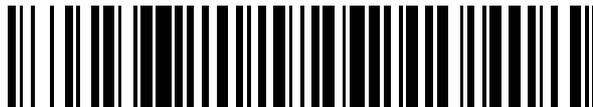


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 822 133**

51 Int. Cl.:

F02K 9/28 (2006.01)

C06B 47/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.11.2011 PCT/US2011/061181**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.05.2012 WO12068369**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2011 E 11840828 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020 EP 2640953**

54 Título: **Método de fabricación de un propulsor de cohete**

30 Prioridad:

19.11.2010 US 949980

14.11.2011 US 201113295268

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

29.04.2021

73 Titular/es:

TOTAL MARKETING SERVICES (100.0%)

24, Cours Michelet

92800 Puteaux, FR

72 Inventor/es:

KELLY, KEVIN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 822 133 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

Método de fabricación de un propulsor de cohete

Campo

5 La presente descripción se refiere en general a formulaciones de propulsor. Específicamente, la presente descripción se refiere a la combinación de corrientes hidrocarbonadas para fabricar un propulsor de cohete que tiene características específicas.

Antecedentes

10 Actualmente, el propulsor de cohete, en combinación con oxígeno líquido, se usa como sistema propulsor en un gran porcentaje de vehículos de lanzamiento y cohetes. Por ejemplo, el documento US 5616882A se refiere a un propulsor de cohete de impulso específico (Isp) y propulsión mejorados obtenido mezclando un combustible de cohete de RP-1 con cuadrícicloro. Tal mezcla se puede combinar con un oxidante (por ejemplo, oxígeno líquido).

Sin embargo, el suministro es limitado, lo que da como resultado pocas oportunidades de optimizar las formulaciones de combustible. Además, el suministro limitado da como resultado de poca a ninguna redundancia en el suministro en caso de escasez/falta de suministro.

15 Por tanto, existe la necesidad de desarrollar formulaciones de propulsor alternativas,

Sumario

20 La presente invención se refiere a un método de fabricación de un propulsor de cohete que incluye combinar por lo menos dos fluidos hidrocarbonados en la que por lo menos uno de los por lo menos dos fluidos hidrocarbonados contiene más de 60% en peso de isoparafinas, en la que el propulsor de cohete cumple las especificaciones RP-1 según la United States Defense Department Specification MIL-DTL-25576E, de 14 de abril de 2006.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 ilustra una curva de destilación de propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente, en la que $T_{(eC)} = (T_{(eF)} - 32) / 1,8$

La Figura 2 ilustra curvas de destilación para mezclas patrón.

25 La Figura 3 ilustra los datos de la curva de destilación de los propulsores formulados,

La Figura 4 ilustra los datos de densidad para los propulsores formulados.

La Figura 5 ilustra los datos de la curva de destilación de las mezclas de reserva.

La Figura 6 ilustra las curvas de destilación de los propulsores formulados.

La Figura 7 ilustra los datos de densidad para los propulsores formulados.

30 La Figura 8 ilustra los ahorros de peso de los propulsores formulados, en la que 1 libra = 0,453 kg.

La Figura 9 ilustra el contenido de hidrógeno para los propulsores formulados.

La Figura 10 ilustra el calor neto de combustión para los propulsores formulados, en la que 1 BTU/lb = 0,002326 MJ/kg.

La Figura 11 ilustra los datos de la curva de destilación de los propulsores formulados.

35 La Figura 12 ilustra las curvas de destilación para los propulsores formulados y el propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente.

Descripción detallada

Introducción y definiciones

40 Se proporcionará ahora una descripción detallada. Cada una de las reivindicaciones adjuntas define una invención separada, que para propósitos de infracción se reconoce que incluye equivalentes a los diversos elementos o limitaciones especificados en las reivindicaciones. La descripción a continuación incluye realizaciones, versiones y ejemplos específicos, que se incluyen para permitir que una persona que tiene conocimientos medios en la técnica prepare y use los métodos y composiciones de materia descritos cuando la información en esta descripción se combina con información y tecnología disponibles.

45 A continuación se muestran varios términos, tal como se usan aquí. En la medida en que un término usado en una

reivindicación no se defina a continuación, se le debe dar la definición más amplia que las personas expertas en la técnica pertinente le hayan dado a ese término como se refleja en las publicaciones impresas y las patentes emitidas en el momento de la presentación.

5 Además, varios intervalos y/o límites numéricos se pueden citar expresamente a continuación. Se debe reconocer que cualquier intervalo incluye intervalos iterativos de magnitud similar que caen dentro de los intervalos o límites citados expresamente.

10 Un gran porcentaje de esos vehículos son vehículos de lanzamiento y cohetes, mientras que los vehículos adicionales incluyen aviones espaciales hipersónicos, tales como los impulsados por estatorreactores (ramjets) o estatorreactores de combustión supersónica (scramjets), por ejemplo. Los estatorreactores son generalmente motores a reacción que utilizan el movimiento hacia adelante de un reactor para comprimir el aire entrante, que generalmente no puede producir propulsión a velocidad cero y, de este modo, no puede mover un avión a reacción desde parado. Un estatorreactor de combustión supersónica es una variante del estatorreactor en el que el proceso de combustión tiene lugar en un flujo de aire supersónico.

15 Los cohetes generan propulsión expulsando masa detrás de ellos a alta velocidad. Los cohetes químicos hacen reaccionar propulsor y oxidante, tal como oxígeno líquido, en una cámara de combustión creando una corriente de gas de alta velocidad para producir propulsión. Las cargas útiles actuales de estos vehículos están limitadas en gran medida por la densidad y el contenido energético de los propulsores.

20 El impulso específico de un propulsor de cohete (I_{sp}) es un parámetro que relaciona la propulsión generada con el caudal másico de propulsor en la cámara de combustión. La relación es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura de la cámara e inversamente proporcional a la raíz cuadrada del peso molecular del contenido de la cámara. De este modo, el impulso específico se incrementa con el incremento de la temperatura de la cámara (lo que da como resultado presiones de la cámara más altas) y la disminución del peso molecular de los productos de combustión (que consigue velocidades de escape más altas que los productos más pesados). El impulso específico es esencialmente un término de momento. El incremento de la masa de combustible quemado en un período de tiempo determinado o la velocidad de los gases de escape generalmente tendrá un efecto beneficioso sobre un impulso específico. Son deseables impulsos específicos más altos dado que se generan mayores propulsiones para un peso dado de combustible quemado. El resultado es que se puede elevar una carga útil mayor a la órbita o se puede conseguir una órbita más alta de lo que sería posible de otro modo.

30 Muchos de los usuarios actuales de propulsor usan un propulsor que cumple la especificación "RP-1" (en lo sucesivo denominado "propulsor RP-1"). Otros usuarios que son más sensibles al contenido de azufre requieren el uso de un propulsor que cumpla la especificación RP-2. Algunas especificaciones de propiedades químicas y físicas relevantes para los propulsores RP-1 y RP-2 se muestran en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1

Propiedad	Límite RP-1	Límite RP-2	Método ASTM
10% de combustible evaporado	185-210 (°C) 365-410 (°F)	185-210 (°C) 365-410 (°F)	
Punto final	273 (°C) 525 max (°F)	273 (°C) 525 max (°F)	D-86
Gravedad específica 15,5°C (60°F)	0,799-0,815		D-1298
Azufre (ppm)	30 max	0,1 max	D-5623
Azufre de mercaptano (ppm)	3 max	No se requiere	D-3227
Punto de congelación (°F)	-60 max (-51°C)	-60 max (-51°C)	D-2386
Calor neto de combustión	43,031 (MJ/kg) 18500 min (BTU/lb)	43,031 (MJ/kg) 18500 min (BTU/lb)	D-240
Compuestos aromáticos (% en volumen)	5 max	5 max	D-1319
Olefinas (% en volumen)	2 max	2 max	D-1319
Contenido de hidrógeno (% en peso)	13,8 min	13,8 min	D-3343
Punto de inflamación (°F)	140 min (60°C)	140 min (60°C)	D-93
* según la United States Defense Department Specification MIL-DTL-25576E, de 14 de abril de 2006.			

Tradicionalmente, los propulsores RP-1 son queroseno altamente refinado similar al combustible para reactores. El

queroseno se obtiene generalmente de la destilación fraccionada de petróleo entre 140°C y 250°C, lo que da como resultado una mezcla de moléculas con cadenas de carbono de longitud entre 10 y 25 átomos de carbono. Por ejemplo, los propulsores RP-1 pueden tener un peso molecular medio de alrededor de 175, una densidad de alrededor de 0,82 g/ml y un intervalo de punto de ebullición de 350°F (176°C) a 525°F (273°C). En teoría, casi cualquier crudo puede producir algunos propulsores RP-1 con suficiente procesamiento; sin embargo, en la práctica, el combustible se obtiene típicamente de una pequeña cantidad de campos petrolíferos con stock base de alta calidad debido a los costes y a la dificultad implicada en refinar crudos de menor calidad.

A diferencia de los métodos tradicionales de fabricación de propulsores RP-1, los propulsores de la presente invención se formulan mezclando uno o más fluidos hidrocarbonados para formar propulsores formulados.

Como se usa aquí, la expresión "fluidos hidrocarbonados" se usa en un sentido genérico para describir una amplia gama de materiales usados en una gama igualmente amplia de aplicaciones. Los fluidos hidrocarbonados generalmente utilizados para los propulsores formulados descritos aquí se pueden producir mediante varios procedimientos. Por ejemplo, se pueden producir fluidos hidrocarbonados a partir de hidrot ratamiento severo, hidrot ratamiento profundo o hidro craqueo para retirar azufre y otros heteroátomos o procedimientos de polimerización u oligomerización, siendo seguidos dichos procedimientos por destilación para separarlos en estrechos intervalos de ebullición. En algunos casos puede haber etapas adicionales, tales como la separación química o física para concentrar una corriente en isoparafinas o parafinas. Además, las isoparafinas derivadas de la oligomerización pueden constituir fluidos hidrocarbonados.

Algunos fluidos hidrocarbonados se describen en la patente de EE.UU. No. 7311814 y la patente de EE.UU. No. 7056869. A diferencia de los combustibles, los fluidos hidrocarbonados tienden a tener un intervalo de punto de ebullición estrecho, por ejemplo, menos de 500°F (260°C) o 300°F (148°C) o 100°F (37°C), por ejemplo. Tales cortes estrechos proporcionan un intervalo de punto de inflamación más estrecho y proporcionan una viscosidad más ajustada, una estabilidad de la viscosidad mejorada y especificaciones de evaporación definidas, como se muestra mediante la curva de destilación, por ejemplo.

