

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 931 926**

(51) Int. Cl.:

B08B 3/00 (2006.01)
B08B 9/00 (2006.01)
B01F 23/235 (2012.01)
B01F 25/313 (2012.01)
B01F 27/118 (2012.01)
B01F 27/13 (2012.01)
B01F 27/50 (2012.01)
B01F 25/452 (2012.01)
F01D 25/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.10.2014 PCT/US2014/058865**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **09.04.2015 WO15051146**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.10.2014 E 14850264 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2022 EP 3052252**

(54) Título: **Método de limpieza para motor de reacción**

(30) Prioridad:

**02.10.2013 US 201361885777 P
06.11.2013 US 201361900749 P**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.01.2023

(73) Titular/es:

**AEROCORE TECHNOLOGIES LLC (100.0%)
PO Box 68607
Indianapolis, IN 46268, US**

(72) Inventor/es:

SAENZ, JORGE, IVAN

(74) Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 931 926 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 limpieza para motor de reacción

5 Campo de la invención

Diversas modalidades de la presente invención se refieren a métodos para limpiar motores de turbina de gas que incluyen la trayectoria del gas que incluye una cámara de combustión.

10 Antecedentes

Los motores de turbina extraen energía para suministrar energía a través de una amplia gama de plataformas. La energía puede variar desde vapor hasta combustión de combustible. La energía extraída luego se utiliza para electricidad, propulsión o energía general. Las turbinas funcionan convirtiendo el flujo de fluidos y gases en energía utilizable para alimentar helicópteros, aviones, tanques, centrales eléctricas, barcos, vehículos especiales, ciudades, etc. Al usarse, la trayectoria del gas de dichos dispositivos se ensucia con desechos y contaminantes como minerales, arena, polvo, hollín, carbón, etc. Cuando se ensucian, el rendimiento del equipo se deteriora y requiere mantenimiento y limpieza.

20 Es bien conocido que las turbinas vienen en muchas formas, como motores de reacción, turbinas industriales o unidades aerodinámicas basadas en tierra y en barcos. Las superficies internas del equipo, como las del motor de una aeronave o helicóptero, acumulan material incrustante, lo que deteriora el flujo de aire a través del motor y disminuye el rendimiento. En correlación con esta tendencia, aumenta el consumo de combustible, se acorta la vida útil del motor y disminuye la potencia disponible. El medio más simple y más rentable para mantener la salud del motor y restaurar el rendimiento es limpiarlo adecuadamente. Hay muchos métodos disponibles, como niebla, aerosoles y sistemas de vapor. Sin embargo, todos fallan en llegar profundo o a lo largo de toda la trayectoria del gas del motor.

30 El documento US2013/087175 describe un sistema que tiene una función de lavado exterior para aplicar espuma limpiadora al exterior de una aeronave y una función de lavado de motor de turbina completamente separada para lavar un motor sin el uso de espuma. El documento US6478033 describe un sistema para limpiar una turbina de combustión que utiliza un capó para sellar la entrada del motor de manera que el motor pueda inundarse con espuma. El documento EP2263809 describe un dispositivo de pulverización para lavar un motor de turbina de gas, el dispositivo que incluye un colector que no tiene contacto con la cubierta de aire de entrada. En el método del documento EP2263809, se coloca una boquilla frente a la entrada de un motor de turbina de gas instalado en un avión, se hace rotar el motor de turbina de gas sobre su motor de arranque y se hace fluir un suministro de líquido a la entrada del motor de turbina de gas.

40 Las herramientas de telemetría o diagnóstico en el motor se han convertido en funciones de rutina para monitorear el estado del motor. Sin embargo, el uso de tales herramientas para monitorear, desencadenar o cuantificar la mejora de la limpieza del motor con espuma no se ha utilizado en el pasado.

Diversas modalidades de la presente descripción proporcionan métodos y aparatos novedosos y no obvios para la limpieza de tales centrales eléctricas.

45 Resumen de la invención

50 El material de espuma se introduce en la entrada de la trayectoria del gas del equipo de la turbina mientras está fuera de línea. La espuma recubrirá y entrará en contacto con las superficies internas, frotando, eliminando y alejando el material incrustante del equipo.

55 La presente invención proporciona un método para limpiar un motor de turbina de gas de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas. El método puede llevarse a cabo usando un aparato para espumar un agente de limpieza. Algunos ejemplos incluyen una carcasa que define una trayectoria de flujo interno que tiene primera, segunda y tercera porciones de flujo, una entrada de gas, una entrada de líquido para el agente de limpieza y una salida de espuma. La primera porción de flujo incluye una cámara de admisión de gas que está adaptada y configurada para recibir gas bajo presión desde la entrada de gas e incluye una pluralidad de aberturas, la cámara de admisión y el interior de la carcasa que forman una región de mezcla que proporciona una primera espuma del líquido y el gas. La segunda porción de flujo recibe la primera espuma y hace fluir la primera espuma más allá de una matriz de crecimiento de espuma adaptada y configurada para proporcionar un área superficial para la unión y fusión de las celdas. La tercera porción de flujo hace fluir la segunda espuma a través de un miembro de estructuración de espuma aguas abajo de la primera porción o de la segunda porción adaptada y configurada para reducir el tamaño de al menos algunas de las celdas. Se entiende que aún otros ejemplos contemplan una carcasa que tiene sólo una primera porción; o una primera y segunda porción; o sólo una primera y tercera porción en varios otros dispositivos de nucleación.

Algunas modalidades incluyen mezclar el agente de limpieza líquido y un gas a presión para formar una primera espuma. Otras modalidades incluyen hacer fluir la primera espuma sobre un miembro o matriz y aumentar el tamaño de las celdas de la primera espuma para formar una segunda espuma. Otras modalidades incluyen hacer fluir la segunda espuma a través de una estructura tal como una malla o una o más placas perforadas y disminuir el tamaño de las celdas de la segunda espuma para formar una tercera espuma.

El método de acuerdo con la invención se lleva a cabo utilizando una bomba de aire o depósito de gas a presión que proporciona aire o gas a una presión superior a la presión ambiental, y una bomba de líquido que proporciona el líquido a presión. Todavía otros ejemplos incluyen un dispositivo de nucleación que recibe aire a presión, una entrada de líquido que recibe líquido a presión y una salida de espuma, el dispositivo de nucleación que mezcla de forma turbulenta el aire a presión y el líquido para crear una espuma. Todavía otros ejemplos incluyen una boquilla que recibe la espuma a través de un conducto de espuma, los pasajes internos de la boquilla y el conducto están adaptados y configurados para no aumentar la turbulencia de la espuma, la boquilla está adaptada y configurada para suministrar una corriente de espuma a baja velocidad.

El método puede llevarse a cabo usando un aparato para espumar un agente de limpieza líquido soluble en agua. Algunos ejemplos incluyen medios para mezclar un gas a presión con un líquido soluble en agua que fluye para crear una espuma. Las modalidades incluyen medios para aumentar el tamaño de las celdas de la espuma y medios para reducir el tamaño de las celdas cultivadas.

En varias modalidades de la divulgación, el efluente después de una operación de limpieza se recolecta y evalúa. Esta evaluación puede incluir un análisis en el lugar del contenido del efluente, incluso si hay o no metales o compuestos particulares presentes en el efluente. Con base en los resultados de esta evaluación, se toma una decisión sobre si es apropiada o no una limpieza adicional.

Todavía otras modalidades de la presente invención pertenecen a un método en el que se evalúa el efecto de una operación de limpieza, y esa evaluación se usa para evaluar los términos de un contrato. Como ejemplo, el contrato puede referirse a los términos de la garantía del motor proporcionados por el fabricante del motor al operador o propietario de la aeronave. En aún otras modalidades, la evaluación se puede usar para evaluar los términos de un contrato relacionado con la propia operación de limpieza del motor. En aún otras modalidades, la evaluación del efecto de limpieza en el motor puede usarse para evaluar el motor en relación con establecer estándares de mantenimiento FFA para ese motor.

En una modalidad, el método de evaluación incluye hacer funcionar un motor en un entorno de vuelo comercial durante más de aproximadamente un mes. Se anticipa que en algunas modalidades esta operación puede incluir múltiples vuelos por día y el uso de la aeronave hasta siete días a la semana. El método incluye además hacer funcionar el motor usado y establecer una característica de línea base. En algunas modalidades, la característica de línea base puede ser el consumo de combustible específico a un nivel particular de empuje, relación de presión del motor o velocidad del rotor. En algunas alternativas, el método incluye la corrección de estos datos de línea base para las características atmosféricas ambientales. En aún otras modalidades, el parámetro de línea base podría ser el tiempo transcurrido para el arranque de un motor desde cero rpm hasta la velocidad de ralentí. En aún otras modalidades, la evaluación de la línea de base del motor usado incluye la evaluación del tiempo de arranque del motor de la siguiente manera: realizar un primer arranque de un motor; apagar el motor; accionar el motor sobre el motor de arranque (sin combustión de combustible) durante un período de tiempo predeterminado; y después de la puesta en marcha del motor, realizar un segundo arranque del motor y usar el segundo tiempo de arranque del motor como el tiempo de arranque de línea base.

El método incluye además la limpieza del motor. Esta limpieza del motor puede incluir uno o más ciclos de limpieza sucesivos. Despues de limpiar el motor, se repite el método de prueba de línea base. Los resultados de esta segunda prueba (del motor limpio) se comparan con los resultados de la prueba de línea base (del motor usado, tal como se recibió); y los cambios en las características del motor se evalúan contra una garantía contractual. Como ejemplo, el operador del equipo de limpieza puede haber ofrecido términos contractuales al propietario u operador de la aeronave con respecto a la mejora que se realizará con el método de limpieza. En aún otras modalidades, la mejora delta proporcionada por el método de limpieza (o alternativamente, los resultados de la prueba del motor limpio considerado por sí mismo) pueden compararse con una garantía contractual entre el fabricante del motor (o la instalación que realizó la revisión anterior del motor, o el titular de la licencia del motor) para evaluar si el motor limpio cumple o no esos términos contractuales.

En aún otras modalidades, existe un método de limpieza en el que se realiza una prueba de línea base en un motor usado; se limpia el motor; y la prueba de línea base se realiza una segunda vez. La comparación de la prueba de línea base con la prueba de motor limpio se puede utilizar por cualquier motivo.

En aún otras modalidades, el método de limpieza incluye un procedimiento en el que el motor funciona en un ciclo de limpieza, y ese ciclo de limpieza (o un ciclo de limpieza diferente) se aplica posteriormente al motor. Preferiblemente, los productos químicos de limpieza se proporcionan al motor a velocidades de rotación

relativamente bajas, y preferiblemente menos de aproximadamente la mitad de la velocidad de marcha lenta típica para ese motor.

- 5 En otros ejemplos, como en aquellos motores sostenidos sustancialmente de forma vertical, el producto químico de limpieza se puede aplicar al motor cuando el motor está estático (es decir, a cero rpm). Despues de aplicar una cantidad suficiente de productos químicos, el motor puede hacerse rotar a cualquier velocidad y, posteriormente, lavarse con los productos químicos de limpieza.
- 10 Todavía otras modalidades de la presente descripción se refieren a métodos para limpiar un motor que incluyen la manipulación de la temperatura de los productos químicos de limpieza y/o la manipulación de la temperatura del motor que se está limpiando. En una modalidad, el sistema de limpieza incluye un calentador que está adaptado y configurado para calentar los productos químicos de limpieza antes de la creación de una espuma de limpieza. En aún otras modalidades, el método incluye un calentador para calentar el aire que se usa para crear la espuma con los líquidos de limpieza. En aún otras modalidades, el aparato de limpieza incluye uno o más sopladores de aire que proporcionan una fuente de aire ambiente calentado (similar a los calentadores de espacio tipo "cocodrilo" que se usan en las obras de construcción). Estos sopladores de aire caliente se pueden colocar en la entrada del motor, y el motor se puede accionar (es decir, rotar sobre el motor de arranque, sin combustión de combustible) durante un período de tiempo predeterminado (que puede basarse en las condiciones ambientales), o motorizarse hasta que los termopares u otros dispositivos de medición de temperatura en la sección caliente del motor hayan alcanzado una temperatura predeterminada. En aún otras modalidades, la temperatura del motor antes de la introducción de la espuma de limpieza se puede elevar arrancando el motor y operando el motor en condiciones de marcha lenta durante un período de tiempo predeterminado y, posteriormente, apagando el motor antes de la introducción de la espuma limpiadora. En aún otras modalidades, el motor se puede accionar después de la parada desde la marcha lenta y antes de la introducción de productos químicos para lograr además una condición de temperatura de línea base constante antes de la introducción de la espuma. Aún otras modalidades de la presente descripción contemplan cualquier combinación de productos químicos líquidos precalentados, aire comprimido precalentado usado para formar espuma, motores calentados externamente y motores "calentados" por uno o más períodos recientes de funcionamiento.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65
- En aún otras modalidades de la presente descripción, la espuma limpiadora se puede calentar proporcionando un elemento de calentamiento dentro del dispositivo usado para mezclar y crear la espuma limpiadora.
- Se apreciará que los diversos aparatos y métodos descritos en esta sección de resumen, así como en otras partes de esta solicitud, pueden expresarse como un gran número de diferentes combinaciones y subcombinaciones. Todas estas combinaciones y subcombinaciones útiles, novedosas e inventivas se contemplan en la presente descripción, reconociéndose que la expresión explícita de cada una de estas combinaciones es innecesaria.

