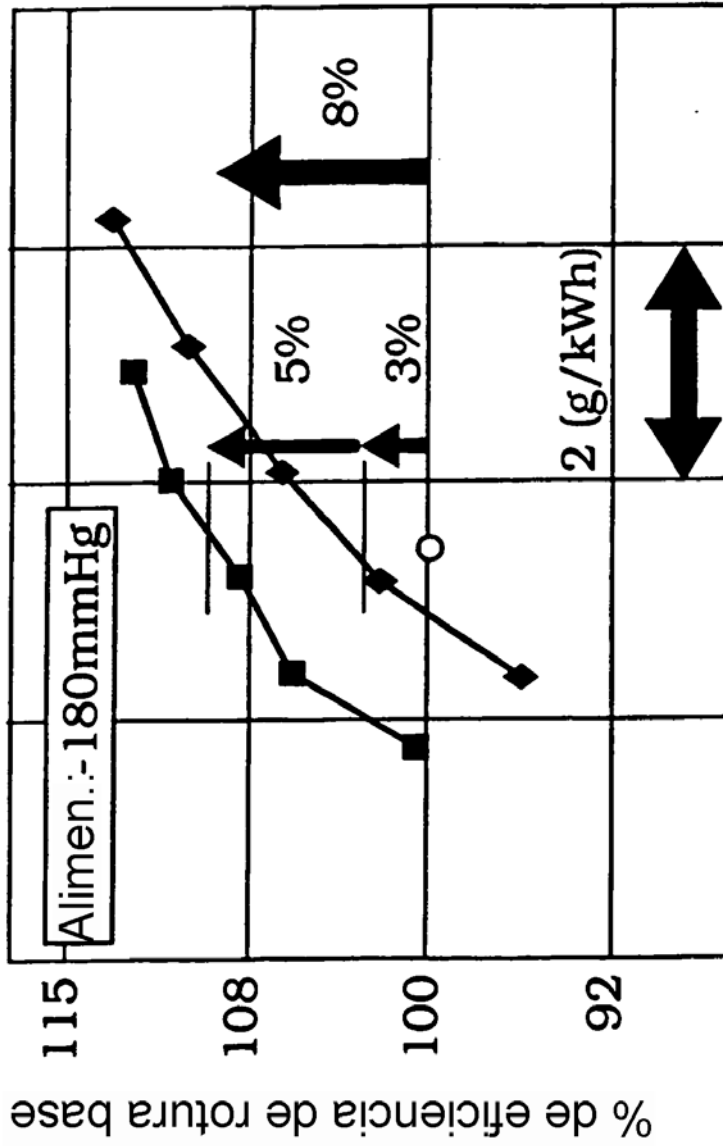


FIG. 9



- ◆ LFG-2B/ε13/Inj80/φ0,56
- DF-1/ε13/Inj80/φ0,58
- LFG-2B/ε9,8/Inj80/φ0,58