En ciertas realizaciones, los fluidos hidrocarbonados se pueden producir por hidro craqueo de un destilado de gasóleo al vacío seguido de fraccionamiento y/o hidrogenación del gasóleo al vacío hidro craqueado. Tales fluidos pueden tener un intervalo de punto de ebullición ASTM D86 de 212°F (100°C) a 752°F (400°C), en el que los fluidos hidrocarbonados individuales pueden tener los intervalos de ebullición más estrechos descritos aquí. Los fluidos pueden tener además un contenido nafténico de por lo menos 40% en peso, 60% en peso o 70% en peso, por ejemplo. Los fluidos pueden tener además un contenido de compuestos aromáticos de menos de 2% en peso, o 1,5% en peso o 1,0% en peso, por ejemplo. Los fluidos pueden tener además un punto de anilina por debajo de 212°F (100°C) o 205°F (96°C) o 200°F (93°C), por ejemplo.

En algunas realizaciones, los fluidos hidrocarbonados tienen concentraciones bajas de azufre, por ejemplo, menos de 30 ppm, o menos de 15 ppm o menos de 3 ppm, contenidos de compuestos aromáticos que están por debajo de 1,0% en volumen, o 0,5% en volumen o 0,01% en volumen, por ejemplo, calores netos de combustión relativamente altos e intervalos de destilación estrechos. Además, dependiendo de cómo se procese y produzca el fluido hidrocarbonado, el fluido hidrocarbonado se puede caracterizar además como predominantemente parafínico, isoparafínico o nafténico (por ejemplo, más del 40% en peso, o 50% en peso o 60% en peso o 80% en peso). Aunque tal caracterización puede ser útil en la mezcla para lograr densidades muy bajas y/o altos calores netos de combustión, tal caracterización no es una condición necesaria para la formulación de propulsores.

En la Tabla 2 a continuación se muestran algunos intervalos de propiedades físicas y químicas ilustrativas, no limitantes que caracterizan a varios fluidos hidrocarbonados.

Tabla 2

Propiedad	Intervalo	Método ASTM
Punto final (°F)	250-600 o <525 (121-315°C o <273°C)	D-86
Gravedad específica 15,5°C (60°F)	0,760-0,825 o 0,79-0,81	D-1298
Azufre (ppm)	0,1-5,0 o <3	D-5623
Azufre de mercaptano (ppm)	<1 o <0,5	D-3227
Punto de congelación (°F)	de -120 a -40 (de -84 a -40°C)	D-2386
Calor neto de combustión	>42,449, >43,263, 43,612 (MJ/Kg) >18250, >18600, >18750 (BTU/lb)	D-240
Compuestos aromáticos (% en volumen)	0-0,1	D-1319

Propiedad	Intervalo	Método ASTM
Olefinas (% en volumen)	0-0,1	D-1319
Contenido de hidrógeno (% en peso)	13,0-15,3	D-3343
Punto de inflamación (°F)	130-225, >140 (54-107°C, >60°C)	D-93

Los fluidos hidrocarbonados se pueden derivar de cualquier material de partida apropiado que pueda dar como resultado materiales que cumplan los requisitos de uso final. Cabe señalar que los materiales de partida no necesitan caer dentro del intervalo de ebullición del producto final, como en el caso del gasóleo mencionado anteriormente. De este modo, los materiales de partida para la producción de fluidos hidrocarbonados pueden ser gasóleos u otro material de alto peso molecular (que se hidrocraquean adicionalmente a materiales de menor peso molecular o se hidrotentan profundamente para disminuir el contenido de azufre, materiales que normalmente se clasifican como destilados, tales como queroseno, diésel de destilación directa, diésel de contenido de azufre ultra bajo, diésel de coquización (con suficiente hidroprocesado) o aceite de ciclo ligero de unidades de FCC, por ejemplo. Los materiales de partida pueden ser queroseno o gasóleos del proceso de gas a líquido o de procesos de conversión de biomasa. Después de suficiente hidroprocesado para retirar, en ciertas realizaciones, se usan como materiales de partida biodiésel y biojet.

Típicamente, el biodiésel y biojet se hidroprocesan para retirar oxígeno. En algunas realizaciones, se usan triglicéridos que, después del procesado producen una cadena de carbono en el intervalo de C12 a C18 como materias primas. El biodiésel y el biojet pueden ser de origen vegetal o animal. Adicionalmente, las materias primas pueden ser olefinas para producir los fluidos hidrocarbonados, siendo las olefinas polimerizadas u oligomerizadas. En una o más realizaciones, los materiales de partida pueden incluir propeno, buteno o combinaciones de los mismos, por ejemplo. Las olefinas se pueden producir a partir de fuentes tradicionales, como un craqueador de nafta. Alternativamente, en ciertas realizaciones de la presente descripción, las olefinas se producen a partir de la deshidratación de alcoholes de bajo número de carbonos. Los alcoholes de bajo número de carbonos se pueden producir por medio de varios procesos de fermentación de biomasa. En determinadas realizaciones, los fluidos hidrocarbonados pueden incluir gasóleo, queroseno, diésel de destilación directa, diésel de contenido ultra bajo de azufre, diésel de coquización, aceite de ciclo ligero, gasóleo hidrodesparafinado o cortes de queroseno, etileno, propeno, buteno o combinaciones de los mismos.

En una o más realizaciones, los fluidos hidrocarbonados son generalmente componentes seleccionados de cortes de C₉-C₁₈ o cortes de destilación más estrechos. Los ejemplos específicos, no limitantes, de cortes de destilación que caracterizan fluidos hidrocarbonados que se pueden mezclar para formar el propulsor formulado incluyen SPIRDANE® (por ejemplo, D-40 que tiene una densidad de alrededor de 0,790 g/ml, un intervalo de ebullición de 356°F-419°F (180-215°C), punto de inflamación de 107,6°F (42°C) y D-60 que tiene una densidad de alrededor de 0,770 g/ml, un intervalo de ebullición de 311°F-392°F (155-200°C), punto de inflamación de 145°F (62°C)), KETRUL® (por ejemplo, D-70 que tiene una densidad de alrededor de 0,817 g/ml, un intervalo de ebullición de 381°F-462°F (193-238°C), punto de inflamación de 71°C (160°F) y D-80 que tiene una densidad de alrededor de 0,817 g/ml, un intervalo de ebullición de 202-240°C (397°F-465°F), punto de inflamación de 77°C (170,6°F)), HYDROSEAL® (por ejemplo, G 232 H) y fluidos ISANE IP®, disponibles comercialmente en TOTAL FLUIDES, SA, fluidos ISOPAR™, disponibles comercialmente en ExxonMobil Chemical Corp. e IP2835, comercialmente disponible en Idemitsu Corp.

Con la información y los métodos proporcionados en esta descripción, es posible formular un propulsor con características deseadas particulares mezclando corrientes hidrocarbonadas. Los propulsores formulados incluyen dos o más fluidos hidrocarbonados. Por ejemplo, en algunas realizaciones el propulsor formulado incluye dos fluidos hidrocarbonados. En otras realizaciones, el propulsor formulado incluye tres fluidos hidrocarbonados. En otras realizaciones más, el propulsor formulado incluye cuatro fluidos hidrocarbonados. Los fluidos hidrocarbonados individuales se escogen para la formulación en propulsores dependiendo de lo que cada uno contribuye a las propiedades finales de una mezcla de combustible para cohetes.

En una o más realizaciones, el propulsor formulado se formula para exhibir una curva de destilación particular o aspectos de una curva de destilación particular. Por ejemplo, el propulsor formulado se diseña para tener un extremo frontal dentro de los límites del combustible evaporado designado en la Tabla 1 y un punto final a o por debajo de la temperatura del punto final especificada en la Tabla 1. En tal caso, se pueden mezclar una pluralidad de fluidos hidrocarbonados para crear un propulsor formulado que cumpla las especificaciones RP-1 para "combustible evaporado" y "punto final".

No es necesario que los fluidos hidrocarbonados individuales que se van a mezclar tengan características de fluido particulares, tales como punto final o combustible evaporado, dentro de la especificación deseada. Es decir, el propulsor formulado se puede formular a partir de un amplio espectro de fluidos hidrocarbonados que por sí mismos no cumplen la especificación deseada. Además, se pueden incorporar formulaciones de combustible para reactores conocidas con el fluido hidrocarbonado. Al utilizar tales combinaciones, se puede lograr una distribución de la propiedad más amplia y personalizada. Por ejemplo, un propulsor formulado no limitante específico puede estar

5 formado por un primer fluido hidrocarbonado que tiene un punto final más alto que la especificación deseada mientras que un segundo fluido hidrocarbonado puede tener un punto final por debajo del de la especificación deseada para lograr una mezcla que tiene un punto final que cae dentro de la especificación deseada. Además, al seleccionar los fluidos hidrocarbonados individuales, puede ser posible replicar una curva de destilación deseada dentro de un margen aceptable.

10 Aunque en ciertas circunstancias se puede usar un único fluido hidrocarbonado como propulsor, tal como uno que se encuentre dentro o se superponga al intervalo de destilación para una especificación de propulsor particular, tal como RP-1, la combinación de dos o más fluidos da como resultado mayor flexibilidad en cuanto a qué estrechamente es posible igualar la totalidad de la curva de destilación deseada. Por ejemplo, al hacer coincidir dos puntos dentro de la especificación para las curvas de destilación del propulsor RP-1, por ejemplo, el 10% y el punto final, puede que no sea necesario hacer coincidir toda la curva del propulsor RP-1 para estar dentro de la especificación. Sin embargo, al combinar dos o más fluidos hidrocarbonados, es posible lograr un propulsor formulado que coincida más con la curva de destilación deseada, mejorando por ello el rendimiento o estandarizando el rendimiento, por ejemplo.

15 Además de mezclar los fluidos hidrocarbonados para alcanzar ciertos puntos en una curva de destilación, tales como el 10% de combustible evaporado y el punto final, los fluidos hidrocarbonados se pueden mezclar para lograr muchas otras características. Por ejemplo, los fluidos hidrocarbonados se pueden mezclar para lograr propulsores formulados con ciertas propiedades de flujo frío, tales como punto de fluidez, punto de enturbiamiento, punto de congelación y viscosidad. En otras realizaciones, los fluidos hidrocarbonados se pueden mezclar para lograr ciertas características de rendimiento del propulsor, tales como densidad, contenido de hidrógeno y calor neto de combustión.