Breve descripción de los dibujos

- Algunas de las figuras que se muestran en la presente descripción pueden incluir dimensiones. Además, algunas de las figuras que se muestran en la presente descripción pueden haber sido creadas a partir de dibujos a escala o de fotografías que son escalables. Se entiende que tales dimensiones, o la escala relativa dentro de una figura, son a modo de ejemplo y no deben interpretarse como limitantes.
- La Figura 1 es una representación esquemática de un motor de turbina de gas.
- La Figura 2 es una representación esquemática de un aparato de limpieza útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 3A es una representación fotográfica de algunos de los aparatos de la Figura 2.
- La Figura 3B es una representación fotográfica de algunos de los aparatos de la Figura 2, que se muestra proporcionando espuma en la entrada de un motor instalado.
- La Figura 3C es una representación fotográfica de una boquilla útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención frente a la entrada de un motor.
- La Figura 3D es una representación fotográfica de una boquilla útil para llevar a cabo un método de acuerdo con otra modalidad de la presente invención frente a la entrada de un motor.
- La Figura 4 es una representación fotográfica de la estructura de una espuma formada durante un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 5 [dejado en blanco intencionalmente]
- La Figura 6 son representaciones fotográficas de porciones de la estructura de escape de un motor antes y después de lavarse de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 7 es una representación gráfica de una mejora en el tiempo de arranque del motor para un motor lavado de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 8 es una representación fotográfica de un motor que se lava en un banco de pruebas de motores de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 9 es una representación fotográfica de una porción del aparato de la Figura 8.
- La Figura 10 es una representación gráfica de una mejora paramétrica de un motor lavado de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

- La Figura 11 es una representación gráfica de una mejora paramétrica de un motor lavado de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- 5 La Figura 12A es una representación esquemática de un sistema de limpieza útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 12B es una representación esquemática de un sistema de limpieza útil para llevar a cabo un método de acuerdo con otra modalidad de la presente invención.
- 10 Las Figuras 13A, 13B y 13C son representaciones fotográficas de un ejemplo de una porción del aparato de la Figura 12A.
- Las Figuras 14A, 14B, 14C y 14D son representaciones fotográficas en primer plano de porciones del aparato de las Figuras 13.
- 15 Las Figuras 15A, 15B, 15C y 15D son representaciones fotográficas del interior del gabinete de la Figura 13.
- Las Figuras 16A, 16B, 16C, 16D, 16E y 16F son representaciones fotográficas de un componente que se muestra en la Figura 15B.
- La Figura 17 [intencionalmente dejada en blanco]
- 15 Las Figuras 18A-18R son representaciones esquemáticas en corte de una cámara de nucleación útil para llevar a cabo un método de acuerdo con diversas modalidades de la presente invención.
- Las Figuras 18L-18R presentan varias representaciones esquemáticas de una cámara de nucleación útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La Figura 18L es la vista en sección transversal AA de una cámara de nucleación 1260.
- 20 La Figura 18M es una vista lateral de la cámara de nucleación 1260, como si se viera desde 18M-18M de la Figura 18L.
- La Figura 18N es un primer plano de una porción del aparato de la Figura 18L.
- Las Figuras 18O, 18P, 18Q y 18R son representaciones esquemáticas en primer plano de porciones del aparato de la Figura 18L.
- 25 Las Figuras 19A, 19B y 19C son representaciones pictóricas de un motor de aeronave que se limpia con un sistema de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 19D es una representación CAD de una aeronave con motores instalados que se lavan con espuma.
- La Figura 19E es una representación CAD de una pluralidad de colectores de efluentes útiles para llevar a cabo un método de acuerdo con diversas modalidades de la presente invención.
- 30 La Figura 2-1A, 2-1B son representaciones pictóricas de un motor de aeronave que se limpia con un sistema útil en un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 2-2 son representaciones pictóricas de un motor de aeronave que se limpia con un sistema útil en un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención, y con un ejemplo de dispositivo de captura de efluentes.
- 35 La Figura 2-3 son representaciones pictóricas de un motor de aeronave que se limpia con un sistema útil en un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención, y con un ejemplo de sistema de captura de efluentes; de acuerdo con un escenario de aeronave.
- La Figura 2-4 son representaciones pictóricas de un motor de aeronave que se limpia con un sistema útil en un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención, con un sistema variable de captura de efluentes de espuma.
- 40 La Figura 2-5 es una representación fotográfica esquemática y artística de motores de aviones que se limpian con un sistema útil en un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 2-6 [intencionalmente dejada en blanco]
- 45 La Figura 2-7 es una representación esquemática de un proceso de limpieza de acuerdo con la presente invención.
- La Figura 2-8A, 8B son representaciones esquemáticas de un motor que representa un sistema de inyección de espuma útil en un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- 50 La Figura 2-9A es una representación esquemática de un corte del motor y una vista interna que representa un sistema de conexión de espuma útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 2-9B es una representación esquemática de un corte de motor con componentes internos y externos que ilustra un sistema de conexión de espuma útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- 55 La Figura 2-10 es una representación gráfica de una prescripción del ciclo de limpieza del motor de acuerdo con una modalidad/método de la presente invención.
- La Figura 2-11 es una representación gráfica de un método para monitorear el motor y cuantificar los beneficios de acuerdo con una modalidad/método de la presente invención.
- 60 La Figura 2-12A es una representación fotográfica de un colector de efluentes útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.
- La Figura 2-12B es una vista frontal que mira hacia atrás del aparato de la Figura 2-12A.
- La Figura 2-12C es una vista trasera del aparato de la Figura 2-12A.

Numeración de elementos

- 65 La siguiente es una lista de números de elementos y al menos un sustantivo usado para describir ese elemento. Se entiende que ninguna de las modalidades descritas en la presente descripción se limita a estos sustantivos, y estos

números de elementos pueden incluir además otras palabras que entendería un experto en la técnica que lea y revise esta descripción en su totalidad.

5	10	motor
	11	entrada
	12	ventilador
	13	compresor
10	14	Cámara de combustión
	15	turbina
	16	escape
	20	sistema de lavado
	21	vehículo
15	22	fuente de productos químicos
	23	fuselaje posterior
	24	fuente de agua
	25	fuente de agua
	26	fuente de gas (aire comprimido)
20	28	salida de espuma
	30	boquilla
	32	colector de efluentes
	32.1	remolque
	32.2	depósito de efluentes
25	32.3	colector de escape
	32.31	recinto, hoja
	32.32	costillas
	32.33	soporte vertical
	32.34	entrada
30	32.35	drenaje
	32.4	colector de entrada
	32.41	hoja, cóncava
	32.42	costillas
	32.43	soporte vertical
35	33	carcasa
	34	soporte
	35	reservorio
	36	salida
	37	muro de contención
40	38	calentador
	40	sistema de espuma
	41	conexión de espuma
	42	gabinete
	43	tubería
45	44	medidores de flujo; bombas peristálticas
	46	medidores de presión
	48	reguladores de presión
	50	bomba y motor
50	60	cámara de nucleación; medios para espumar un agente de limpieza
	61	carcasa
	62	entrada de Gas
	63	entrada de líquido
	64	salida
55	65	sección de mezcla o nucleación; medios para mezclar un líquido y un gas
	66	tubo o manguito de gas; cámara de gas o cámara de admisión
	68	pasaje central
	70	chorros de nucleación o perforaciones
	71	ángulo de ataque
60	72	zonas de nucleación
	74	sección de crecimiento; medios para aumentar la cantidad y/o tamaño de una celda de espuma
	75	material
	78	sección de estructuración celular; medios para homogeneizar una espuma
	79	material
65	80	unidad de procesamiento (reciclar, purificar)

(continuación)

5	82	sección de flujo laminar; medios para reducir la turbulencia en una espuma
	84	motor
	86	impulsor
	90	aeronave

Descripción de la modalidad preferida

10 Con el fin de facilitar la comprensión de los principios de la invención, ahora se hará referencia a las modalidades ilustradas en los dibujos y se utilizará un lenguaje específico para describir las mismas. Sin embargo, se entenderá que no se pretende limitar el alcance de la invención, tales alteraciones y modificaciones adicionales en el dispositivo ilustrado, y tales aplicaciones adicionales de los principios de la invención como se ilustra en el mismo se contemplan como normalmente se le ocurriría a un experto en la técnica a la que se refiere la invención. La invención está delimitada por las reivindicaciones adjuntas.

15 Se describirá y mostrará al menos una modalidad de la presente invención, y esta solicitud puede mostrar y/o describir otras modalidades de la presente invención.

20 Se entiende que cualquier referencia a "la invención" es una referencia a una modalidad de una familia de invenciones, sin que ninguna modalidad individual incluya un aparato, proceso o composición que deba incluirse en todas las modalidades, a menos que se indique explícitamente lo contrario. Además, aunque puede haber discusión con respecto a las "ventajas" proporcionadas por algunas modalidades de la presente invención, se entiende que aún otras modalidades pueden no incluir esas mismas ventajas, o pueden incluir ventajas aún diferentes. Las ventajas descritas en la presente descripción no deben interpretarse como limitantes de ninguna de las reivindicaciones. El uso de palabras que indican preferencia, como "preferiblemente", se refiere a características y aspectos que están presentes en al menos una modalidad, pero que son opcionales para algunas modalidades.

25 El uso de un prefijo de la serie N para un número de elemento (NXX.XX) se refiere a un elemento que es el mismo que el elemento sin prefijo (XX.XX), excepto como se muestra y describe. Como ejemplo, un elemento 1020.1 sería el mismo que el elemento 20.1, excepto por las características diferentes del elemento 1020.1 que se muestran y describen. Además, los elementos comunes y las características comunes de los elementos relacionados pueden dibujarse de la misma manera en diferentes figuras y/o usar la misma simbología en diferentes figuras. Como tal, no es necesario describir las características de 1020.1 y 20.1 que son iguales, ya que estas características comunes son evidentes para un experto en la técnica en el campo relacionado de la tecnología. Además, se entiende que las características 1020.1 y 20.1 pueden ser compatibles con versiones anteriores, de manera que una característica (NXX.XX) puede incluir características compatibles con otras diversas modalidades (MXX.XX), como entenderán los expertos en la técnica. Esta convención de descripción también se aplica al uso de números de elementos con sufijo primo ('), doble primo (") y triple primo ("). Por lo tanto, no es necesario describir las características de 20.1, 20.1', 20.1" y 20.1"" que son iguales, ya que estas características comunes son evidentes para los expertos en la técnica en el campo relacionado de la tecnología.

30 Aunque en la presente descripción se pueden indicar varias cantidades específicas (dimensiones espaciales, temperaturas, presiones, tiempos, fuerza, resistencia, corriente, tensión, concentraciones, longitudes de onda, frecuencias, coeficientes de transferencia de calor, parámetros adimensionales, etc.), dichas cantidades específicas se presentan como ejemplos solamente, y además, a menos que se indique explícitamente lo contrario, son valores aproximados, y deben considerarse como si la palabra "aproximadamente" precediera a cada cantidad. Además, con la discusión relacionada con una composición específica de materia, esa descripción es solo a modo de ejemplo y no limita la aplicabilidad de otras especies de esa composición, ni limita la aplicabilidad de otras composiciones no relacionadas con la composición citada.

35 Lo que sigue son párrafos que expresan modalidades particulares de la presente invención. En los párrafos que siguen, algunos números de elementos tienen el prefijo "X" que indica que las palabras pertenecen a cualquiera de las características similares que se muestran en los dibujos o se describen en el texto.

40 Lo que se mostrará y describirá en la presente descripción, junto con varias modalidades de la presente invención, es la discusión de una o más pruebas que se realizaron. Se entiende que dichos ejemplos son solo a modo de ejemplo, y no deben interpretarse como limitaciones de ninguna modalidad de la presente invención. Además, se entiende que las modalidades de la presente invención no están necesariamente limitadas o descritas por el análisis matemático presentado en la presente descripción.

45 Se pueden hacer varias referencias a uno o más procesos, algoritmos, métodos operativos o lógica, acompañadas de un diagrama que los muestre organizados en una secuencia particular. Se entiende que el orden de tal secuencia es solo a modo de ejemplo, y no se pretende que sea limitante de ninguna modalidad de la invención.

Se pueden hacer varias referencias a uno o más métodos de fabricación. Se entiende que estos son solo a modo de ejemplo, y varios aparatos pueden fabricarse en una amplia variedad de formas, tales como por fundición, centrado, soldadura, mecanizado por electroerosión, fresado, como ejemplos. Además, se pueden fabricar varios otros ejemplos mediante cualquiera de los diversos métodos de fabricación aditiva, algunos de los cuales se refieren a la impresión en 3D.

Este documento puede usar diferentes palabras para describir el mismo número de elemento o para referirse a un número de elemento en una familia específica de características (NXX.XX). Se entiende que dicho uso múltiple no pretende proporcionar una redefinición de ningún idioma en la presente descripción. Se entiende que tales palabras demuestran que la característica particular puede considerarse de varias formas lingüísticas, tales formas no necesariamente son aditivas o excluyentes.