FIG. 10

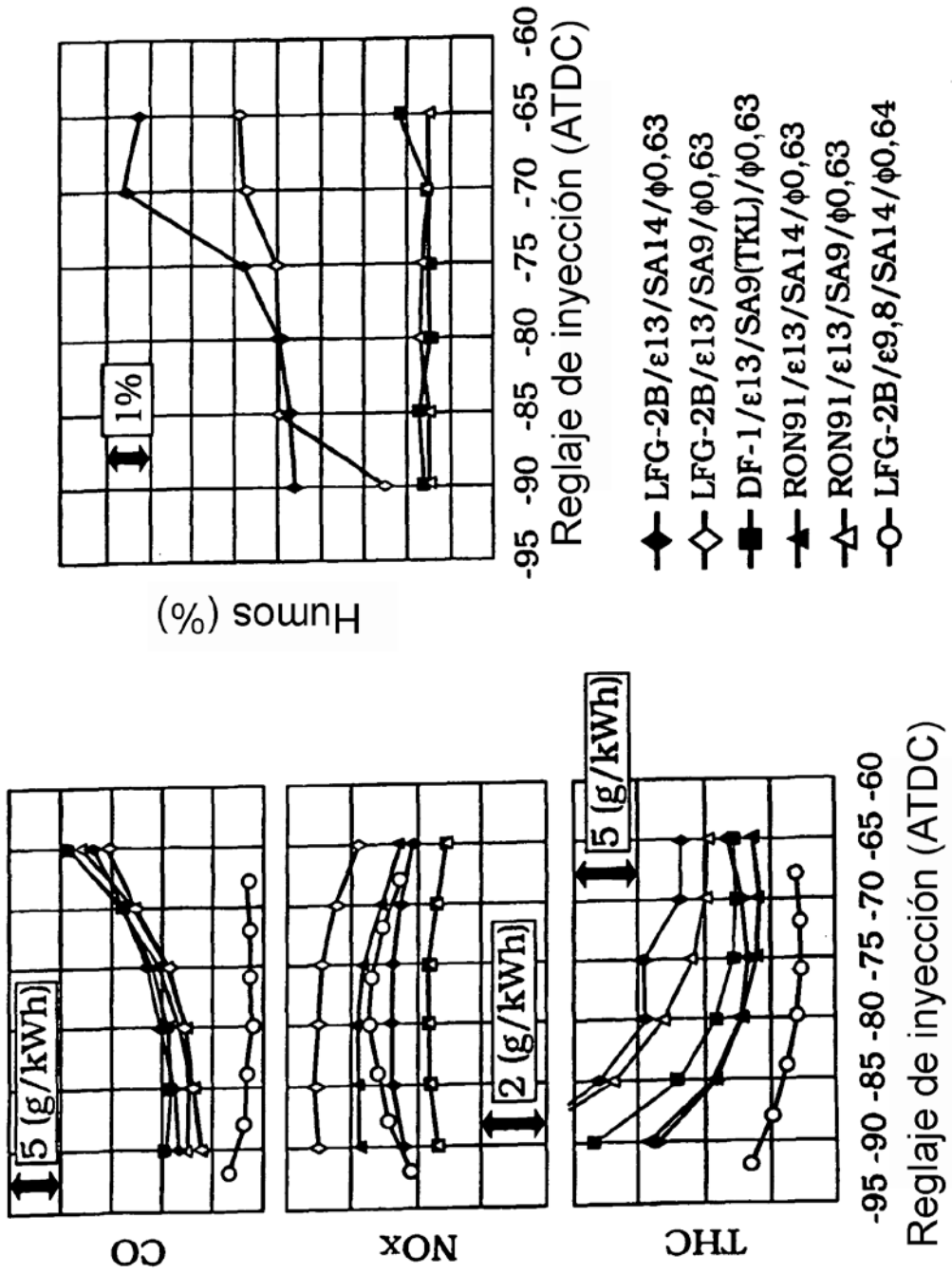


FIG. 11

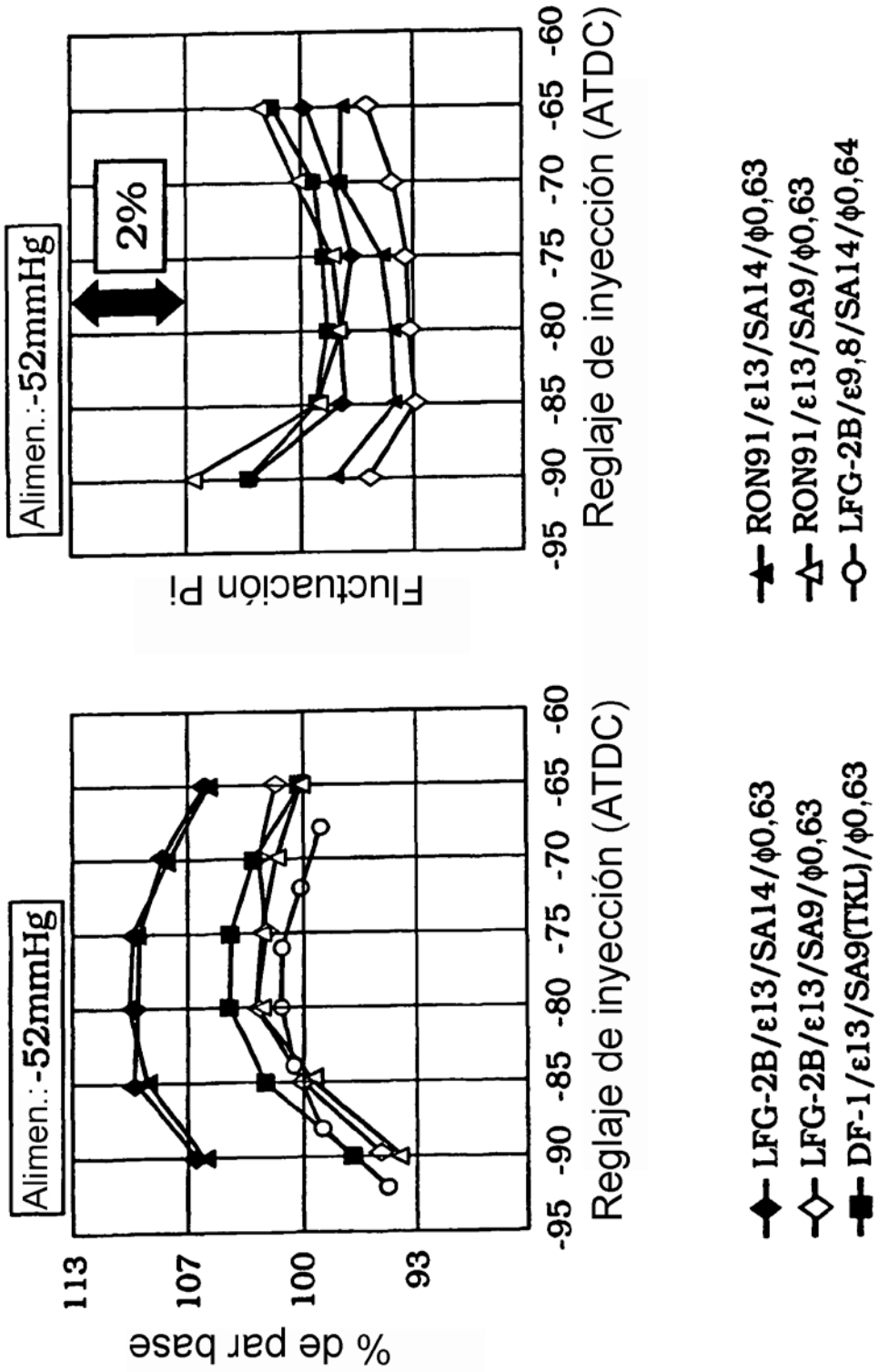


FIG. 12