20 Como ejemplo, en algunas realizaciones, los fluidos hidrocarbonados que tienen un punto de inflamación por debajo de la especificación del propulsor RP-1 de 140°F (60°C) se pueden usar en la formulación, pero solo en cantidades que no reducen el punto de inflamación de la mezcla final por debajo de la especificación. De manera similar, los fluidos con puntos de congelación por encima de la especificación máxima de -60°F (-51°C), tales como aquellos con una pequeña cantidad de compuestos aromáticos, se pueden incluir en la mezcla con tal de que el punto de congelación final esté por debajo del valor de especificación del propulsor RP-1.

25 El uso de fluidos hidrocarbonados de los que se han reducido/retirado los compuestos aromáticos proporciona otro beneficio al propulsor. En algunas realizaciones, la cantidad reducida de compuestos aromáticos en los componentes del fluido hidrocarbonado conduce a un calor neto de combustión más alto para los componentes de los fluidos hidrocarbonados usados como mezcla patrón. En algunas realizaciones, la combinación de estos fluidos hidrocarbonados de alto calor neto de combustión da como resultado un producto que excede la especificación mínima de 43,031 MJ/kg (18500 BTU/libra) del propulsor RP-1. En algunas realizaciones de la presente descripción, el calor neto de combustión es de 43,031 MJ/kg a 44,194 MJ/kg (de 18500 BTU/libra a 19000 BTU por libra) medido según la ASTM D-240. En otras realizaciones de la presente descripción, el calor neto de combustión está entre 43,496 MJ/kg y 43,961 MJ/kg (de 18700 BTU/libra a 18900 BTU por libra) medido según la ASTM D-240. Además, el uso de fluidos hidrocarbonados de los que se han retirado o reducido los compuestos aromáticos también puede incrementar el contenido de hidrocarburo del propulsor formulado.

30 Además, las mezclas patrón isoparafínicas pueden ayudar a elevar el calor neto de combustión cuando se incluyen en la mezcla, ya que el calor neto de combustión de tales mezclas patrón es mayor que los compuestos aromáticos o nafténicos que se caracterizan por el mismo número de carbonos. La mezcla patrón de parafina normal también puede elevar el calor neto de combustión.

35 Diferentes mezclas patrón pueden tener diferentes velocidades de combustión. Típicamente, los diseñadores de motores de cohete prefieren un intervalo o velocidad de combustión particular para asegurarse de que el frente de la llama se propague a través del motor de cohete a una velocidad deseada. Una velocidad de combustión demasiado rápida puede dar como resultado que la combustión se complete antes del punto deseado en el motor. Una velocidad de combustión demasiado lenta puede provocar el problema opuesto. Típicamente, las parafinas normales tienen una velocidad de combustión muy alta. Las isoparafinas suelen tener una menor velocidad de combustión. En ciertas realizaciones de la presente descripción, la relación isoparafina/parafina de las mezclas patrón se controla para lograr una velocidad de combustión optimizada para el propulsor formulado.

40 La densidad es un parámetro importante del propulsor ya que determina el peso del combustible que debe levantar el vehículo. Dentro del marco de la curva de destilación deseada, se pueden elegir fluidos hidrocarbonados para alterar la densidad de la mezcla final. Por ejemplo, los fluidos de base nafténica tenderán a elevar la densidad final mientras que los fluidos isoparafínicos tienden a reducir la densidad del producto final. Los materiales que contienen una cantidad significativa de naftenos y se encuentran en el extremo superior de la curva de destilación en relación con una especificación de propulsor como RP-1, tales como HYDROSEALS®, se pueden usar para incrementar la densidad del producto mezclado. En la presente descripción, la densidad a 15°C está entre 0,799 y 0,815, entre 0,81 y 0,8135, medida según la D-1298.

45 Por consiguiente, una o más realizaciones utilizan fluidos hidrocarbonados de isoparafina como por lo menos uno de

los dos o más fluidos hidrocarbonados. En una o más realizaciones, el propulsor puede incluir un primer fluido hidrocarbonado que tiene una densidad superior a 0,8 g/ml y un segundo fluido hidrocarbonado que tiene una densidad inferior a 0,8 g/ml, por ejemplo. Los propulsores formulados pueden tener un peso que es alrededor de 5%, o 7% o 9% menos que el peso del propulsor RP-1, por ejemplo.

5 El contenido de hidrógeno del propulsor tiene un efecto significativo sobre el rendimiento del propulsor. Generalmente, cuanto mayor es el contenido de hidrógeno, mayor es la Isp del propulsor. En ciertas realizaciones, para mantener bajo el peso molecular de los gases de escape, el motor de cohete se hace funcionar ligeramente rico en combustible para producir CO en lugar de CO₂ como producto de combustión. A medida que se incrementa el contenido de hidrógeno, la cantidad de oxidante necesaria (la relación de mezcla) para quemar el propulsor también se puede incrementar porque hay más átomos presentes para un compuesto de número de carbonos dado. Específicamente, un incremento en la relación de hidrógeno a carbono del combustible da como resultado un incremento de la relación estequiométrica de oxígeno a combustible. De este modo, se expulsan más moles de gas de la tobera de escape como productos de combustión. Cuando esos moles adicionales de gas son agua, el peso molecular medio de los gases de escape disminuye. Adicionalmente, se forman y se expulsan de la cámara de combustión una cantidad significativa de fragmentos moleculares de átomos de OH e hidrógeno. La proporción de estos también se puede incrementar con un incremento de la relación de hidrógeno a carbono y reducir adicionalmente el peso molecular medio de los gases de escape.

En algunas realizaciones de la presente descripción, el contenido de hidrógeno del propulsor formulado se controla incrementando la proporción de hidrógeno de átomos de carbono de las moléculas de las mezclas patrón de fluido hidrocarbonado. Por ejemplo, la reducción de los anillos y la ramificación y el incremento del grado de saturación de hidrógeno de las moléculas de hidrocarburo incrementa la relación de átomos de hidrógeno:carbono, incrementando por ello el contenido de hidrógeno del propulsor. La retirada o reducción de compuestos aromáticos en las mezclas patrón de fluidos hidrocarbonados puede dar como resultado un incremento significativo del contenido de hidrógeno. El contenido de hidrógeno en algunas realizaciones de propulsor de cohete de la presente descripción es de 14,25 - 15% en peso, de 14 - 14,8% en peso, menos de 15,3% en peso y entre 14,8 y 15% en peso, medido según la ASTM D-3343.

Típicamente, los fluidos hidrocarbonados usados en el propulsor formulado mezclado tienen una concentración de azufre muy baja. El azufre afecta negativamente al rendimiento del propulsor de varias formas, incluida la reducción del calor neto de combustión y el incremento de la suciedad. Por tanto, en algunas realizaciones, los propulsores formulados incluyen contenidos de azufre significativamente reducidos en comparación con los propulsores RP-1 convencionales. Por ejemplo, los propulsores formulados pueden incluir menos de 30 ppm o menos de 5 ppm de azufre. En otras realizaciones, los propulsores formulados contienen menos de 3 ppm de azufre o menos de 1 ppm de azufre.

Debido a la ausencia significativa de olefinas y compuestos aromáticos del propulsor formulado, los propulsores formulados exhiben una estabilidad térmica mejorada con respecto a un propulsor RP-1 fabricado adicionalmente. Los motores utilizados en los vehículos descritos aquí pueden incluir serpentines de enfriamiento alrededor de una tobera de escape a través de los que fluye el combustible de los tanques antes de la inyección a una cámara de combustión. Los serpentines de enfriamiento se ensucian periódicamente, en gran parte debido a los compuestos aromáticos y/u olefinas presentes en el propulsor. Por consiguiente, los propulsores formulados proporcionan un combustible que puede permitir la reutilización de los motores de cohete de la etapa de aceleración debido a una reducción significativa, si no eliminada, de las incrustaciones de los serpentines de enfriamiento, por ejemplo.

El propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente se puede usar tanto en la etapa de aceleración como en las etapas superiores. Sin embargo, es más común que las etapas superiores incluyan o usen por completo combustibles de mayor energía debido a problemas de densidad y rendimiento con RP-1. Como puede apreciar una persona de experiencia media en la técnica con el beneficio de esta descripción, mediante la manipulación de los parámetros de rendimiento del propulsor formulado, los propulsores formulados de acuerdo con esta descripción se pueden usar en etapas superiores, ya sea solos o en combinación con combustibles de mayor energía. En ciertas realizaciones de la presente descripción, el propulsor formulado se puede combinar con un metal en polvo capaz de formar un óxido metálico para lograr un nivel más alto de impulso específico. Un ejemplo de tal metal es el aluminio.

Los propulsores formulados de la presente descripción superan los problemas de disponibilidad/rendimiento de algunos propulsores RP-1 tradicionales mezclando fluidos hidrocarbonados existentes para producir un propulsor por lo menos igual en propiedades y coste, si no superior, a propulsores RP-1 fabricados tradicionalmente. Además, los propulsores formulados de la presente descripción se pueden adaptar para proporcionar propiedades tales como densidad, contenido de hidrógeno y calor de combustión mientras exhiben la capacidad de mantener un nivel más alto de impulso específico (Isp) que el disponible con RP-1 fabricado convencionalmente.

Se contempla además que el propulsor formulado puede contener varios aditivos, tales como colorantes, antioxidantes, desactivadores de metales y combinaciones de los mismos, por ejemplo.

Ejemplos

Una muestra de propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente y muestras de varios propulsores formulados se analizaron mediante D-86, densidad, punto de anilina, punto de enturbiamiento, contenido de azufre y contenido de compuestos aromáticos mediante FIA. La curva de destilación y la densidad se usaron para calcular el contenido de hidrógeno mediante la ASTM D-3343. La curva de destilación, densidad, punto de anilina, contenido de azufre y contenido de compuestos aromáticos se usaron para calcular el calor neto de combustión mediante la ASTM D-4529. Como base de comparación, se obtuvo y analizó una muestra de propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente, con resultados ilustrados en los datos a continuación. La densidad se midió a 15°C, como requiere la ASTM D-4529, que es una estimación del calor neto de combustión. Las medidas de densidad subsecuentes realizadas en propulsores formulados se realizaron sobre la misma base. Lo último se usó para calcular el calor neto de combustión.