Lo que se mostrará y describirá en la presente descripción es una o más relaciones funcionales entre variables. Puede proporcionarse una nomenclatura específica para las variables, aunque algunas relaciones pueden incluir variables que serán reconocidas por los expertos en la técnica por su significado. Por ejemplo, "t" podría ser representativo de la temperatura o el tiempo, como sería evidente por su uso. Sin embargo, se reconoce además que tales relaciones funcionales pueden expresarse en una variedad de equivalentes usando técnicas estándar de análisis matemático (por ejemplo, la relación $F = ma$ es equivalente a la relación $F/a = m$). Además, en aquellas modalidades en las que las relaciones funcionales se implementan en un algoritmo o software informático, se entiende que una variable implementada en un algoritmo puede corresponder a una variable que se muestra en la presente descripción, incluyendo esta correspondencia un factor de escala, ganancia del sistema de control, filtro de ruido, o similar.

Se ha utilizado una amplia variedad de métodos para limpiar motores de turbina de gas. Algunos usuarios utilizan agua rociada en la entrada del motor, otros utilizan un fluido de limpieza rociado en la entrada del motor, y aún otros usuarios proporcionan material abrasivo sólido a la entrada del motor, tal como cáscaras de nuez.

Estos métodos logran diversos grados de éxito y además crean diversos grados de problemas. Por ejemplo, algunos agentes de limpieza que son lo suficientemente fuertes para limpiar la sección caliente del motor y químicamente aceptables en los materiales de la sección caliente, son químicamente inaceptables en el material utilizado en la sección fría del motor. Los lavados con agua son lo suficientemente suaves como para usarse en cualquier material del motor, pero tampoco son particularmente efectivos para eliminar depósitos difíciles y, además, pueden dejar depósitos de sílice en algunas etapas del compresor. En MIL-PRF-85704C se reconocen varios agentes de limpieza solubles en agua, pero muchos usuarios de estos agentes de limpieza consideran que tienen un éxito marginal en la restauración del rendimiento de un parámetro operativo del motor, y otros usuarios han notado que los lavados simples con estos agentes de limpieza MIL en realidad pueden degradar algunos parámetros operativos.

Por lo tanto, muchos operadores de aeronaves sospechan de las afirmaciones hechas con respecto a algunos métodos de limpieza con líquidos, en cuanto a cuán efectivos serán los líquidos para restaurar el rendimiento del motor. Hay gastos incurridos por el lavado líquido de un motor, incluido el costo del lavado con líquido y el valor del tiempo que el vehículo aéreo se retira del funcionamiento. A menudo, los beneficios del lavado con líquido no superan los costos incurridos, o solo proporcionan un beneficio comercial insignificante.

Diversas modalidades de la presente invención indican que se puede obtener un beneficio comercial sustancial mediante el lavado de motores de turbina de gas con una espuma. Como se mostrará en la presente descripción, la limpieza con espuma de un motor puede proporcionar mejoras sustanciales en los parámetros operativos, incluidas mejoras que no se pueden obtener con el lavado con líquido. La razón de la mejora sustancial lograda por el lavado con espuma no se entiende completamente. Se han realizado pruebas de motor consecutivas en el mismo motor específico, con la introducción de líquido atomizado en la entrada, seguido de la introducción de una espuma de ese mismo líquido en la entrada. En todos los casos, el líquido (o la espuma) se observó en la sección de escape del motor, lo que indica que el líquido (o la espuma) parece estar humedeciendo todo el paso del gas. No obstante, el uso de una versión espumosa de un líquido proporciona mejoras significativas por encima de cualquier mejora de lavado con líquido en parámetros operativos importantes, como los tiempos de arranque del motor, el consumo específico de combustible y las temperaturas de la turbina requeridas para lograr una salida de potencia particular.

Algunas modalidades de la presente descripción se llevan a cabo usando un sistema para generar una espuma a partir de un agente de limpieza soluble en agua. Se ha encontrado que existen diferencias en el aparato y los métodos para crear una espuma aceptable con un producto químico soluble en agua o un producto químico no soluble en agua. Varias modalidades de la presente descripción se llevan a cabo usando sistemas que incluyen cámaras de nucleación provistas de líquido a presión y también de aire a presión.

Se ha descubierto que inyectar esta espuma en la entrada de un motor por medio de boquillas pulverizadoras condicionales puede reducir la eficacia limpiadora de la espuma. Aún más, cualquier plomería, tubería o manguera que suministre espuma desde la cámara de nucleación a la boquilla debe ser generalmente lisa y sustancialmente libre de características que generen turbulencias en la trayectoria de flujo (como giros bruscos, reducciones

repentinas en el área de flujo de la trayectoria de flujo, o boquillas de suministro que tienen secciones con excesiva convergencia, como la convergencia para aumentar la velocidad de la espuma).

Es útil en diversas modalidades de la presente invención proporcionar una trayectoria de flujo para la espuma generada que mantenga el estado de mayor energía de la espuma y no disipe esa energía antes del suministro. La Figura 3B muestra espuma que se suministra de acuerdo con una modalidad de la presente invención. Puede verse que la boquilla 30 proporciona una corriente de espuma que tiene sustancialmente el mismo diámetro. Hay poca o ninguna convergencia evidente en la foto de la Figura 3B, y sin divergencia de la corriente de flujo. Además, las ondas o "grumos" en la corriente de flujo de espuma son indicativos de un sistema de suministro de baja velocidad, en el que la perturbación impartida a la corriente de espuma cuando impacta contra el buje carenado pasa visiblemente aguas arriba hacia la boquilla. Puede verse que la amplitud de los "grumos" en la trayectoria de flujo de espuma es de mayor magnitud cerca del impacto de la espuma con el buje carenado, y de menor magnitud en una dirección hacia la boquilla de salida 30. La boquilla de salida de espuma 30 tiene un diámetro sustancialmente constante, y preferiblemente a una velocidad de menos de aproximadamente 4,6 metros por segundo (aproximadamente quince pies por segundo).

Varias modalidades de la presente descripción también son asistidas por la introducción de gas (incluido aire, nitrógeno, dióxido de carbono o cualquier otro gas) en un estado a presión en un flujo del líquido de limpieza. Preferiblemente, el aire se presuriza a más de aproximadamente 34,4 kilopascales (aproximadamente 5 psig) y menos de aproximadamente 827 kilopascales (aproximadamente 120 psig), y se suministra mediante una bomba o depósito a presión. Aunque algunas modalidades de la presente descripción incluyen el uso de eductores de flujo de aire que pueden arrastrar aire ambiental, se ha encontrado que otras modalidades que usan aire a presión proporcionan mejores resultados.

Todavía otras modalidades de la presente invención pertenecen al uso comercial de la limpieza con espuma en motores de aviación. Como se discutió anteriormente, el mecanismo por el cual un agente de limpieza con espuma proporciona resultados superiores a un agente de limpieza sin espuma no se comprende bien en la actualidad. Por el contrario, muchos expertos en el campo del mantenimiento de motores de reacción inicialmente creen que un agente de limpieza con espuma proporcionará los mismos resultados decepcionantes que proporcionaría un agente de limpieza sin espuma. Por lo tanto, a medida que se comprenda mejor el uso de un agente de limpieza de espuma, se comprenderá mejor el efecto de la limpieza de espuma mejorada sobre las consideraciones financieras en el mantenimiento de una familia de motores. Algunas de estas mejoras pueden ser fácilmente evidentes, como las mejoras en la temperatura de funcionamiento, el consumo específico de combustible y los tiempos de inicio indicados por las pruebas documentadas en la presente descripción. Sin embargo, otros impactos del uso de agentes de limpieza de espuma pueden afectar aún más el diseño de otros componentes del motor con vida útil limitada.

Por ejemplo, los motores están actualmente diseñados con piezas de vida limitada (tales como las que se basan en horas de uso, tiempo a temperatura, número de ciclos del motor u otros), y las inspecciones de esos componentes pueden programarse en momentos que coincidan con el lavado con líquido del motor. Sin embargo, el uso de lavado con espuma generalmente puede aumentar el tiempo que se puede instalar un motor en la aeronave, ya que el lavado con espuma restaurará el motor usado a un mejor nivel de rendimiento que el lavado con líquido. Sin embargo, un aumento en el tiempo entre lavados con espuma (aumentado en comparación con el intervalo entre lavados con líquido) podría alargarse en la medida en que un lavado con espuma ya no coincide con una inspección de una pieza con vida limitada. Bajo estas condiciones, puede ser rentable diseñar la parte de vida limitada para un ciclo un poco más largo. El aumento en el costo del componente de vida útil limitada más larga puede ser más que compensado por el mayor tiempo que el motor limpio con espuma puede permanecer en el ala.

En tales modalidades, puede haber un cambio en el paradigma de los intervalos de lavado, inspección y mantenimiento del motor, lo que resulta, al menos en parte, de la limpieza mejorada que resulta del lavado con espuma. En algunas modalidades, el efecto del lavado con espuma en un parámetro de rendimiento del motor (como el tiempo de arranque, la temperatura a la potencia nominal máxima, el consumo específico de combustible, la emisión de carbono, la emisión de óxidos de nitrógeno, las velocidades de funcionamiento típicas del motor en crucero y despegue, etc.) pueden ser cuantificados. Esta cuantificación puede producirse dentro de una familia de motores, pero en algunos casos puede ser aplicable entre diferentes familias. Como un motor específico dentro de esa familia se opera en una aeronave, el operador de la aeronave notará algún cambio en un parámetro operativo que puede correlacionarse con una mejora que se obtendrá mediante un lavado con espuma de ese motor específico. Esta información tomada por el operador de la aeronave se transmite al propietario del motor (que podría ser el gobierno de EE. UU., un fabricante de motores o una empresa de arrendamiento de motores), y ese propietario determina cuándo programar una limpieza con espuma de ese motor específico.

Se ha encontrado experimentalmente que diversas modalidades de los métodos de lavado con espuma descritos en la presente descripción son más eficaces para eliminar los contaminantes de un motor usado que mediante la limpieza por pulverización de un agente de limpieza líquido. En algunos casos, el efluente recogido en la turbina después de la limpieza con espuma se ha comparado con el efluente recogido en la turbina después de un lavado con líquido, habiendo precedido el lavado con líquido al lavado con espuma. En estos casos, se encontró que el

efluente de espuma contenía cantidades sustanciales de suciedad y depósitos que no fueron eliminados por el lavado con líquido.

Se cree que en algunas familias de motores el uso de un lavado con espuma proporcionará una mejora en la limpieza del revestimiento de la cámara de combustión. Es bien conocido que los revestimientos de las cámaras de combustión incluyen arreglos complejos de orificios de enfriamiento, estos orificios de enfriamiento están diseñados no solo para mantener una temperatura segura para el revestimiento en sí, sino también para reducir las temperaturas de la trayectoria del gas y, de manera que limita la formación de óxidos de nitrógeno. Se anticipa que varias modalidades de la presente invención demostrarán reducciones en la emisión de óxidos de nitrógeno de un motor limpio.

Las Figuras 1-4 presentan varias representaciones de un sistema de lavado o limpieza 20 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

Las Figuras 1 y 2 representan esquemáticamente un sistema 20 que se utiliza para limpiar un motor a reacción 10. El motor 10 normalmente incluye una sección fría que incluye una entrada 11, un ventilador 12 y uno o más compresores 13. Se proporciona aire comprimido a la sección caliente del motor 10, que incluye la cámara de combustión 14, una o más turbinas 15 y un sistema de escape 16, este último incluye como ejemplos boquillas convergentes simples, boquillas reductoras de ruido (como se verá en la Figura 6) y boquillas refrigeradas (como las que se utilizan en los motores de postcombustión y que incluyen secciones convergentes y divergentes).

La Figura 2 muestra esquemáticamente un sistema 20 que se usa para limpiar el motor 10 con una espuma. El sistema 20 normalmente incluye un suministro 26 de gas, un suministro 24 de agua y un suministro 22 de productos químicos de limpieza, todos los cuales se proporcionan a un sistema de formación de espuma 40. El sistema de formación de espuma 40 acepta estos componentes de entrada y proporciona una salida de espuma 28 a una boquilla 30 que proporciona la espuma a la entrada 11 del motor 10. El sistema 20 incluye preferiblemente un colector de efluentes 32 colocado detrás del escape 16 del motor 10, para recoger dentro de la espuma gastada, los productos químicos, el agua y las partículas retiradas del motor 10.

Las Figuras 3A y 3B representan un sistema de lavado 20 durante el funcionamiento. En un ejemplo, el sistema de formación de espuma 40 se proporciona dentro de un gabinete 42. El gabinete 42 incluye preferiblemente varios equipos que se utilizan para crear espuma 28, incluida la cámara de nucleación, bombas y varias válvulas y tuberías (que se mostrarán y describirán con referencia a la Figura 15). El gabinete 42 incluye preferiblemente una variedad de medidores de flujo o bombas peristálticas 44, medidores de presión 46 y reguladores de presión 48 (que se describirán con referencia a las Figuras 12-14).