Para el propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente, el contenido de azufre estaba muy por debajo del máximo de 30 ppm. Se midió el punto de enturbiamiento en lugar del punto de congelación (estando el último a una temperatura más baja que el primero). El contenido de hidrógeno se calculó usando las fórmulas empíricas en la D-3343, que utiliza la densidad, la curva de destilación y el contenido de compuestos aromáticos. El valor era de 14,27%, superando la especificación de 13,8% (peso). Además, había una pequeña cantidad de compuestos aromáticos y olefinas presentes, 1,22 y 1,10% (vol.), respectivamente, que reducen ligeramente el contenido de hidrógeno. El contenido de hidrógeno máximo teórico para un corte de queroseno de C₁₂-C₁₈ está entre 14,9 y 15,3%. Como queroseno altamente hidrotratado, el propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente también se caracterizaría por la presencia de anillos nafténicos. Su contenido de hidrógeno del 14,3% era consistente con un solo anillo nafténico por molécula. La curva de destilación del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente se muestra en la Figura 1. Las líneas se insertaron para mostrar las especificaciones de la curva de destilación para el propulsor RP-1. El punto del 10% se debe alcanzar entre 365°F (185°C) y 410°F (210°C) y el punto final debe estar por debajo de 525°F (273°C) para las especificaciones RP-1. Como se indicó anteriormente, el propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente es un corte estrecho que consiste en compuestos de número de carbonos que van de C₁₂ a C₁₈. El incremento gradual de la temperatura con el porcentaje de destilado es indicativo de una mezcla compleja de compuestos con múltiples números de carbonos.

Los materiales analizados para su uso en los propulsores formulados fueron SPIRDANE® D-40, SPIRDANE® D-60, KETRUL® D-70, KETRUL® D-80, HYDROSEAL® G 232 H, ISANE IP® 175, e ISANE IP® 185. Las curvas de destilación para estos componentes se muestran en la Figura 2. Los datos se muestran en relación con la curva de destilación para el propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente. Ninguno de los componentes individuales era lo suficientemente parecido al propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente para ser utilizado "tal cual", es decir, sin formulación. Los componentes tenían un punto de ebullición más alto, como el G 232H, un punto de ebullición más bajo, como el D-60, o se caracterizaban por un intervalo de ebullición más estrecho, como el D-80. Sin embargo, esta combinación de atributos para los componentes de la mezcla permite flexibilidad en la mezcla, ya que el extremo frontal, medio y posterior de la curva de destilación del propulsor se puede adaptar para que coincida con la especificación RP-1. Alternativamente, se pueden optimizar varias características del propulsor relacionadas con la curva de destilación u otras propiedades mediante la selección apropiada de componentes para mezclar.

Las medidas de densidad para todos los componentes excluyendo los materiales ISANE IP® eran cercanas a las del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente. Los materiales ISANE IP® se caracterizaron por una densidad más baja que la del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente. Los calores netos de combustión y el contenido de hidrógeno de esos componentes, incluidos los materiales ISANE IP®, eran comparables a los del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente.

Una vez que se recopilaron los datos de los componentes, se prepararon los propulsores formulados. Se prepararon varias mezclas de prototipos para medir cómo los componentes se afectaban entre sí en combinación. Se prepararon tres prototipos y se denominaron proto-6, proto-7 y proto-8. El proto-6 fue diseñado para coincidir con la especificación RP-1. El proto-7 y proto-8 fueron diseñados para tener un punto de ebullición más bajo y un punto de ebullición más alto que la especificación RP-1, en promedio, respectivamente. Los dos últimos se prepararon para determinar qué intervalo de densidad y otras propiedades se podrían lograr con los componentes de la actual mezcla, tales como los materiales basados en SPIRDANE®, KETRUL® e HYDROSEAL® si se superaran los límites de la curva de destilación. Las formulaciones de mezcla para los prototipos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Formulación de mezcla	D-60 (% en volumen)	D-70 (% en volumen)	D-80 (% en volumen)	G232H (% en volumen)
Proto-6*	70	5	0	25
Proto-7*	90	5	0	5
Proto-8*	45	0	10	45
* no son parte de la invención				

Los datos de la curva de destilación para el propulsor proto-6, proto-7, proto-8 y RP-1 fabricado tradicionalmente se muestran en la Figura 3. Con especificaciones solo en el 10% y el punto final, existe una amplia latitud en la curva de destilación que cumplirá la especificación RP-1. Los tres prototipos cumplieron esta especificación. El proto-8, diseñado para ser de alto punto de ebullición en promedio, tenía un punto del 10% a 410°F, coincidiendo con el límite de la especificación. Los tres tenían puntos finales por debajo del máximo 525°F (273°C). El proto-7 estaba significativamente por debajo de él a 465°F (240°C), por diseño.

Una alta concentración del componente D-60 ligero reflejada en la posición de la curva de destilación de proto-7 por debajo de todos los demás ensayados. De manera similar, la alta concentración del componente pesado G232H elevó la curva de destilación de proto-8 por encima de todos los demás.

Los datos del punto de enturbiamiento para todas las formulaciones estaban por debajo de la especificación de congelación de -60°F (-51°C), lo que indica que todas tienen un punto de congelación aceptable. El contenido de azufre del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente se midió a 1 ppm mediante fluorescencia de rayos X de longitud de onda dispersiva, como se señaló anteriormente. Las formulaciones de prototipos estaban en el límite de detección para ese método con medidas de 0,5 a 0,6 ppm. Estos valores están muy cerca del límite máximo de 0,1 ppm para una formulación RP-2. Las medidas de densidad eran muy cercanas a las del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente, aunque ligeramente más altas, pero aún dentro de la especificación RP-1. Esto era consistente con la densidad de las mezclas patrón que estaban ligeramente por encima de la del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente. Las medidas de densidad se comparan en la Figura 4.

ISANE IP@175 y 185 se caracterizan por densidades significativamente más bajas que el propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente, pero tienen puntos de inflamación iguales o superiores a los de la especificación RP-1. La densidad de cada uno de estos estaba por debajo de 0,77 g/ml, una reducción significativa en relación con otros componentes de la mezcla y el propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente. Además, el contenido de hidrógeno se midió entre 15,1 y 15,2. Esto está de acuerdo con el valor teórico para una muestra completamente saturada sin anillos nafténicos en el intervalo de C₁₂ a C₁₈ y como se refleja mediante los valores típicos dados en el certificado de análisis para estos materiales.

Los datos de la curva de destilación para el propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente se muestran en la Figura 5 en comparación con ciertos fluidos hidrocarbonados. Los nuevos materiales son cortes muy estrechos con puntos finales por debajo de 400°F (204°C). Esto requiere el uso de un corte medio y pesado para crear una formulación de propulsor RP-1. Adicionalmente, el extremo frontal de la curva de destilación estaba muy limpio, lo que indica que estaban presentes pocos compuestos muy ligeros y de bajo punto de inflamación, lo que hace que estos componentes de mezcla sean ideales para la porción ligera de la formulación. Las mezclas de prototipos formuladas con los nuevos componentes se denominaron proto-9 a proto-12. La composición de estas mezclas se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Formulación de mezcla	D-60 (% en volumen)	D-70 (% en volumen)	D-80 (% en volumen)	G232H (% en volumen)	ISANE IP 175 (% en volumen)	ISANE IP 185 (% en volumen)
Proto-6*	70	5	0	25	0	0
Proto-7*	90	5	0	5	0	0
Proto-8*	45	0	10	45	0	0
Proto-9	0	10	0	30	0	60
Proto-10	0	0	15	20	0	65
Proto-11	0	12,5	0	12,5	75	0
Proto-12	0	15	0	20	0	65

* no es parte de la invención

Las curvas de destilación correspondientes a las nuevas formulaciones se muestran en la Figura 6. El proto-9 coincidía estrechamente con la curva de destilación del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente. El proto-11 fue diseñado para ser un propulsor de baja densidad, como se muestra por la concentración bastante alta de ISANE IP@175 en su formulación. El proto-10 y proto-12 se formularon para contener una mayor proporción de compuestos de punto de ebullición medio y examinar la diferencia entre las contribuciones de D-70 frente a D-80 a la curva de destilación. Como se muestra, la diferencia era mínima para las cantidades usadas.

El efecto inmediato de la presencia de reemplazar los componentes de menor punto de ebullición con isoparafinas se puede ver en la medida de densidad en la Figura 7. El cambio escalonado en la densidad es evidente. La mezcla de baja densidad proto-11 se midió a 0,7744 g/ml. Dado un vehículo hipotético de dos etapas con 108 m³ (28500 galones) de combustible en la etapa de aceleración y 24,6 m³ (6500 galones) en la segunda etapa, el peso ahorrado

mediante el uso de los prototipos de baja densidad se muestra en la Figura 8. El ahorro de peso de la etapa superior para proto-9, la copia de la curva de destilación del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente, es casi el 7% de la carga útil orbital. Este ahorro es de alrededor del 9% para el proto-11 de baja densidad. Este es un gran incremento de la carga útil.

5 El contenido de hidrógeno para los prototipos se muestra en la Figura 9. Reemplazar algunos de los compuestos que son de naturaleza nafténica con las isoparafinas completamente saturadas dio como resultado un aumento neto del contenido de hidrógeno a casi 14,9 para la copia del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente proto-9 y a 15 para la formulación de baja densidad, proto-11. Este era un incremento significativo en relación con la muestra de propulsor RP-1 fabricada tradicionalmente.

10 El calor neto de combustión para los prototipos se muestra en la Figura 10.

Además de las formulaciones proto- anteriores, se formuló el proto-20. El proto-20, como proto-6 y proto-9, fue diseñado para coincidir dentro de límites razonables con la curva de destilación asociada con el propulsor RP-1 producido tradicionalmente. La Figura 11 ilustra las curvas de destilación para las cuatro formulaciones. Sin embargo, el proto-20 también fue diseñado para proporcionar una densidad intermedia, contenido de hidrógeno y calor neto de combustión entre proto-6 y proto-9. Por consiguiente, el proto-20 tiene una densidad a 15°C de 0,8001, un contenido de hidrógeno de 14,51% en peso y un calor neto de combustión de 43,579 MJ/kg (18736 BTU/lb).

15

Se prepararon 22,7 m³ (seis mil galones) de proto-6 en una instalación a escala comercial. Como se muestra en la Figura 12, se tomó una muestra del propulsor formulado proto-6 producido en la instalación a escala comercial y la curva de destilación de la muestra (etiquetada como "Mezcla comercial RP") se comparó con la del propulsor RP-1 fabricado tradicionalmente (etiquetada RP-1) y la proto-6 formulada a escala de laboratorio ("Proto-6"). Como se muestra en la Figura 12, la ampliación hasta una instalación a escala comercial produjo una curva de destilación casi idéntica a la que se realizó a escala de laboratorio. La Tabla 5 proporciona datos adicionales para estos tres propulsores.

20

Tabla 5

		RP-1	Proto-6	Mezcla comercial
Densidad g/ml a 15C	ASTM D4052	0,8101	0,8118	0,8120
Azufre ppm en peso	ASTM D 7039	1	0,6	<0,5
Punto de enturbiamiento °C (°F)	ASTM D 2500	-87,7°C (-126°F)	-67,2°C (-89°F)	-68°C (-90,4°F)
Punto de fluidez °C (°F)	ASTM D 97	-90°C (-130°F)	-72,2°C (-98°F)	-75°C (-103°F)
Contenido de hidrógeno, % en peso	ASTM D 3343	14,27	14,29	14,28
Calor neto de combustión MJ/kg (BTU/lb)	ASTM D 4529	43,426 MJ/kg (18670 BTU/lb)	43,405 MJ/kg (18661 BTU/lb)	43,377 MJ/kg (18649 BTU/lb)
Viscosidad a 20C cSt	ASTM D 445			2,262
Punto de inflamación °C (°F)	ASTM 93			70°C (158°F)
Compuestos aromáticos, % en volumen FIA	ASTM D 1319	1,22		No detectados
Olefinas, % en volumen FIA	ASTM D 1319	1,10		No detectadas

25

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de fabricación de un propulsor de cohete que comprende combinar por lo menos dos fluidos hidrocarbonados, en el que por lo menos uno de los por lo menos dos fluidos hidrocarbonados contiene más de 60% en peso de isoparafinas, en el que el propulsor de cohete cumple las especificaciones RP-1 como se publica en la United States Defense Department Specification MIL-DTL-25576E, de 14 de abril de 2006.
2. El método de la reivindicación 1, en el que los fluidos hidrocarbonados tienen una concentración de azufre de menos de 3 ppm, medida según la ASTM D-5623.
3. El método de la reivindicación 1, en el que los fluidos hidrocarbonados tienen un contenido de compuestos aromáticos de menos de 1% en volumen, medido según la ASTM D-1319.
- 10 4. El método de la reivindicación 1, en el que los fluidos hidrocarbonados tienen un contenido de olefinas de menos de 0,1% en volumen, medido según la ASTM D-1319.
5. El método de la reivindicación 1, en el que los fluidos hidrocarbonados tienen un contenido de hidrógeno entre 13 y 15% en peso, medido según la ASTM D-3343.
- 15 6. El método de la reivindicación 1, en el que los fluidos hidrocarbonados tienen un punto de inflamación entre 54°C (130°F) y 107°C (225°F), medido según la ASTM D-93.
7. El método de la reivindicación 1, en el que el propulsor de cohete tiene un contenido de hidrógeno de entre 14,25 y 15% en peso, medido según la ASTM D-3343, preferentemente entre 14,8 y 15% en peso.
- 20 8. El método de la reivindicación 1, en el que el propulsor de cohete tiene un calor neto de combustión superior a 43,031 MJ/kg (18500 BTU/libra), medido según la ASTM D-240, preferentemente entre 43,031 (18500) y 44,194 (19000) MJ/kg (BTU/libra).
9. El método de la reivindicación 1, en el que por lo menos uno de los fluidos hidrocarbonados comprende una parafina normal.
10. El método de la reivindicación 1, en el que ninguno de los fluidos hidrocarbonados cumple la especificación RP-1 según la United States Defense Department Specification MIL-DTL-25576E, de 14 de abril de 2006.
- 25 11. El método de la reivindicación 1, en el que el propulsor de cohete comprende además un metal en polvo, y preferentemente el metal en polvo es aluminio.