La Figura 3B es una representación fotográfica de una boquilla 30 que inyecta espuma 28 en la entrada 11 de un motor. La Figura 4 es una representación fotográfica ampliada de una espuma 28 creada de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

Las Figuras 3C y 3D muestran boquillas 30 frente a las entradas 10 útiles para llevar a cabo un método de acuerdo con otras modalidades de la presente invención. Puede verse que algunas modalidades utilizan un par de boquillas que suministran espuma a una entrada desde sustancialmente la misma ubicación y espacio, excepto en lados opuestos de la línea central del motor. Generalmente, las boquillas útiles en algunas modalidades tienen boquillas no pulverizadoras que proporcionan la corriente de espuma a las condiciones ambientales. Como puede verse en las Figuras 3C y 3D, el área de la sección transversal del aparato de boquilla 30 generalmente aumenta desde un tubo de suministro central unitario, hasta un par de boquillas de salida lado a lado, cada una de las cuales tiene sustancialmente la misma área de sección transversal. Por lo tanto, el área de sección transversal en función de la longitud a lo largo de la trayectoria de flujo del aparato 30 es relativamente constante para la sección central, pero luego aumenta a medida que la sección central se divide en dos boquillas lado a lado.

Las Figuras 6-11 se refieren a varias pruebas realizadas con diferentes modalidades de la presente invención. La Figura 6 proporciona vistas de una boquilla de escape de supresión de ruido de perímetro ondulado 16, tanto después de un lavado de acuerdo con los procedimientos existentes, como también después de un lavado realizado de acuerdo con una modalidad de la presente invención. Al comparar las fotografías de la izquierda y la derecha, se puede ver que después de un lavado realizado de acuerdo con una modalidad de la presente invención (fotografía de la derecha), la boquilla de escape 16 se limpió más allá del nivel de limpieza alcanzado previamente después de un procedimiento de lavado estándar (fotografía de la izquierda).

La Figura 7 proporciona una representación pictórica de las mejoras en el tiempo de arranque del motor, incluidos los resultados después de un lavado estándar y después de un lavado de acuerdo con una modalidad de la presente invención. Se puede ver que el lavado estándar acortó el tiempo de arranque del motor en particular en 3 segundos, desde 69 segundos a 66 segundos. Sin embargo, un lavado posterior de ese mismo motor con un sistema de lavado de la invención proporcionó una reducción adicional en el tiempo de arranque de casi 9 segundos, mostrando por lo tanto que un método de limpieza de acuerdo con una modalidad de la presente invención es capaz de mejorar la

dinámica del flujo de la trayectoria del gas del motor más allá la mejora lograda con un lavado estándar (como los métodos en los que se pulveriza un fluido de limpieza atomizado en la entrada de un motor).

Las Figuras 8-11 representan pruebas y resultados de pruebas realizadas en un motor de helicóptero. Las Figuras 8 y 9 muestran cómo se limpia el motor 10 con la espuma de efluente 28 que sale de las boquillas de escape dobles 16. La Figura 10 muestra los resultados de múltiples pruebas de arranque realizadas en un motor de helicóptero. Se puede ver que el tiempo de arranque de un motor usado se redujo en aproximadamente 5 por ciento utilizando una técnica de lavado existente. Sin embargo, limpiar ese mismo motor con un sistema de limpieza de acuerdo con una modalidad de la presente invención proporcionó ganancias adicionales y una disminución en el tiempo de arranque (en comparación con el motor usado original) de más del 22 por ciento.

La Figura 11 representa pictóricamente mejoras en el margen de temperatura de los gases de escape para un motor de helicóptero que funciona a plena potencia antes y después de la limpieza. Se puede ver que el uso de un sistema de limpieza existente en el motor no proporcionó una mejora medible en el margen de EGT. Sin embargo, ese mismo motor experimentó un aumento en el margen EGT (es decir, la capacidad de funcionar más frío) de más de 30 grados C después de limpiarlo de acuerdo con un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

Las Figuras 12A y 12B representan en formato esquemático sistemas de lavado 20 y 120 útiles para llevar a cabo métodos de acuerdo con diversas modalidades de la presente invención. Muchos de los componentes representados esquemáticamente en las Figuras 12A y 12B (incluidos los medidores de presión, medidores de flujo, válvulas reductoras de presión, bombas, válvulas de retención, cámaras de nucleación y otras válvulas y tuberías) se alojan preferiblemente dentro de un gabinete 42, que se puede ver en las Figuras 13, 14, y 15.

Las Figuras 13A, 13B y 13C son representaciones fotográficas del exterior de un gabinete 42 de un sistema de formación de espuma 40 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. Las diversas entradas, válvulas de cierre, medidores de flujo, medidores de presión y conexiones se pueden ver en estas representaciones fotográficas. Además, las representaciones en las Figuras 13, 14 y 15 son del mismo sistema de flujo 40, y las diversas interconexiones que se ven en las Figuras 15 se pueden rastrear hasta el exterior del gabinete que se muestra en las Figuras 13 y 14.

Las Figuras 14 son representaciones en primer plano de porciones del gabinete de flujo 42 de las Figuras 13. La Figura 14B muestra que en una modalidad, el producto químico A se proporciona preferiblemente a aproximadamente 26,5 litros por hora (aproximadamente 7 galones por hora), y el producto químico B se proporciona a aproximadamente 71,9 litros por hora (aproximadamente 19 galones por hora). La Figura 14C muestra que el flujo de aire en la cámara de nucleación fue de aproximadamente 368 a 396 litros por minuto (aproximadamente 13 a 14 pies cúbicos estándar por minuto), y el flujo de agua (después de la bomba) utilizado para crear la espuma fue de aproximadamente 26,5 a 30,3 litros por minuto litros por minuto (aproximadamente 7 y 8 galones por minuto). La Figura 14D muestra que el flujo de agua medido antes de la bomba es de aproximadamente 26,5 litros por minuto (7 galones por minuto). Los medidores de presión de la Figura 14D indican una presión operativa de aire, agua y espuma de entre aproximadamente 124 y 138 kilopascales (aproximadamente 18 a 20 psig). Estas configuraciones específicas son solo a modo de ejemplo y no deben interpretarse como limitantes. Además, estas configuraciones se utilizaron con una modalidad que hizo fluir un producto químico A de Zok27 y/o un producto químico B de Turco 5884. De manera similar, de acuerdo con los manuales del motor, se pueden utilizar combinaciones de productos aprobados o ingredientes básicos (es decir, queroseno, alcohol isopropílico, solventes de petróleo). Como punto de referencia, se asocian listas de productos calificados o aprobaciones por medio de la FAA o por las aprobaciones del Comando de Sistemas Aéreos Navales. Dichos informes de aprobación de trayectoria del gas están dictados por la documentación MIL-PRF-85704 para que la industria los siga.

Las Figuras 15 representan los componentes y la tubería alojados dentro del gabinete 42, y son consistentes con las Figuras 13, 14 y 16.

Las Figuras 16 y 18 muestran varias cámaras de nucleación X60 útiles para llevar a cabo métodos de acuerdo con varias modalidades de la presente invención. Muchos de estos ejemplos incluyen una carcasa X61 que incluye una entrada X62 para gas, una entrada X63 para uno o más líquidos y una salida X64 que proporciona la salida de espuma 28 a una boquilla X30. En algunas modalidades, una cámara de gas X66 recibe gas bajo presión desde la entrada X62. La cámara de gas X66 está preferiblemente encerrada dentro de la carcasa X61 y dispuesta de manera que porciones de la cámara de gas X66 estén en contacto con el fluido procedente de la entrada X63 dentro de la carcasa X61. Varias modalidades utilizan cámaras de gas X66 que tienen una o más aberturas u otras características X70 que proporcionan comunicación fluida desde el pasaje interno de la cámara X66 y el fluido dentro de la carcasa X61.

La introducción de gas a través de las aberturas X70 está adaptada y configurada para crear una espuma con el líquido de limpieza dentro de una zona de nucleación X65. Preferiblemente, la espuma se crea mediante la nucleación de productos químicos de aviación previamente certificados con la disposición adecuada de chorros de aire de alta velocidad, secciones difusoras, picos de crecimiento y/o cizallamiento centrífugo de los productos

químicos, cualquiera de los cuales puede usarse para crear la espuma que es un estado de mayor energía y vida corta del producto químico líquido no espumado más estable. La espuma resultante se proporciona a la salida X64 para su introducción en la entrada del dispositivo que se limpia.

- 5 En algunos ejemplos, la cámara X60 incluye además una sección de crecimiento de celdas X74 en la que hay material o un aparato que favorece la fusión de celdas de espuma más pequeñas en una celda de espuma más grande. En aún otros ejemplos, la cámara de nucleación X60 puede incluir una sección de estructuración celular X78 que incluye material o aparato para mejorar la homogeneidad del material de espuma. Aún ejemplos adicionales de cámara X60 incluyen una sección de flujo laminar X82 en la que el material espumado 28 se hace menos turbulento para aumentar la longevidad de las celdas de espuma y, por lo tanto, aumentar el número de celdas de espuma suministradas a la entrada 11 del producto 10 que se está limpiado.

10 Algunas de las cámaras de nucleación X60 incluyen zonas de nucleación, secciones de crecimiento y secciones de estructuración que están dispuestas en serie dentro de la trayectoria de flujo de la espuma. En aún otros ejemplos, 15 estas zonas y secciones están dispuestas concéntricamente, creándose primero la espuma cerca de la línea central de la trayectoria de flujo. En aún otros ejemplos, las zonas y secciones están dispuestas concéntricamente creándose la espuma en la periferia de la trayectoria de flujo, creciendo y estructurando las celdas progresivamente hacia el centro de la trayectoria de flujo.

20 Algunas de las cámaras de nucleación X60 descritas en la presente descripción incluyen zonas de nucleación, secciones de crecimiento y secciones de estructuración que están dispuestas dentro de una única cámara de admisión. Sin embargo, se entiende que aún otros ejemplos contemplan una disposición modular de la cámara de nucleación. Por ejemplo, la zona de nucleación puede ser un componente separado que se atornilla a una zona de estructuración o a una zona de flujo laminar. Por ejemplo, las diversas secciones se pueden unir entre sí mediante 25 bridas y sujetadores, accesorios roscados o similares. Aún más, los sistemas X20 se describen en la presente descripción para incluir una única cámara de nucleación. Sin embargo, se entiende que el sistema de limpieza puede incluir múltiples cámaras de nucleación. Como ejemplo, se puede alimentar una pluralidad de cámaras desde colectores que proporcionan los líquidos y el gas. Esta disposición de flujo paralelo puede proporcionar una salida de espuma que, de igual manera, se canaliza a una sola boquilla X28, o a una pluralidad de boquillas dispuestas en un 30 patrón para adaptarse mejor a la geometría de entrada del motor.

Los diversos sistemas de lavado X20 discutidos en la presente descripción pueden incluir una mezcla de líquidos (como agua, producto químico A y producto químico B) que se proporcionan a la entrada de la cámara de nucleación, dentro de la cual se inyecta gas para crear una espuma a partir de la mezcla de líquidos. Sin embargo, 35 la presente invención no está tan limitada e incluye además aquellas modalidades en las que los líquidos pueden espumarse por separado. Por ejemplo, un sistema de limpieza útil para llevar a cabo un método de acuerdo con otra modalidad de la presente invención puede incluir una primera cámara de nucleación para el producto químico A y una segunda cámara de nucleación para una mezcla del producto químico B y agua. Las dos espumas resultantes pueden luego proporcionarse a una sola boquilla X28, o pueden proporcionarse a boquillas separadas X28.

40 Las diversas descripciones que siguen pertenecen a una variedad de ejemplos de cámaras de nucleación X60 que incorporan numerosas diferencias y numerosas similitudes. Se entiende que cada uno de estos se presenta solo a modo de ejemplo y no pretenden poner límites a las ideas generales expresadas en la presente descripción. Como todavía otro ejemplo, la presente invención contempla una modalidad en la que el producto líquido se proporciona a una entrada X63 y fluye dentro de una trayectoria de flujo rodeado por una cámara de gas circunferencial X66. En 45 dichas modalidades, la cámara de gas X66 define un espacio de flujo anular y proporciona gas bajo presión desde una entrada X62 al producto líquido que fluye dentro del espacio anular.

50 Las Figuras 18A y 18B muestran una cámara de nucleación 60 de acuerdo con un ejemplo. La carcasa 61 incluye una entrada de gas 62, una entrada de líquido 63 y una salida de espuma 64, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 61 hay un tubo de gas generalmente cilíndrico 66 que recibe gas bajo presión desde la entrada 62. Aunque la cámara de gas 66 se ha descrito como un tubo cilíndrico, todavía otras modalidades de la presente invención contemplan el uso de cámaras de gas internas de cualquier tamaño y forma adaptadas y configuradas para proporcionar un flujo de gas en un flujo de líquido de manera que 55 resulte una espuma.

60 El tubo de gas 66 está ubicado generalmente de forma concéntrica dentro de la carcasa 61 (aunque no se requiere una ubicación concéntrica), de manera que el líquido de la entrada 63 fluye generalmente alrededor de la superficie exterior del tubo 66. El tubo 66 incluye preferiblemente una pluralidad de aberturas 70 que están adaptadas y configuradas para hacer fluir gas desde el interior del tubo 66 generalmente hacia el interior del pasaje de creación de espuma de la carcasa 61. Como se muestra en la Figura 18A, las aberturas 70 están ubicadas generalmente a lo largo del tubo 66, y que rodea preferiblemente la circunferencia del tubo 66. Sin embargo, aún otros ejemplos contemplan aberturas 70 que tienen ubicaciones limitadas a ciertas porciones seleccionadas del tubo 66, tal como hacia la entrada, hacia la salida, generalmente en el medio, o cualquiera de sus combinaciones.

Como ejemplo, los chorros de nucleación 70 están adaptados y configurados para tener un área de flujo total que es aproximadamente igual al área de flujo de la sección transversal de la carcasa 61 o menor que el área de la sección transversal. Como ejemplo, los chorros 70 tienen diámetros de orificios desde aproximadamente 3,2 milímetros (aproximadamente un octavo de pulgada) a aproximadamente 1,6 milímetros (aproximadamente un dieciseisavo de pulgada).

La espuma dentro de la cámara de nucleación 60 se crea primero dentro de una zona de nucleación 65 que incluye la mezcla inicial de las corrientes de gas y líquido como se discutió anteriormente. A medida que la espuma sale de esta zona, fluye hacia una sección de crecimiento aguas abajo 74 y pasa sobre un material de crecimiento correspondiente 75. El material 75 está adaptado y configurado para proporcionar un área superficial estructural en la que las celdas de espuma individuales pueden unirse y combinarse con otras celdas de espuma para dividirse en más celdas de espuma. El material 75 incluye una pluralidad de características que hacen que las celdas más grandes y más energizadas se dividan en varias celdas más pequeñas. En algunos ejemplos, el material 75 es una malla formada preferiblemente a partir de un material metálico. También se pueden sustituir los materiales plásticos, siempre que el material orgánico pueda soportar la exposición a los líquidos 22 utilizados para la limpieza. Se contempla además mediante aún otros ejemplos que el material 75 puede ser un material distinto de una malla.

A medida que las celdas de espuma más divididas salen de la sección de crecimiento 74, ingresan a una sección de estructuración celular 78 que preferiblemente incluye un material 79 dentro del pasaje interno de espuma de la carcasa 61. El material 79 de la sección de estructuración celular 78 está adaptado y configurado para recibir una primera distribución variada de tamaños de celdas de espuma de la sección 74 y proporcionar a la salida 64 una segunda distribución de tamaños de celdas más pequeña y ajustada. En algunos ejemplos, el material de estructuración 79 incluye una malla formada a partir de un metal, siendo el tamaño de celda de la malla de la sección 78 más pequeño que el tamaño de malla de la sección de crecimiento 74.

Después de que las celdas fusionadas (celdas más abundantes) y estructuradas (homogeneidad mejorada) salen de la sección 78, ingresan a una porción de la trayectoria de flujo, partes de las cuales pueden estar dentro de la carcasa 61, y partes de las cuales pueden estar fuera de la carcasa 61, en la que la trayectoria de flujo está adaptada y configurada para proporcionar un flujo laminar de la espuma 28. Por lo tanto, el área de sección transversal de la sección de flujo laminar 82 es preferiblemente mayor que las áreas de flujo de la sección transversal representativas de la sección de nucleación 65, la sección de crecimiento 74 o la sección de estructuración 78. La sección de flujo 82 potencia el flujo laminar y también impide la turbulencia que, de lo contrario, podría reducir la cantidad o la calidad de la espuma. Aún más, la sección de salida del aparato 60, junto con los pasajes de flujo que se extienden hasta la boquilla 30, son generalmente suaves y con radios de giro suficientemente suaves para potenciar aún más el flujo laminar e impedir la turbulencia.

Las Figuras 16 muestran una cámara de nucleación 260 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 261 incluye una entrada de gas 262, una entrada de líquido 263 y una salida de espuma 264, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa cilíndrica 261 hay un tubo de gas generalmente cilíndrico 266 que recibe gas bajo presión desde la entrada 262. Aunque la cámara de gas 266 se ha descrito como un tubo cilíndrico, otros ejemplos contemplan cámaras de gas internas de cualquier tamaño y forma adaptadas y configuradas para proporcionar un flujo de gas en un flujo de líquido de manera que resulte una espuma.

El tubo de gas 266 está ubicado generalmente de forma concéntrica dentro de la carcasa 261 (aunque no se requiere una ubicación concéntrica), de manera que el líquido de la entrada 263 fluye generalmente alrededor de la superficie exterior del tubo 266. El tubo 266 incluye preferiblemente una pluralidad de aberturas separadas regularmente 270 que están adaptadas y configuradas para hacer fluir gas desde el interior del tubo 266 generalmente hacia el interior del pasaje de creación de espuma de la carcasa 261. Como se muestra en la Figura 16A, las aberturas 270 están ubicadas generalmente a lo largo del tubo 266, y que rodean preferiblemente la circunferencia del tubo 266.

Las zonas de nucleación, crecimiento y estructuración celular (272, 274 y 278, respectivamente) están dispuestas concéntricamente. La zona de nucleación 272 se crea entre la periferia exterior del tubo o tubería 266. El material de malla de alambre 275 de la sección de crecimiento 274 envuelve la periferia exterior del tubo 266, como se ve mejor en la Figura 16F (donde se muestra sujeto por tres regletas de conexiones eléctricas). La sección de nucleación 272 se crea entre la superficie exterior del tubo 266 y las superficies más interiores del material de crecimiento 275. A medida que las burbujas de gas se emiten desde las aberturas 270 y pasan a través de la zona de nucleación 272, se crea la espuma y las celdas de espuma pasan a través de una o más capas generalmente concéntricas de material de malla 275. A medida que las celdas de espuma más grandes salen del material 275 de la sección de crecimiento 274, las celdas más grandes luego pasan a un material de metal tejido dispuesto anularmente 279 que comprende la sección de estructuración y homogeneización de celdas 278 (como se ve mejor con referencia a las Figuras 16C y 16F). Con referencia a la Figura 16E, se puede ver que el material 279 de la sección de homogeneización 278 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad se ahúsa hacia la línea central de la cámara de nucleación 260. Las celdas de espuma se crean mediante la mezcla de líquido y gas, aumentan de tamaño y se homogeneizan de la manera que se discutió anteriormente.

Después de que las celdas fusionadas (crecidas) y estructuradas (homogeneidad mejorada) salen de la sección 278, ingresan a una porción de la trayectoria de flujo, partes de las cuales pueden estar dentro de la carcasa 261, y partes de las cuales pueden estar fuera de la carcasa 261, en el que se adapta la trayectoria de flujo y se configura para potenciar el flujo laminar de la espuma 228 (como se ve mejor en las Figuras 16E, 15A y 15B). Puede verse que el diámetro exterior de la trayectoria de flujo desde la salida 264 hasta la salida 228-1 montada en el gabinete 42 (como se ve mejor en las Figuras 13B y 15A) es sustancialmente del mismo tamaño que el diámetro exterior de la cámara de nucleación 260. Sin embargo, la sección transversal de la cámara de nucleación 260 (que se puede visualizar en las Figuras 16A y 16F) tiene un área de flujo de la sección transversal de la tubería aguas abajo de la salida 264 (como se ve mejor en la Figura 15A), el área de flujo de la sección transversal de la trayectoria de flujo de espuma dentro de la cámara 260 está parcialmente bloqueada por los materiales 275 y 279. La sección de flujo 282 (como se ve mejor en las Figuras 15A y 15B) potencia el flujo laminar y también impide la turbulencia que, de lo contrario, podría reducir la cantidad o la calidad de la espuma. Aún más, la sección de salida del aparato 260, junto con los pasajes de flujo que se extienden hasta la boquilla 230, son generalmente suaves y con radios de giro suficientemente suaves para potenciar aún más el flujo laminar e impedir la turbulencia.

La Figura 18C muestra una cámara de nucleación 360 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 361 incluye una entrada de gas 362, una entrada de líquido 363 y una salida de espuma 364, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 361 hay un tubo de gas generalmente cilíndrico 366 que recibe gas bajo presión desde la entrada 362. Aunque la cámara de gas 366 se ha descrito como un tubo cilíndrico, aún otros ejemplos contemplan cámaras de gas internas de cualquier tamaño y forma adaptadas y configuradas para proporcionar un flujo de gas en un flujo de líquido de manera que resulte una espuma.

El tubo de gas 366 está ubicado generalmente de forma concéntrica dentro de la carcasa 361 (aunque no se requiere una ubicación concéntrica), de manera que el líquido de la entrada 363 fluye generalmente alrededor de la superficie exterior del tubo 366. El tubo 366 incluye preferiblemente una pluralidad de aberturas 370 que están adaptadas y configuradas para hacer fluir gas desde dentro del tubo 366 generalmente hacia el interior del pasaje de creación de espuma de la carcasa 361. Como se muestra en la Figura 18C, las aberturas 370 están ubicadas generalmente a lo largo del tubo 366, y que rodea preferiblemente la circunferencia del tubo 366.

La zona de nucleación 365 incluye chorros o perforaciones 370 que están dispuestos en una pluralidad de subzonas, los chorros dentro de dichas subzonas 372 introducen gas en el líquido que fluye en diferentes ángulos de ataque. Una primera zona de nucleación 372a está ubicada aguas arriba de una segunda zona de nucleación intermedia 372b, que es seguida por una tercera zona de nucleación 372c (cada una de las cuales está ubicada y separada a lo largo de la cámara de gas 366). Como se indica en la Figura 18C, la zona 372b se superpone a ambas zonas 372a y 372c, aunque otros ejemplos contemplan más o menos superposición, incluyendo la ausencia de superposición.

Los chorros o perforaciones 370a dentro de la zona 372a están preferiblemente adaptados y configurados para tener un ángulo de ataque que es generalmente opuesto (o en contra) del flujo predominante de líquido (cuyo flujo es de izquierda a derecha, como se ve en la Figura 18C). Como ejemplo, la línea central de estos chorros 370a está aproximadamente a 30-40 grados de una línea que se extiende normal a la línea central de la trayectoria de flujo de espuma dentro de la cámara 360 (es decir, formando un ángulo de 60-50 grados con la línea central). Por lo tanto, el aire que sale de las perforaciones 370a dentro de la zona 372a imparte energía al flujo del líquido circundante que actúa para reducir el líquido (es decir, un vector de velocidad para el gas que sale de una boquilla 370a tiene un componente que es opuesto al vector del líquido que fluye de izquierda a derecha dentro de la Figura 18C de la cámara 360).

Los chorros de nucleación 370 dentro de la zona 372b están inclinados para impartir un movimiento de rotación al fluido dentro de la trayectoria de flujo de espuma. En un ejemplo, los chorros de nucleación 370b tienen un ángulo de aproximadamente 30-40 grados desde una línea normal que se extiende desde la línea central de la trayectoria de flujo, en una dirección para impartir una rotación similar a la de un tornado dentro de la cámara de nucleación 360.

Una tercera zona de nucleación 372c incluye una pluralidad de chorros 370c que tienen un ángulo de aproximadamente 30-40 grados en una dirección para empujar axialmente el líquido generalmente en la dirección total del flujo dentro de la trayectoria de flujo de espuma (es decir, de izquierda a derecha y generalmente opuesta de la orientación angular de los chorros 370a).

Se entiende además que las perforaciones o chorros de nucleación 372 dentro de una zona 370 pueden tener ángulos de ataque como se describió anteriormente en su totalidad entre todos los chorros o solo parcialmente en algunos de los chorros. Otros ejemplos más contemplan zonas 372a, 372b, 372c en las que solo algunos de los chorros 370a, 370b o 370c, respectivamente, están inclinados como se describió anteriormente, con el resto de los chorros 370a, 370b o 370c, respectivamente, estando orientados de manera diferente. Aún más, aunque lo que se ha mostrado y descrito es una primera zona A con un ángulo de ataque opuesto al del flujo de fluido y seguida por

una segunda zona de sección B que tiene chorros con ángulos de ataque orientados para impartir movimiento de rotación, y luego seguida por una la zona C de la tercera sección que tiene chorros con un ángulo de ataque orientado para empujar la espuma hacia la salida, se entiende que varias modalidades de la presente invención contemplan aún más disposiciones de chorros inclinados. Como un ejemplo, aún otros ejemplos contemplan una sección de movimiento de rotación de fluido ubicada al principio o al final de la zona de nucleación. Como todavía otro ejemplo, aún otros ejemplos contemplan una sección de contraflujo (previamente descrita como zona 372a) ubicada hacia el extremo más distal de la zona de nucleación (es decir, orientada más cerca de la sección de crecimiento 374). Todavía en otros ejemplos, hay zonas de nucleación que comprenden menos de las tres zonas A, B y C, incluidos los ejemplos que tienen orificios dispuestos con solo una de las características de las zonas A, B, y C descritas anteriormente.

La Figura 18D muestra una cámara de nucleación 460 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 461 incluye una entrada de gas 462, una entrada de líquido 463 y una salida de espuma 464, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 461 hay un tubo de gas generalmente cilíndrico 466 que recibe gas bajo presión desde la entrada 462. Aunque la cámara de gas 466 se ha descrito como un tubo cilíndrico, aún otros ejemplos contemplan cámaras de gas internas de cualquier tamaño y forma adaptadas y configuradas para proporcionar un flujo de gas en un flujo de líquido de manera que resulte una espuma.