FIG. 1

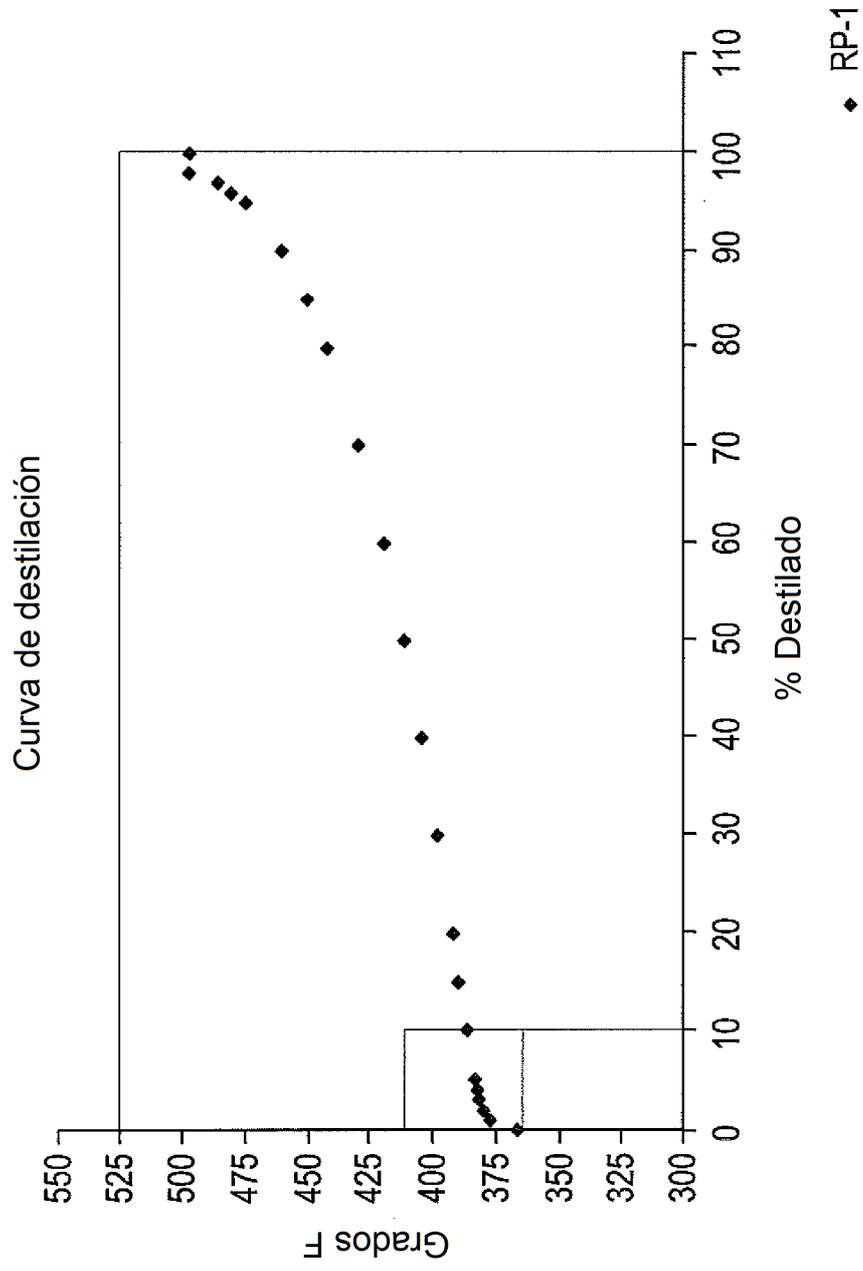


FIG. 2
Curvas de destilación

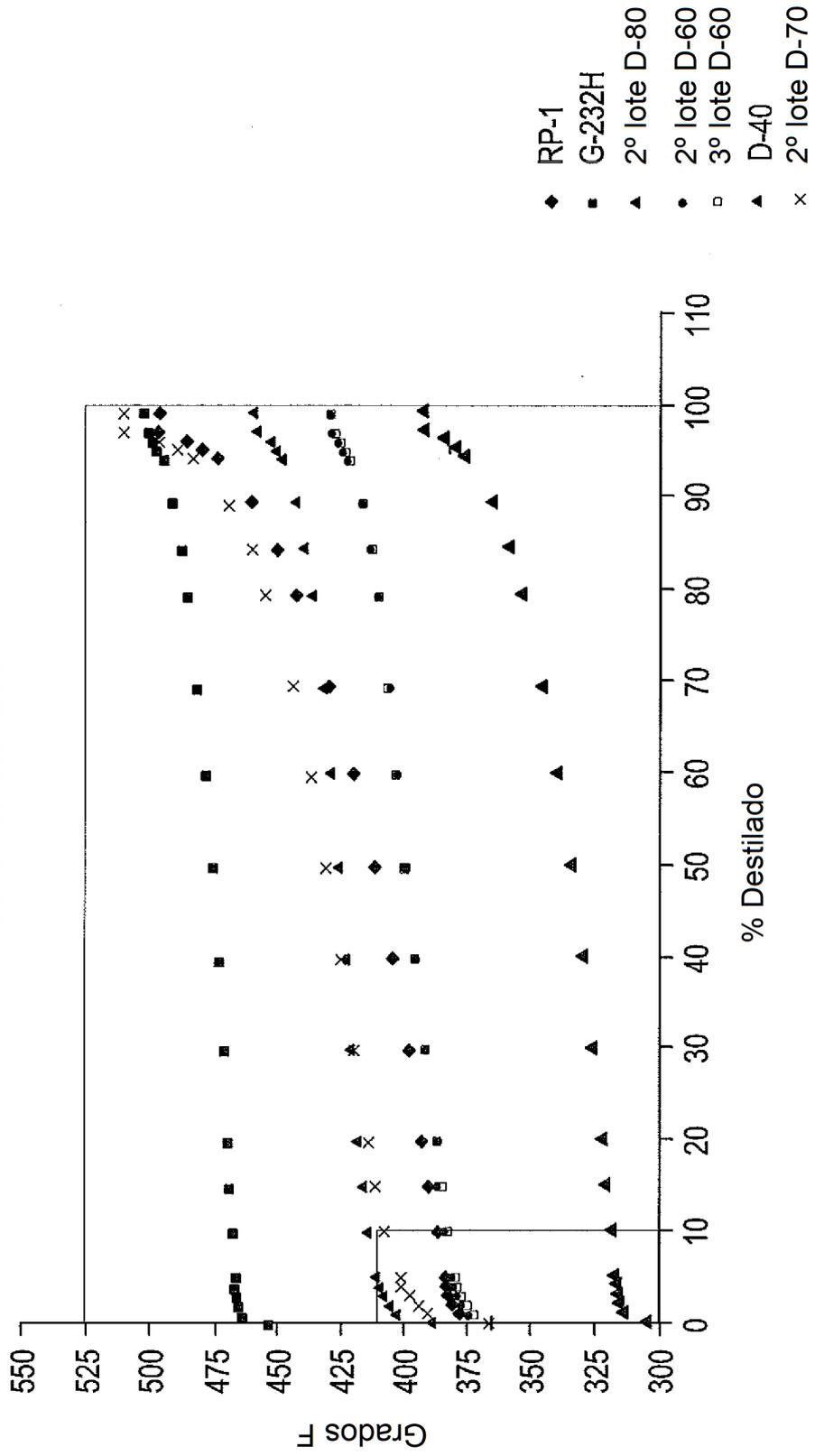


FIG. 3
Curvas de destilación prototipo

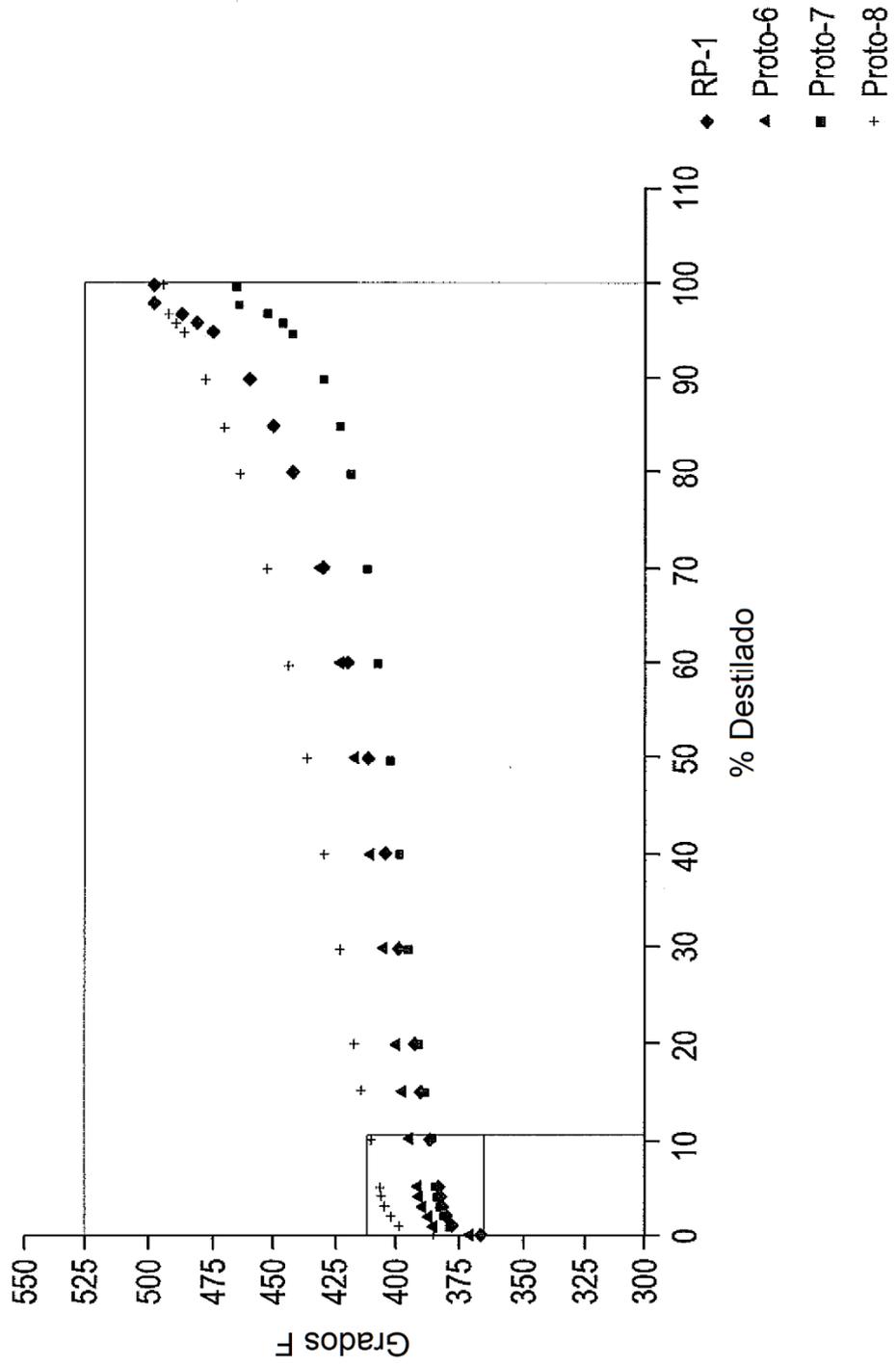


FIG. 4

Densidad a 15C

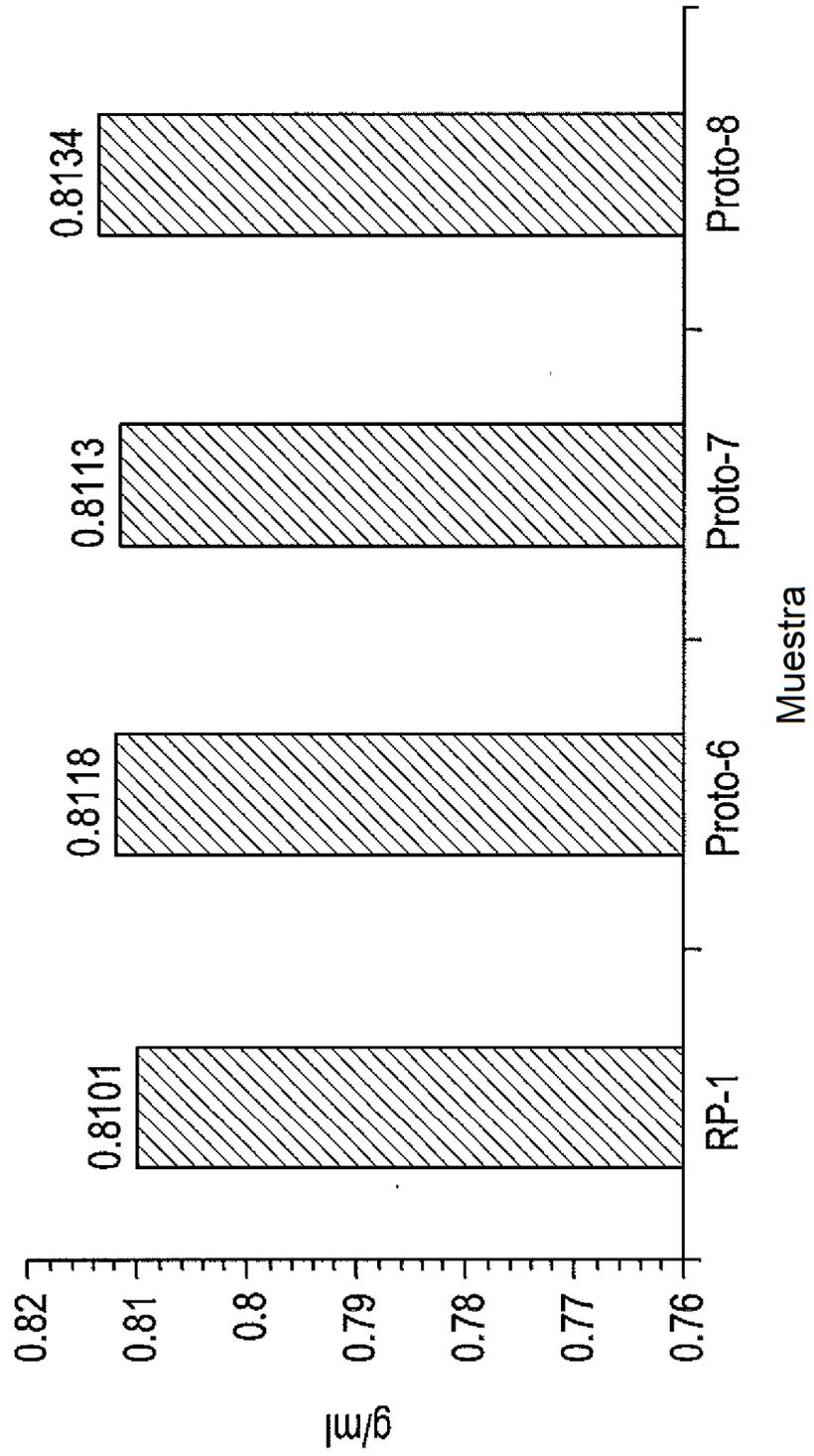