El tubo de gas 466 está ubicado generalmente de forma concéntrica dentro de la carcasa 461 (aunque no se requiere una ubicación concéntrica), de manera que el líquido de la entrada 463 fluya generalmente alrededor de la superficie exterior del tubo 466. El tubo 466 incluye preferiblemente una pluralidad de aberturas 470 que están adaptadas y configuradas para hacer fluir gas desde dentro del tubo 466 generalmente hacia el interior del pasaje de creación de espuma de la carcasa 461. Como se muestra en la Figura 18D, las aberturas 470 están ubicadas generalmente de manera aleatoria a lo largo del tubo 466, y que rodea preferiblemente la circunferencia del tubo 466. Sin embargo, aún otros ejemplos contemplan aberturas 470 que tienen ubicaciones limitadas a ciertas porciones seleccionadas del tubo 466, como hacia la entrada, hacia la salida, generalmente en el medio, o cualquiera de sus combinaciones.

La Figura 18E muestra una cámara de nucleación 560 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 561 incluye una entrada de gas 562, una entrada de líquido 563 y una salida de espuma 564, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 561 hay una cámara de gas o cámara de admisión 566 que recibe gas bajo presión desde la entrada 562. Aunque la cámara de gas 566 se ha descrito como un tubo cilíndrico, aún otros ejemplos contemplan cámaras de gas internas de cualquier tamaño y forma adaptadas y configuradas para proporcionar un flujo de gas en un flujo de líquido de manera que resulte una espuma.

El tubo de gas 566 está ubicado generalmente de forma concéntrica dentro de la carcasa 561 (aunque no se requiere una ubicación concéntrica), de manera que el líquido de la entrada 563 fluya generalmente alrededor de la superficie exterior del tubo 566. El tubo 566 incluye preferiblemente una pluralidad de aberturas 570 que están adaptadas y configuradas para hacer fluir gas desde dentro del tubo 566 generalmente hacia el interior del pasaje de creación de espuma de la carcasa 561. Como se muestra en la Figura 18E, las aberturas 570 están ubicadas generalmente a lo largo del tubo 566, y que rodea preferiblemente la circunferencia del tubo 566. Sin embargo, aún otros ejemplos contemplan aberturas 570 que tienen ubicaciones limitadas a ciertas porciones seleccionadas del tubo 566, como hacia la entrada, hacia la salida, generalmente en el medio, o cualquiera de sus combinaciones.

Las aberturas dentro de las zonas 572a, 572b y 572c están dispuestas generalmente como se describió anteriormente con respecto a la cámara de nucleación 560. La Figura 18E incluye un dibujo insertado que muestra un solo chorro de nucleación 570a que tiene un ángulo de ataque 571a. El vector de velocidad del chorro de gas que sale 570a incluye un componente de velocidad que es adverso (es decir, aguas arriba) a la dirección total del flujo de la trayectoria de flujo de espuma desde las entradas 562 y 563 hasta la salida 564.

La Figura 18F muestra una cámara de nucleación 660 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 661 incluye una entrada de gas 662, una entrada de líquido 663 y una salida de espuma 664, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 661 hay un tubo de gas generalmente cilíndrico 666 que recibe gas bajo presión desde la entrada 662. Aunque la cámara de gas 666 se ha descrito como un tubo cilíndrico, aún otros ejemplos contemplan cámaras de gas internas de cualquier tamaño y forma adaptadas y configuradas para proporcionar un flujo de gas en un flujo de líquido de manera que resulte una espuma.

El tubo de gas 666 está ubicado generalmente de forma concéntrica dentro de la carcasa 661 (aunque no se requiere una ubicación concéntrica), de manera que el líquido de la entrada 663 fluya generalmente alrededor de la superficie exterior del tubo 666. El tubo 666 incluye preferiblemente una pluralidad de aberturas 670 que están adaptadas y configuradas para hacer fluir gas desde dentro del tubo 666 generalmente hacia el interior del pasaje de creación de espuma de la carcasa 661. Como se muestra en la Figura 18F, las aberturas 670 están ubicadas generalmente a lo largo del tubo 666, y que rodean preferiblemente la circunferencia del tubo 666. Sin embargo, aún

otros ejemplos contemplan aberturas 670 que tienen ubicaciones limitadas a ciertas porciones seleccionadas del tubo 666, como hacia la entrada, hacia la salida, generalmente en el medio, o cualquiera de sus combinaciones.

La espuma dentro de la cámara de nucleación 660 se crea primero dentro de una zona de nucleación 665 que incluye la mezcla inicial de las corrientes de gas y líquido como se explicó anteriormente. A medida que la espuma sale de esta zona, fluye hacia una sección de crecimiento aguas abajo 674 y pasa por encima y alrededor de un transductor ultrasónico 675. En un ejemplo, el transductor 675 es una varilla (como se muestra), aunque en otros ejemplos se entiende que el transductor ultrasónico está adaptado y configurado para proporcionar excitación sónica a la espuma que sale de la zona de nucleación 665 y puede tener cualquier forma. Por ejemplo, aún otros ejemplos contemplan un transductor que tiene una forma generalmente cilíndrica, de manera que la espuma fluya a través del diámetro interior del cilindro, y en algunos ejemplos en los que el transductor es más pequeño que el diámetro interior de la trayectoria de flujo 661, la espuma también pasa sobre el diámetro exterior del transductor. Además, aunque un ejemplo incluye un transductor que se excita a frecuencias ultrasónicas, se entiende que aún otros ejemplos contemplan sensores que vibran e imparten vibraciones a la espuma nucleada a cualquier frecuencia, incluidas frecuencias sónicas y frecuencias subsónicas.

Con referencia a la figura insertada más pequeña de la Figura 18F, el transductor 675 es preferiblemente excitado por una fuente electrónica externa. En una modalidad, la fuente proporciona una tensión de salida oscilante que excita un elemento piezoelectrónico dentro del transductor 675. Se ha encontrado que el uso de un transductor vibratorio es efectivo para convertir una cantidad sustancial del líquido proporcionado en espuma. Varias modalidades de la presente descripción contemplan vibraciones excitantes en el transductor 675 con cualquier tipo de entrada oscilante, incluidas una o más frecuencias individuales, barridos de frecuencia en un rango o entradas de frecuencia aleatorias en un rango de frecuencia. En una prueba, se excitó un transductor proporcionado por Sharpertek a frecuencias superiores a 25 kHz. Aunque se muestra una varilla de transductor generalmente cilíndrica, otros ejemplos contemplan transductores vibratorios de cualquier forma, incluidos los transductores montados lateralmente, que se pueden usar en una cámara de forma rectangular para que los líquidos y el gas dentro de la cámara fluyan cerca de los transductores para efecto mejorado. Aún más, se entiende que la excitación electrónica del transductor 675 se contempla en algunas modalidades, mientras que en otras modalidades el transductor 675 puede excitarse por otros medios mecánicos, incluso por entradas hidráulicas o neumáticas. Aún más, otras modalidades contemplan el uso de una mesa de vibración dentro del gabinete 42 para sacudir físicamente la cámara de nucleación. En tales ejemplos, las entradas y la salida de la cámara de nucleación están acopladas a otras tuberías dentro del gabinete mediante accesorios flexibles.

A medida que las celdas de espuma más grandes salen de la sección de crecimiento 674, ingresan a una sección de estructuración celular 678 que preferiblemente incluye un material 679 dentro del pasaje interno de espuma de la carcasa 661. El material 679 de la sección de estructuración celular 678 está adaptado y configurado para recibir una primera distribución mayor de tamaños de celdas de espuma de la sección 674 y proporcionar a la salida 664 una segunda distribución más pequeña y más estrecha de tamaños de celdas. En algunos ejemplos, el material de estructuración 679 incluye una malla.

La Figura 18G muestra una cámara de nucleación 760 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 761 incluye una entrada de gas 762, una entrada de líquido 763 y una salida de espuma 764, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 761 hay un tubo de gas generalmente cilíndrico 766 que recibe gas bajo presión desde la entrada 762. Aunque la cámara de gas 766 se ha descrito como un tubo cilíndrico, aún otros ejemplos contemplan cámaras de gas internas de cualquier tamaño y forma adaptadas y configuradas para proporcionar un flujo de gas en un flujo de líquido de manera que resulte una espuma.

El tubo de gas 766 está ubicado generalmente de manera concéntrica dentro de la carcasa 761 (aunque no se requiere una ubicación concéntrica), de manera que el líquido de la entrada 763 fluye generalmente alrededor de la superficie exterior del tubo 766. El tubo 766 incluye preferiblemente una pluralidad de dispositivos de nucleación 770, cada uno de los cuales incluye una pluralidad de pequeños orificios para el paso del aire. Como se muestra en la Figura insertada de la Figura 18G, en un ejemplo, el dispositivo 770 es un silenciador de filtro de metal poroso, como los fabricados por Alwitco de North Royalton, Ohio. Estos dispositivos incluyen un miembro de metal poroso unido a un miembro roscado. Se proporciona aire a través del miembro roscado al material poroso, que en un ejemplo incluye una variedad de orificios que rodean la periferia y el extremo del miembro poroso, siendo los orificios de entre diez y cien micras de diámetro. Todavía otras modalidades contemplan el uso de filtros de viento de metal poroso, tales como los proporcionados por Alwitco. Aún ejemplos adicionales contemplan dispositivos 770 que incluyen trayectorias de flujo de salida de gas similares a las de los silenciadores en microminiatura y minimanguito de Alwitco.

De manera más general, el dispositivo 770 incluye una trayectoria de flujo interna que recibe gas bajo presión desde el interior de la cámara 766. Un extremo del dispositivo 770 incluye una pluralidad de orificios (logrados mediante el uso de metal poroso, o mediante taladrado, estampado, grabado químico, fotograbado, mecanizado por electroerosión o similares) en un patrón (aleatorio u ordenado) de manera que el gas del pasaje interno del dispositivo 770 fluya hacia la mezcla circundante de líquidos y crea espuma. Como se ve mejor en la Figura 18G, en

- 5 algunos ejemplos, el extremo poroso del dispositivo 770 es cilíndrico y se extiende en la trayectoria de flujo de líquido, mientras que en otros ejemplos, el extremo poroso generalmente está al ras, y en otros ejemplos puede tener cualquier forma. En algunos ejemplos, el dispositivo 770 tiene una porosidad que está orientada direccionalmente, de manera que el extremo saliente del dispositivo generalmente no es poroso en el lado aguas arriba y el lado aguas abajo del dispositivo es poroso. En tales ejemplos, la espuma se crea a raíz de los líquidos a medida que pasan sobre el cuerpo sobresaliente del dispositivo 770. Como se representa en la Figura 18G, en algunos ejemplos, hay una pluralidad de dispositivos 770 ubicados a lo largo y alrededor de la circunferencia (o que se extienden desde) la cámara de gas 766.
- 10 Todos los ejemplos adicionales contemplan una cámara de gas 766 que se fabrica a partir de un metal poroso, tal como el metal poroso discutido anteriormente. En tales ejemplos, el gas escapa de la cámara y entra en la trayectoria de flujo de líquido a lo largo de toda la longitud de la estructura porosa. Aún más, algunos ejemplos contemplan cámaras de gas que están construidas a partir de un material que incluye una pluralidad de orificios (formados por taladrado, estampado, grabado químico, fotograbado, mecanizado por electroerosión o similares).
- 15 15 La Figura 18H muestra una cámara de nucleación 860 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 861 incluye una entrada de gas 862, una entrada de líquido 863 y una salida de espuma 864, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 861 hay un tubo de gas generalmente cilíndrico 866 que recibe gas bajo presión desde la entrada 862.
- 20 20 Aunque la cámara de gas 866 se ha descrito como un tubo cilíndrico, otros ejemplos contemplan cámaras de gas internas de cualquier tamaño y forma adaptadas y configuradas para proporcionar un flujo de gas en un flujo de líquido de manera que resulte una espuma.
- 25 25 El tubo de gas 866 está ubicado generalmente de forma concéntrica dentro de la carcasa 861 (aunque no se requiere una ubicación concéntrica), de manera que el líquido de la entrada 863 fluya generalmente alrededor de la superficie exterior del tubo 866. El tubo 866 incluye preferiblemente una pluralidad de dispositivos 870 similares a los chorros de nucleación 770 descritos anteriormente.
- 30 30 La espuma dentro de la cámara de nucleación 860 se crea primero dentro de una zona de nucleación 872 que incluye la mezcla inicial de las corrientes de gas y líquido como se explicó anteriormente. A medida que la espuma sale de esta zona, fluye hacia una sección de crecimiento aguas abajo 874 y pasa sobre un material de crecimiento correspondiente 875. En algunos ejemplos, el material 875 es una malla formada preferiblemente a partir de un material metálico. También se pueden sustituir los materiales plásticos, siempre que el material orgánico pueda soportar la exposición a los líquidos 822 utilizados para la limpieza. Se contempla además mediante aún otros ejemplos que el material 875 puede ser un material distinto de una malla.
- 35 35 A medida que las celdas de espuma más grandes salen de la sección de crecimiento 874, ingresan a una sección de estructuración celular 878 que preferiblemente incluye un material 879 dentro del pasaje interno de espuma de la carcasa 861. El material 879 de la sección de estructuración celular 878 está adaptado y configurado para recibir una primera distribución más grande de tamaños de celdas de espuma de la sección 874 y proporcionar a la salida 864 una segunda distribución más pequeña y más estrecha de tamaños de celdas. En algunos ejemplos, el material de estructuración 879 incluye una malla formada a partir de un metal, siendo el tamaño de celda de la malla de la sección 878 más pequeño que el tamaño de malla de la sección de crecimiento 874. En una prueba, un dispositivo 860 logró convertir gran parte de los líquidos en espuma.
- 40 40 45 La Figura 18I muestra una cámara de nucleación 960 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 961 incluye una entrada de gas 962, una entrada de líquido 963 y una salida de espuma 964, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 961 hay una cámara generalmente cilíndrica 966 que recibe gas bajo presión desde la entrada 962.
- 50 50 La cámara de gas 966 está ubicada generalmente dentro de la trayectoria de flujo de espuma de la cámara 960, de manera que el líquido de la entrada 963 fluya generalmente alrededor de las superficies exteriores de la cámara 966. En un ejemplo y como se representa en la Figura insertada de la Figura 18I, la cámara 966 comprende una pluralidad de estructuras similares a un radiador dentro de la trayectoria de flujo de la espuma. Cada estructura incluye uno o más tubos de alimentación principales 966.1 que proporcionan gas desde la entrada 962 a uno o más tubos transversales 966.2 que se extienden a lo largo de la trayectoria de flujo de espuma. Cada uno de estos tubos transversales 966.2 incluye una pluralidad de chorros de nucleación 970 a través de los cuales sale gas al líquido que fluye. En un ejemplo, los tubos transversales 966.2 generalmente están en estrecho contacto con una pluralidad de miembros similares a una aleta 975 que generalmente se extienden a través de algunos o todos los tubos transversales 966.2. Esta cámara 966 por lo tanto combina la zona de nucleación 972 y las secciones de crecimiento y/u homogeneización 974 y 978, respectivamente, en un solo dispositivo. El resultado es que los líquidos entran por el lado aguas arriba del dispositivo 966 y una espuma sale por el lado aguas abajo del dispositivo 966. En un ejemplo, el dispositivo 966 es similar a un dissipador de calor y un radiador de enfriamiento de un chip de ordenador.
- 60 60 65 La Figura 18J muestra una cámara de nucleación 1060 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 1061 incluye una entrada de gas 1062, una entrada de líquido 1063

5 y una salida de espuma 1064, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 1061 hay una cámara de gas 1066 que recibe gas bajo presión desde la entrada 1062.

10 En un ejemplo, la cámara 1066 incluye una cámara de suministro 1066.1 que está en comunicación de fluidos con una pluralidad de tubos que se extienden longitudinalmente 1066.2. Preferiblemente, cada uno de los tubos 1066.1 y 1066.2 se extienden dentro de la trayectoria de flujo de la cámara de nucleación 1060 y además incorporan una pluralidad de chorros de nucleación 1070. Como se ve en la Figura 18J, en algunos ejemplos, los tubos 1066.2 están dispuestos longitudinalmente, de manera que el líquido fluya generalmente a lo largo de los tubos 1066.2. Sin embargo, en otros ejemplos, los tubos 1066.2 también pueden disponerse ortogonalmente, de manera similar a los tubos 966.2 descritos con respecto a la cámara de nucleación 960.

15 La Figura 18K muestra una cámara de nucleación 1160 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La carcasa 1161 incluye una entrada de gas 1162, una entrada de líquido 1163 y una salida de espuma 1164, con un pasaje de creación de espuma ubicado entre las entradas y la salida. Dentro de la carcasa 1161 se encuentra una zona de nucleación 1172 que incluye una cámara 1166 para liberar gas en la trayectoria de flujo de espuma y un dispositivo de mezcla motorizado que incluye un impulsor 1186 accionado por un motor 1184. En un ejemplo, el impulsor 1186 incluye una o más paletas agitadoras curvas conectadas a un eje y similar a un dispositivo agitador de pintura. El gas de un tubo de salida de la cámara 1166 se proporciona aguas arriba de las paletas de agitación. Se ha encontrado que la espuma creada de esta manera es aceptable, aunque 20 con una amplia variación en el tamaño de las celdas de espuma. Aún ejemplos adicionales incluyen una sección de estructuración celular 1178 (no mostrada) ubicada aguas abajo de la sección de nucleación 1172. En el recuadro de la Figura 18K se muestran todavía otros ejemplos del miembro agitador, incluyendo los dispositivos 1186-1 y 1186-2. En una aplicación, el dispositivo de nucleación 1186-1 es similar a un impulsor de resorte en espiral, similar a los vendidos por McMaster Carr. En todavía otro ejemplo, el dispositivo 1186-2 tiene una configuración similar al impulsor de un secador de pelo. En algunas modalidades, la espuma preparada en la cámara 1160 se fabrica preferiblemente con líquidos 1163 proporcionados a caudales relativamente más bajos.

25 Las Figuras 18L, 18M, 18N, 18O, 18P, 18Q, y 18R representan una cámara de nucleación 1260 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con otra modalidad de la presente invención. Estos dibujos muestran varias relaciones angulares y otras relaciones geométricas entre los diversos componentes de un dispositivo de nucleación 1260. La Figura 18O muestra que la primera zona de nucleación 1272a puede incluir chorros que tienen un ángulo de ataque negativo, lo que significa que puede haber un componente de velocidad del aire que sale de la cámara de gas que es opuesto a la dirección total del flujo del líquido que fluye dentro del dispositivo de nucleación. Las Figuras 18P y 18Q muestran que las zonas de nucleación aguas abajo 1272b y 1272c pueden incluir ángulos de inyección para el aire que incluyen un componente de velocidad en la misma dirección que el flujo del líquido (que está parcialmente espumado, habiendo pasado ya por la primera zona 1272a). La Figura 18R muestra además un chorro de nucleación 1270 que está orientado para proporcionar un movimiento de rotación a la mezcla espumada (es decir, rotación alrededor del eje central del dispositivo de nucleación). Se entiende además que varios chorros de nucleación pueden tener una combinación de ángulo de movimiento de rotación como se muestra en la Figura 18R 40 con cualquiera de los ángulos alfa, beta o rho mostrados en las Figuras 18O, 18P, o 18Q, respectivamente.

45 En algunos ejemplos, el área de flujo total de todos los chorros de nucleación está en el rango de aproximadamente el 50 por ciento del área de flujo transversal N de la cámara de admisión de gas, a aproximadamente tres veces el área de flujo transversal total N de la cámara de admisión de vidrio. Con el fin de conseguir esta relación entre el área total del chorro de nucleación y el área total de la sección transversal de la cámara de admisión, la longitud NL se puede ajustar en consecuencia. En otros ejemplos adicionales, la relación entre el área de sección transversal O del diámetro interior del dispositivo de nucleación y el área N de la cámara de admisión de gas debe ser inferior a aproximadamente cinco.

50 Las Figuras 19 proporcionan representaciones pictóricas de la limpieza de motores aeronáuticos de acuerdo con diversas modalidades de la presente invención. La Figura 19A muestra un vehículo 21 estacionado entre el ala y el motor de una aeronave de la familia del DC-9. Las Figuras 19B y 19C representan un vehículo 21 que utiliza un sistema de lavado 20 para limpiar el motor derecho de una aeronave tipo DC-10. El vehículo 21 incluye un sistema de lavado 20. Una boquilla 30 está sostenida por un brazo extensible 23 cerca de la entrada 11 del motor 10 55 montado en el fuselaje. Un colector de efluentes 32 está ubicado cerca del escape 16 del motor 10. El colector 32 en un ejemplo incluye una carcasa 33 acoplada a un miembro de sujeción 34. El miembro de sujeción 34 en algunos ejemplos está acoplado al vehículo 21 (o alternativamente, a la pista de despegue o a otra restricción adecuada) para mantener la ubicación del colector 32 detrás del motor 10 durante el proceso de limpieza. En algunos ejemplos, la carcasa 33 se hincha con aire, de manera similar a los grandes equipos de juego al aire libre. En tales ejemplos, el vehículo 21 incluye además un ventilador para proporcionar aire a presión a la carcasa 33.

60 La espuma de la boquilla 20 sostenida por el brazo 23 se proporciona a la entrada del motor 10, preferiblemente cuando el motor 10 rota mediante su motor de arranque. La espuma 28 se inyecta en la entrada 11 cuando el motor 10 rota sobre su motor de arranque. En algunas modalidades, la operación típica del motor de arranque da como resultado una velocidad máxima de motorización (es decir, no operativa) del motor, que es típicamente menor que la velocidad de marcha lenta (es decir, operativa) del motor. Sin embargo, en algunas modalidades, el método de

utilizar el sistema 20 incluye preferiblemente hacer rotar el motor a una velocidad de rotación menor que la velocidad de motor típica. Con tal funcionamiento a menor velocidad, es menos probable que los componentes de la sección fría del motor 10 reduzcan la calidad o la cantidad de espuma antes de que se suministre a la sección caliente del motor. En una modalidad, la velocidad de rotación preferida durante la limpieza es de aproximadamente 25 por ciento de la velocidad del motor a menos de aproximadamente 75 por ciento de la velocidad del motor.

Las Figuras 2-1A y 2-1B representan diversas representaciones de un sistema de lavado o limpieza 20 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. El sistema de lavado 20 se puede realizar dentro de un vehículo 21. El vehículo 21 también puede adoptar la forma de un remolque, un carro compacto o una plataforma rodante, de manera que pueda rodar como el vehículo 21 a una ubicación deseada con una capacidad variable.

La Figura 2-1A representa pictóricamente una vista lateral trasera de un motor 10 que se limpia en el ala de una aeronave 90 en un entorno de aeropuerto. El vehículo 21 contiene un sistema de lavado 20 para suministrar producto de limpieza con espuma al motor 10 a través de la manguera 33 sostenida hasta el motor 10 por el soporte 34. También se ha contemplado que el vehículo 21 pueda proporcionar un soporte 34 o una pluma 23 (visto más adelante en la Figura 2-2).

La Figura 2-1B representa pictóricamente la vista frontal de un sistema de lavado 20 que se usa para limpiar un motor a reacción 10. El sistema 20 normalmente incluye un suministro 26 de gas (no se muestra), un suministro 24 de agua, un suministro 22 de productos químicos de limpieza y un suministro de electricidad (no se muestra), todos los cuales se proporcionan a un sistema de formación de espuma 40. El sistema de formación de espuma 40 acepta estos componentes de entrada y proporciona una salida de espuma 28 (no mostrada) a través de una boquilla 30 a la entrada 11 del motor 10.

Las Figuras 2-2, 2-3, y 2-4 representan pictóricamente varios ejemplos de un colector de efluentes 32 y el posicionamiento del vehículo 21. El colector de efluentes 32 está diseñado para recolectar espuma y efluentes para procesamiento posterior, reciclado (unidad de procesamiento 80, vista más adelante en la Figura 2-7) o para su eliminación.

La Figura 2-2 representa pictóricamente el colector de efluentes 32. El colector de efluentes 32 se puede inflar, de forma similar a un equipo recreativo al aire libre, o similar a una rampa de emergencia de una aeronave o una balsa salvavidas. El colector de efluentes 32 en un ejemplo es seguro y suave para la aeronave y se soporta estructuralmente para contener la espuma, los líquidos y las partículas sólidas. Además, el vehículo 21 puede contener un brazo 23 para sostener la boquilla 30 (más información sobre la boquilla 30 en la Figura 2-8). El brazo 23 permite posicionar la boquilla 30 para la introducción de espuma al motor 10. El brazo 23 puede tener una combinación o rango de grados de libertad en el espacio, además de, pero sin limitarse a, alargamiento, rotación y/o ángulos.

La Figura 2-3 representa pictóricamente el colector de efluentes 32 (similar a la Figura 2-2) en un motor a reacción 10 mucho más grande. El vehículo 21 se puede colocar delante del motor 10, pero no se limita a esta modalidad. Por ejemplo, el motor a reacción 10 en la parte superior trasera de la aeronave 90 es lo suficientemente alto como para que la posición del vehículo 21 y la pluma 23 alcancen la entrada (como en la Figura 8). En tal escenario contemplado, el colector de efluentes 32 puede elevarse por otro vehículo 21 con el brazo 23, o por un soporte 34 (como en la Figura 2-1).

La Figura 2-4 representa pictóricamente un ejemplo del colector de efluentes 32. El colector 32 puede ser una alfombra de piso con pared de contención 37. En un ejemplo, se contempló que la pared de contención 37 se sostuviera con soportes o se inflara. El colector de efluentes 32 puede tener una variación de tamaños y dimensiones para abarcar uno o varios motores 10 durante el proceso de limpieza.