FIG. 5
Curvas de destilación

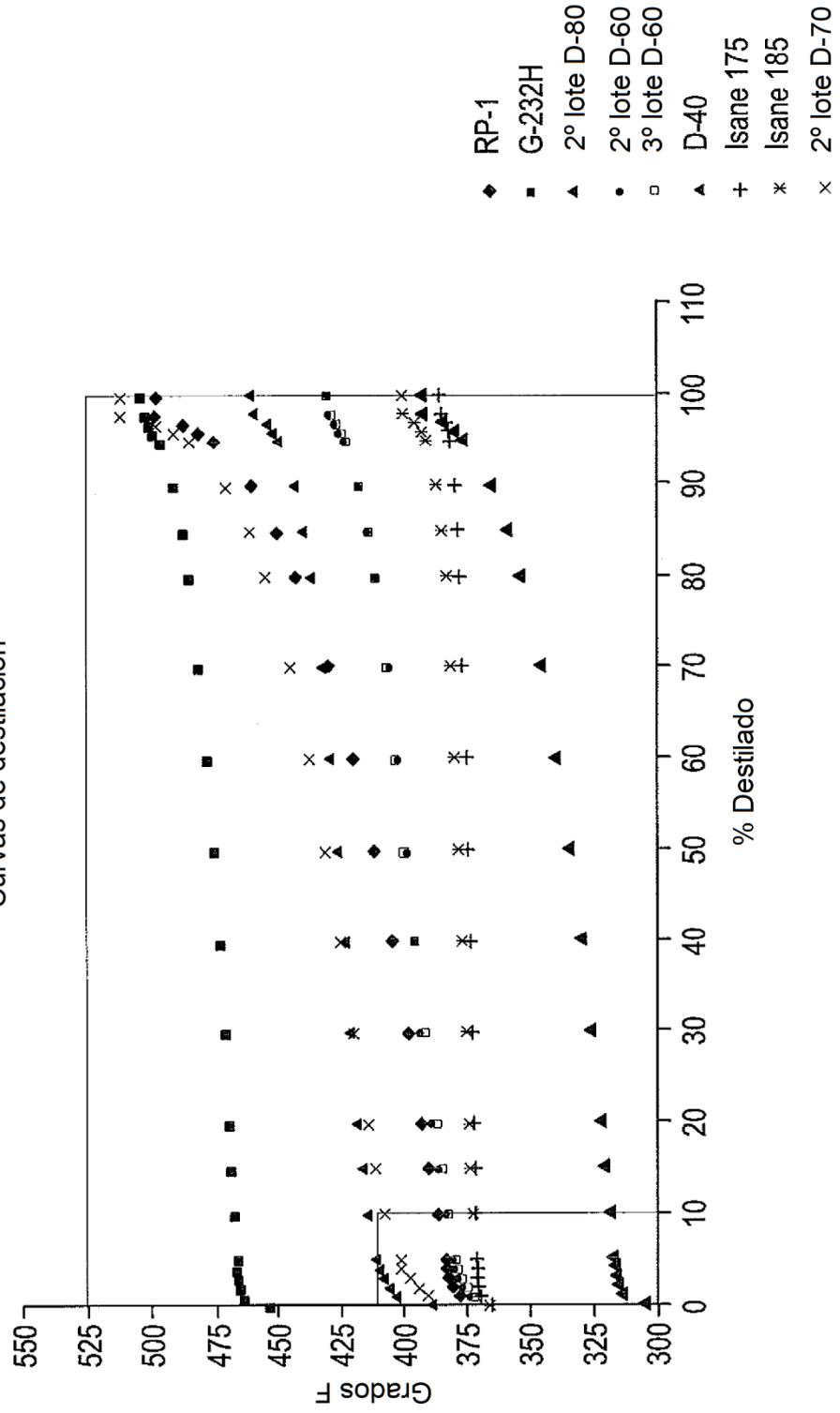


FIG. 6

Curvas de destilación prototipo

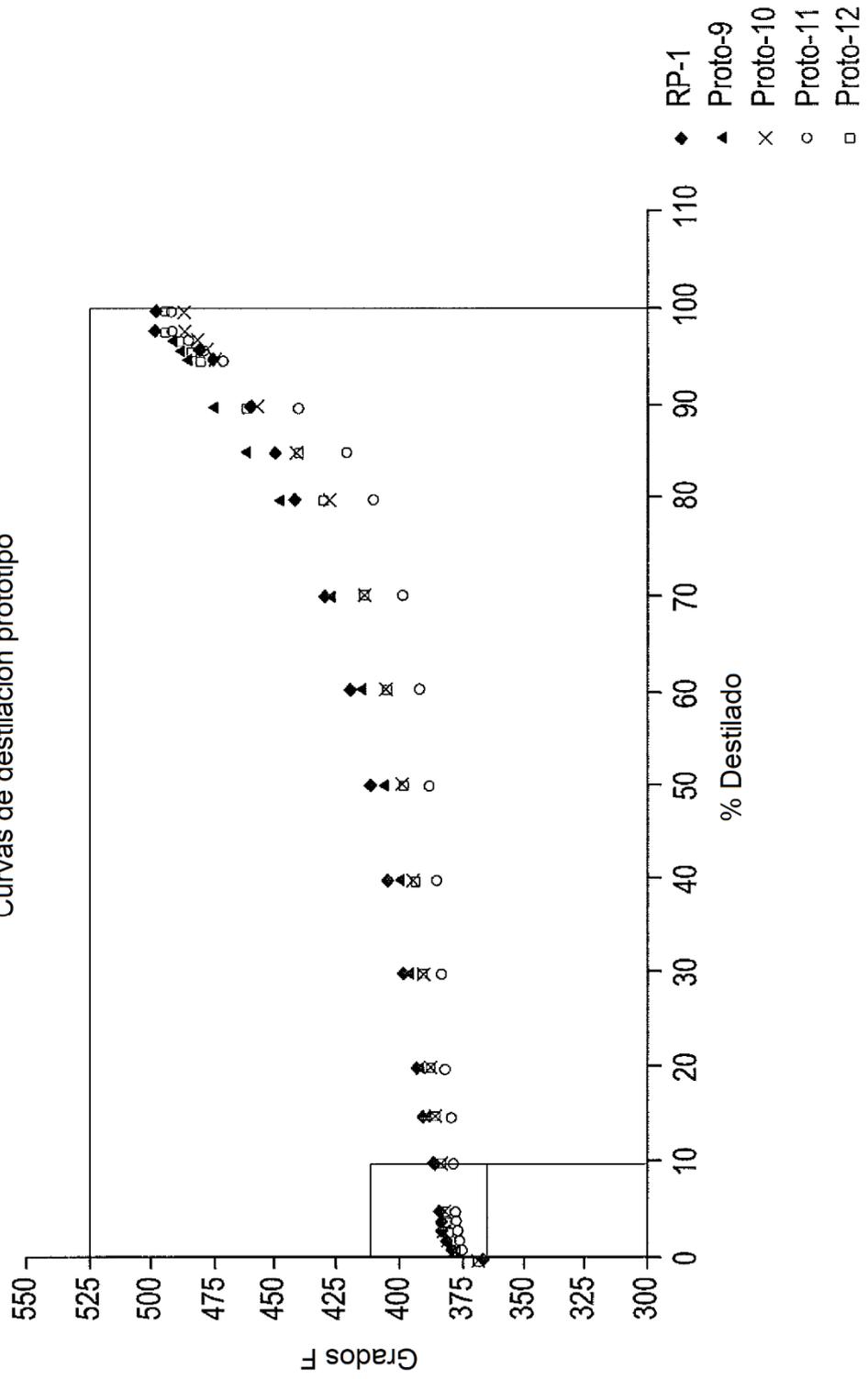


FIG. 7

Densidad a 15C

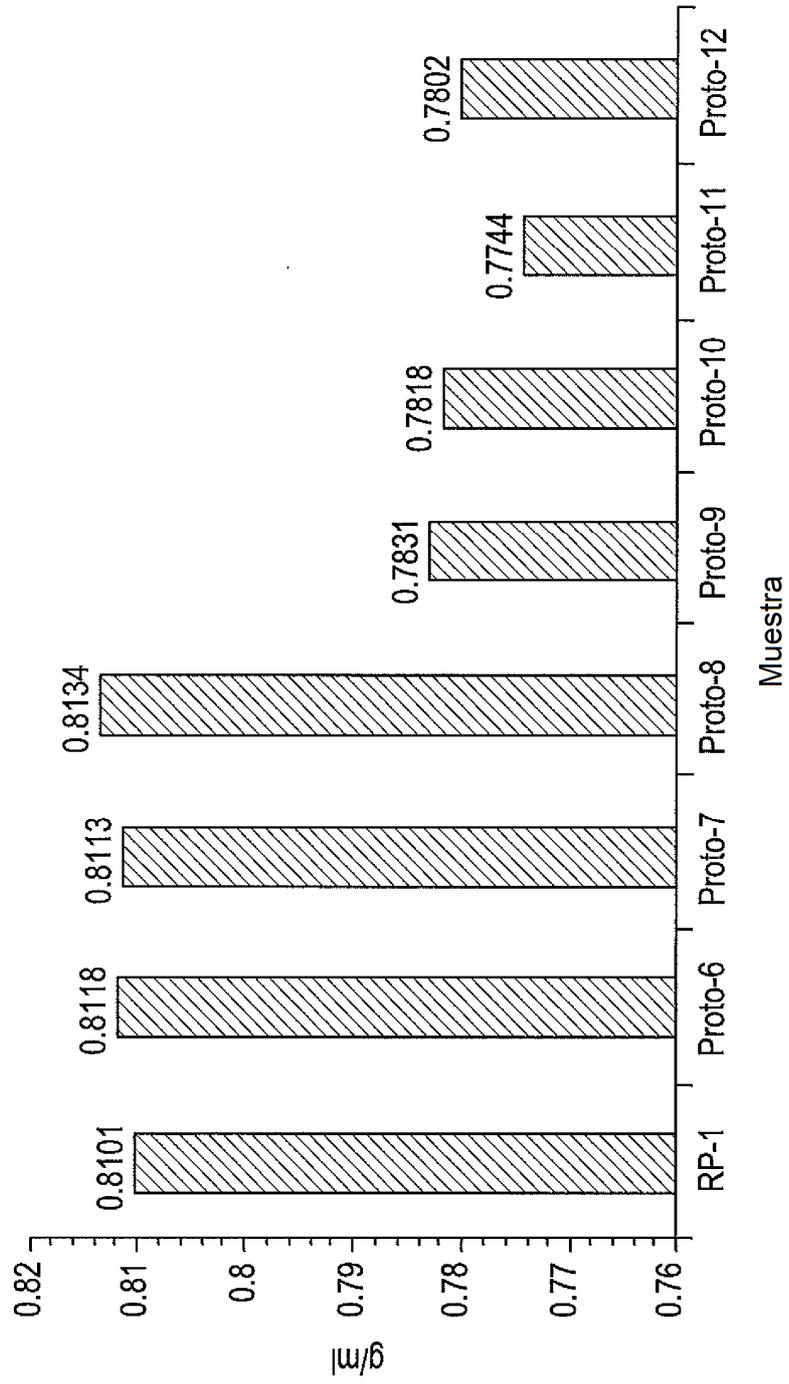


FIG. 8



FIG. 9

Contenido de hidrógeno

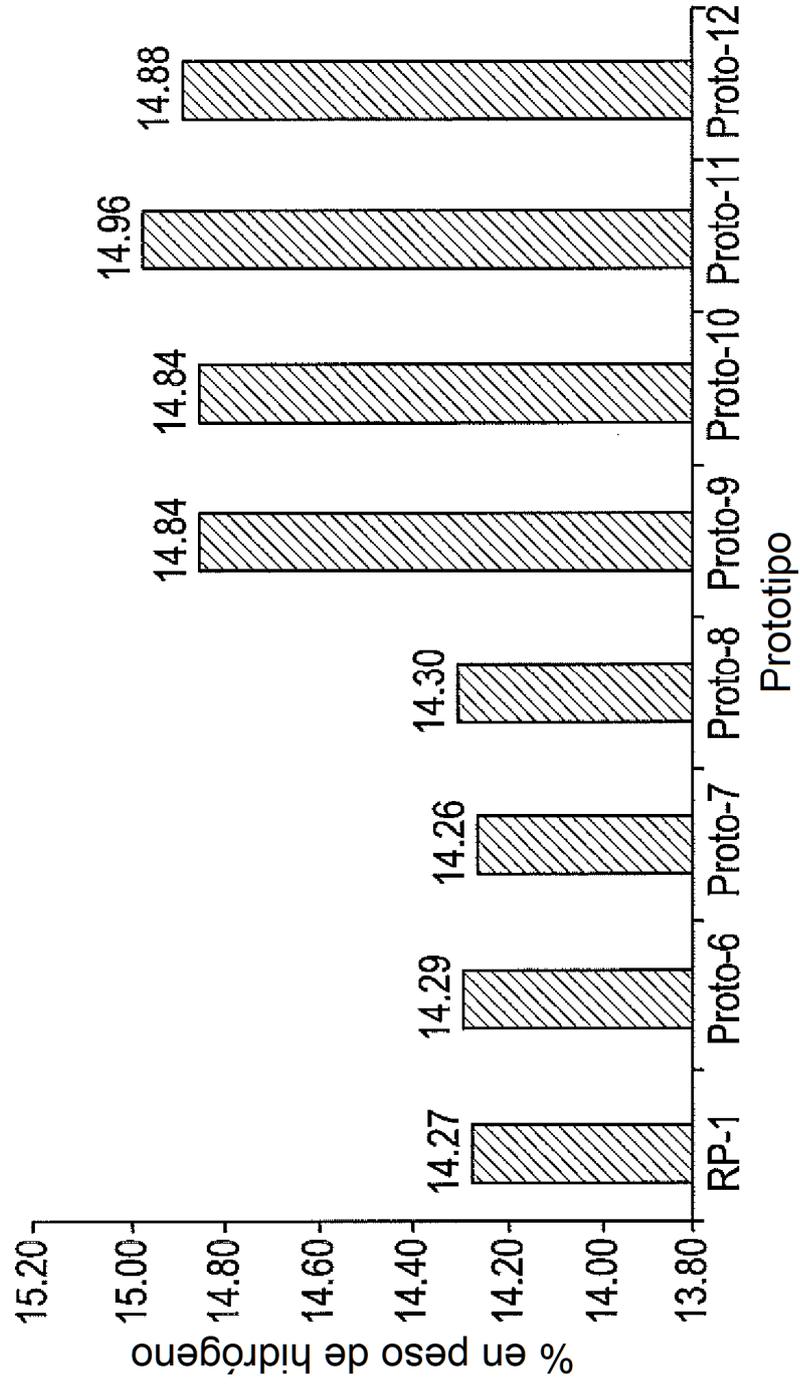


FIG. 10

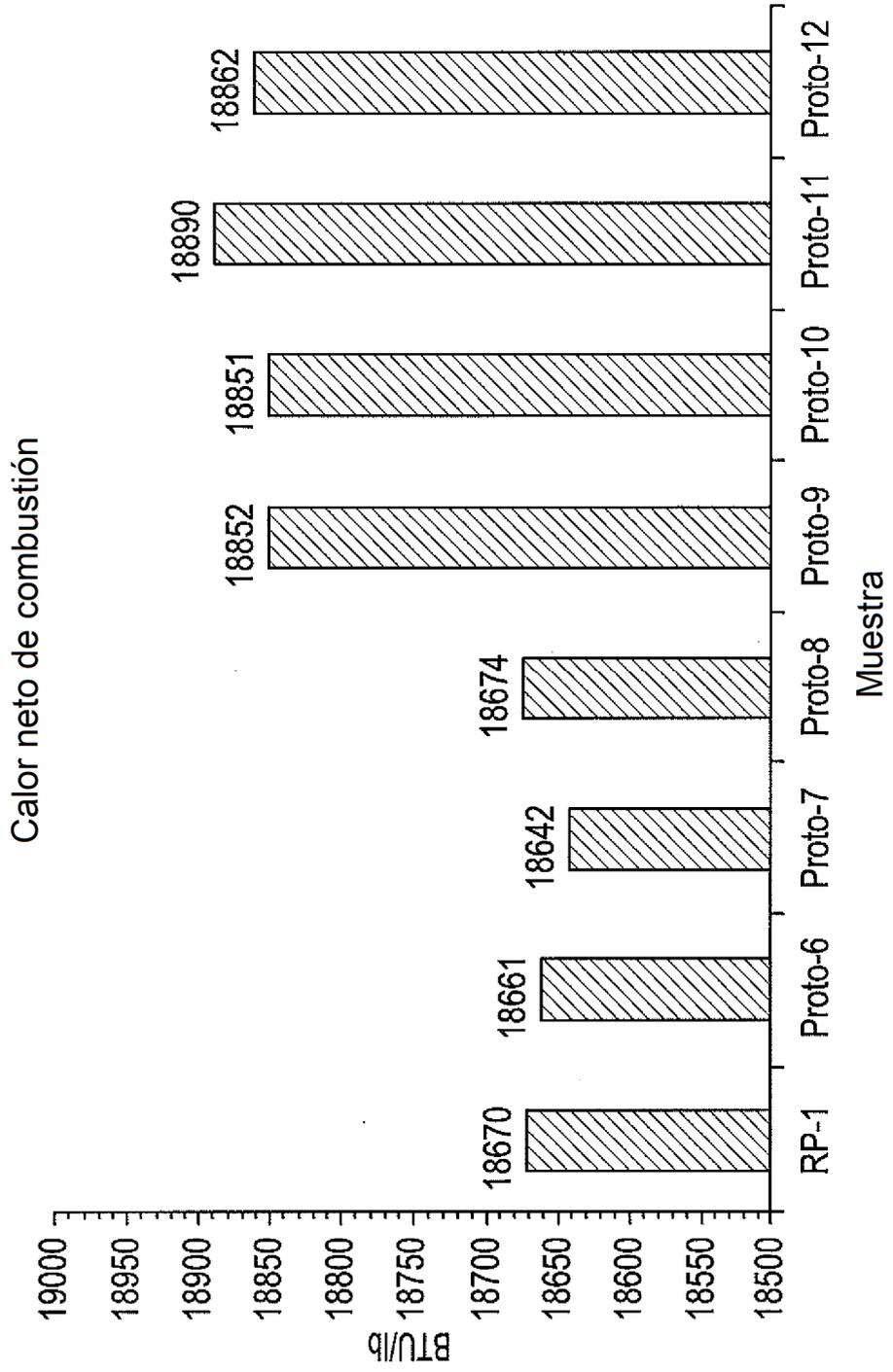


FIG. 11
Curva de destilación

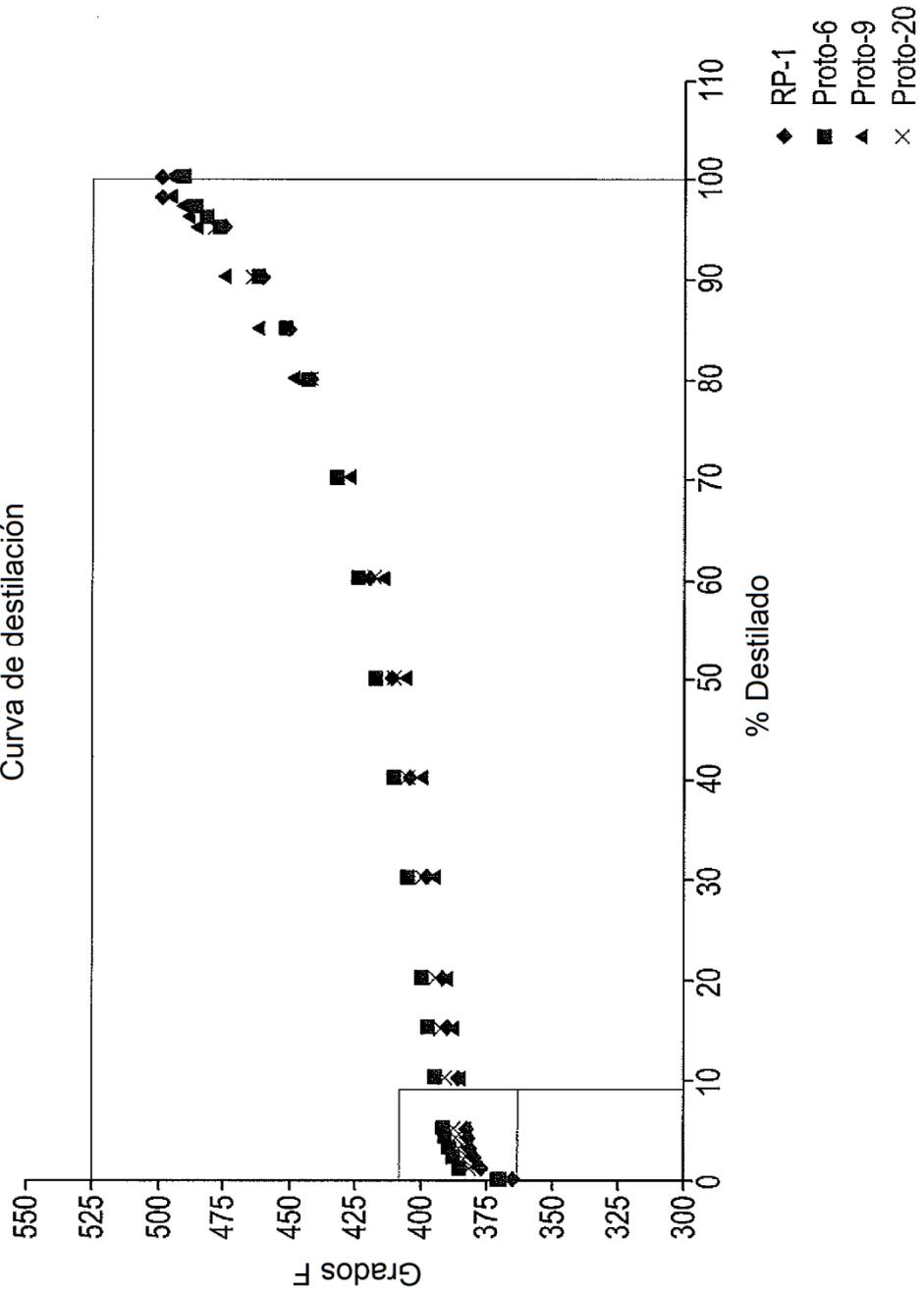


FIG. 12

Curva de destilación de mezcla RP comercial