La Figura 2-5 es una representación fotográfica esquemática y artística de motores de aeronave 10 que se limpian con un sistema útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. Los motores 10 están montados de acuerdo con el diseño de la aeronave 90; donde las ilustraciones muestran un helicóptero de doble rotor (Bell) con motores 10 montados horizontalmente hacia atrás, y otro diseño tiene motores 10 montados al costado del ala y pivotan entre la vertical y la horizontal (V22 Osprey). El vehículo 21 mostrado en esta representación fotográfica incorpora un remolque. La orientación del motor 10 en la aeronave V22 es vertical, donde la manguera 33 dirige el producto de limpieza con espuma a la boquilla 30 en la entrada del motor 11. La limpieza o el lavado del motor 10 en este formato permiten la prescripción del motor (más en la Figura 2-10) para posiblemente alternar los componentes centrales del motor 10 para que giren, estén estacionarios o ambos. Se ha contemplado que los productos de limpieza con espuma pueden caer en cascada sin agitación/rotación. El efluente luego saldría por la parte inferior del motor 10, para ser capturado (similar a la Figura 2-4), o permitir que ingrese al alcantarillado.

La Figura 2-7 es una representación esquemática de un proceso/método de limpieza de acuerdo con una modalidad de la presente invención. Como se demuestra en todas las figuras anteriores, el aparato y método de la invención

5 pueden permitir versatilidad en el campo. El esquema muestra la trayectoria del método de los pasos del proceso para limpiar el motor 10. Para fines explicativos, el proceso comienza en el vehículo 21 que contiene el sistema de lavado 20. El sistema de lavado proporciona los productos de limpieza con espuma para limpiar el motor 10, donde se encuentran suciedad, contaminantes, líquidos y espuma; el efluente sale del motor 10. Debido a que las condiciones de campo y las regulaciones varían (es decir, aeropuertos, terrenos privados o zonas militares), el método y el diseño de la invención contemplan la incorporación de flexibilidad modular al vehículo 21. Por ejemplo, el efluente tiene tres rutas de método que puede tomar, la trayectoria A, B o C. Primero, la trayectoria A, el efluente puede ir directamente al alcantarillado o al suelo. En segundo lugar, debido al sistema colector de efluentes 32, la espuma, los líquidos y el material incrustante pueden reciclarse y/o procesarse mediante la unidad de procesamiento 80, que se muestra en la trayectoria B o C. El vehículo 21 puede alojar una unidad de procesamiento 80, como se muestra en la trayectoria B. Mientras que en la trayectoria C, la unidad de procesamiento 80 se puede manejar por separado del vehículo 21. La unidad de procesamiento 80 puede ser un módulo preconstruido similar a los vendidos por AXEON Water Technologies.

10 15 Las Figuras 2-8A, 2-8B son representaciones esquemáticas similares de un motor que representa un sistema de inyección de espuma útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. El esquema representa una vista frontal más cercana del motor 10 con la entrada 11 de la sección de ventilador y compresor. Las dos figuras se muestran para aportar claridad a la vista en perspectiva, particularmente a la boquilla 30 en relación con el motor 10. La boquilla 30 puede ser una pluralidad de boquillas y/o boquillas que se articulan en 20 posición, ángulo y/o rotación. Por ejemplo, el punto A en ambas figuras ilustra una boquilla articulada (es decir, robot o monitor vendido por Task Force Tips, monitor controlado a distancia Y2-E11A) con un tubo alargado (sin limitación de tamaño) donde el producto de limpieza de espuma puede alcanzar y dirigirse a la entrada del compresor 11 del motor 10. De manera similar, el punto B, en ambas figuras, ilustra la boquilla articulada, que tiene una salida de boquilla en forma de "Y" (pero sin limitar el diseño), colocada a lo largo del eje de rotación del núcleo del motor 10 25 donde la boquilla 30 puede rotar axialmente a lo largo de la zona de entrada del compresor 11.

30 La Figura 2-9A es una representación esquemática de un corte del motor y una vista interna que representa un sistema de conexión de espuma 41 útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. El motor 10 normalmente incluye una sección fría que incluye una entrada 11, un ventilador 12 (no se muestra) y uno o más compresores 13. Se proporciona aire comprimido a la sección caliente del motor 10, incluida la cámara de combustión 14, una o más turbinas 15 y un sistema de escape 16. Debido a que diferentes motores exhiben variaciones en el desgaste debido al ensuciamiento, los fabricantes de motores 10 tienen tuberías 42, 35 conexiones o pasajes dedicados diseñados para procedimientos de lavado con agua. Debido a que la presente invención muestra que el sistema de limpieza por espuma tiene mejoras, en referencia a la Figura 2-5, la boquilla 30 o la manguera 33 también se pueden conectar directamente a uno o varios de los puntos de conexión de espuma 41 (línea de puntos), dirigidos a secciones específicas, algunas o todas del motor.

40 Como ejemplo, se sabe que algunas secciones del compresor incluyen uno o más colectores o tuberías que transportan aire comprimido, como para proporcionar aire de purga a la aeronave o proporcionar aire comprimido relativamente frío para enfriar la sección caliente del motor. En algunas modalidades, se proporciona espuma limpiadora al motor a través de estos colectores o tuberías. Esta espuma se puede proporcionar mientras el motor rota o mientras el motor está estático. Además, se sabe que las secciones calientes del motor incluyen tuberías o colectores que reciben aire comprimido más frío con el fin de enfriar la sección caliente, y puertos obturados utilizados para inspecciones con boroscopio u otros fines. Todavía otras modalidades de la presente descripción 45 contemplan la introducción de espuma en dichas tuberías y puertos, ya sea en un motor estático o en un motor rotativo.

50 La Figura 2-9B es una representación esquemática de un corte de motor con componentes internos y externos que ilustra un sistema de conexión de espuma útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. De manera similar a la Figura 2-9A, el corte del motor 10 tiene una entrada 11, un ventilador 12, una sección de compresor 13, una sección de cámara de combustión 14, una sección de turbina 15 y una sección de escape 16. La tubería 43, los pasajes, las conexiones, ya sean existentes o en cambios futuros de ingeniería de fabricación del motor, se pueden usar para suministrar espuma para limpiar las secciones del motor 10. Con referencia a la Figura 2-1B, debido a que la manguera 33 está destinado a conectarse a la boquilla 30, 55 alternativamente, la manguera 33 puede conectarse directamente al motor 10 a una o iteraciones de conexiones 41.

60 La Figura 2-10 es una representación gráfica de una prescripción de ciclo rotacional de limpieza de motor de acuerdo con una modalidad/método de la presente invención. Como se demuestra en la mayoría de las figuras anteriores, los motores 10 se pueden montar de muchas formas (es decir, horizontal, vertical) y los motores vienen en muchas formas y tamaños. Con esto en mente, el procedimiento de limpieza con espuma puede funcionar más eficazmente a las velocidades prescritas del núcleo del motor 10 (las secciones del compresor 13 y las secciones de la turbina 15). A modo de ejemplo, esta representación gráfica tiene tres tipos de velocidades centrales (tres individuales - compresor 13 a turbina 15 conectadas a través del eje) que se muestran como N1, N2, y N3. El eje y es la velocidad de rotación máxima permitida (no se muestran los valores reales, escala a modo de ejemplo). El eje x es el tiempo (no está a escala, solo es un ejemplo). El propósito de la prescripción de limpieza del motor es rotar y agitar la espuma que inundó la trayectoria de gas dentro del motor 10. La espuma entrará en contacto, frotará y

eliminará las incrustaciones. La espuma tiene diferentes propiedades dinámicas de fluidos a las diferentes velocidades de rotación (agitación). Por lo tanto, al realizar ciclos del motor 10 en varios rangos de velocidades, se puede lograr la eficacia de la limpieza. El gráfico muestra que el motor 10 se arranca 3 veces (3 ciclos) pero no se limita a esta frecuencia. Al evaluar el primer ciclo, es evidente que N1, N2, y N3 se comportan de acuerdo con la cantidad de inercia. En el tiempo cero, N1, N2, N3 es cero, cuando el motor se arranca por la 1 unidad, N1, N2, N3 alcanza un techo de aproximadamente 10,5 %, 8,5 %, 5,8 % respectivamente. El producto de espuma inundado dentro del motor 10 obliga a N3 a detenerse más rápido por medio de la fricción hidrodinámica, mientras que, comparativamente, N1 puede sostener una rotación más prolongada. Se prefiere realizar un ciclo una o varias veces de acuerdo con la prescripción, pero el motor 10 también se puede limpiar sin rotación inyectando e inundando la vía de gas como se explica en la Figura 2-5. La temperatura de la espuma es útil para la frecuencia y amplitud de la prescripción ciclista. El vehículo 21 puede alojar un calentador 38 para regular e impactar positivamente en la efectividad de la prescripción de limpieza.

La Figura 2-11 es una representación gráfica de un método de la presente invención; para monitorear el motor y cuantificar los beneficios. Los efectos positivos y beneficios de limpiar correctamente un motor 10 pueden cuantificarse además en la invención. Mediante el uso de herramientas de diagnóstico o telemetría para obtener información financiera, operativa, de mantenimiento, ambiental (es decir, créditos de carbono, tiempo de vuelo, ahorro de combustible, etc.). Las herramientas de análisis de datos son métodos científicos para mejorar la vida útil y la seguridad del motor 10. Como se muestra en la Figura 2-11, una modalidad de la presente invención incluye un método. Por ejemplo, un motor 10 en una aeronave o barco transmite información a un centro de datos. A continuación, el operador del motor o el fabricante, por medio de la automatización por ordenador, por separado o en conjunto con una persona capacitada profesional, solicita un método de limpieza del motor con espuma. Al cumplir con un método de limpieza con espuma junto con este método de monitoreo, las métricas de restauración del rendimiento pueden registrar mejoras. Estas mejoras cuantificadas se pueden recopilar para objetivos financieros, créditos de carbono, extensión de la vida útil del motor y/o seguridad.

Las Figuras 2-12 muestran varios ejemplos de un colector de efluentes portátil útil para llevar a cabo un método de acuerdo con una modalidad de la presente invención. El colector de efluentes incluye un remolque 232.1 que tiene una pluralidad de ruedas que lo sostienen desde el suelo, y preferiblemente también incluye un enganche de remolque para ser remolcado por otro vehículo. El remolque incluye un compartimento de carga que se puede adaptar y configurar para soportar y contener efluentes de espuma durante un proceso de limpieza del motor. Como se muestra en estas figuras, el compartimento de carga está revestido con una lámina flexible de plástico, impermeable y estanca, para formar una depósito de recogida 232.2 soportada generalmente por las ruedas.

El remolque incluye preferiblemente una pluralidad de dispositivos de recogida que se pueden plegar convenientemente en una forma compacta para el transporte. Estos dispositivos también se pueden extender y sostener en posición vertical para recolectar espuma durante el proceso de limpieza.

Las Figuras 2-12 muestran el remolque y los dispositivos de recogida en estado extendido, adecuados para recoger espuma durante un proceso de limpieza. Un colector de escape 232.3 está formado por una lámina flexible, impermeable y estanca, y separada por un par de nervaduras separadas 232.34. Cada una de las nervaduras de soporte está ubicada en lados opuestos del remolque, y cada una de ellas está acoplada de forma pivotante al extremo delantero del remolque 232.1. Preferiblemente, la hoja es suficientemente grande y también suelta sobre las nervaduras, de manera que en la condición de soporte vertical la hoja forma un recinto 232.31 que tiene una entrada 232.34 para recoger la espuma que sale del escape del motor. El recinto 232.31 forma una trayectoria de flujo asistido por gravedad desde la entrada hasta un desagüe que está ubicado cerca del depósito 232.2. Cualquier espuma recibida en la entrada fluye hacia abajo dentro del recinto y hacia el depósito a través del drenaje. Se proporcionan un par de soportes verticales 232.33 a cada lado del recinto. Cada uno de los soportes verticales se acopla por un extremo a un lateral del remolque, y por el otro extremo a una nervadura correspondiente. La nervadura y los soportes verticales correspondientes están bloqueados juntos en la condición extendida (como se muestra en las Figuras 2-12), para mantener el recinto en un estado vertical. Cuando las nervaduras y los soportes verticales están desbloqueados, las nervaduras se pliegan hacia la parte trasera del remolque y los soportes verticales pueden plegarse hacia la parte delantera del remolque o retirarse para fines de transporte.

El extremo trasero del remolque 232.1 incluye un colector 232.4 que está adaptado y configurado para recoger la escorrentía de la entrada del motor lavado y también desde debajo del motor si las puertas de la góndola están abiertas. El colector 232.4 se extiende desde el extremo delantero del remolque 232.2, y cuando está soportado por los soportes verticales 232.43 presenta un ángulo ascendente hacia la entrada del motor que se está limpiando. Cualquier espuma que salga de la entrada del motor o de la góndola del motor cae sobre el camino de drenaje creado por el soporte de una lámina 232.41 entre un par de nervaduras de soporte sustancialmente paralelas y separadas 232.42. Cada una de estas nervaduras está conectada de forma rotativa al extremo delantero del remolque. Cada uno de los soportes verticales 232.43 se une a una nervadura y hace contacto con el suelo. Cualquier espuma que caiga en la trayectoria de drenaje de la lámina cóncava 232.41 se mueve por gravedad hacia el estanque 232.2.

Si bien las invenciones han sido ilustradas y descritas en detalle en los dibujos y la descripción anterior, la misma debe considerarse ilustrativa y no de carácter restrictivo, entendiéndose que solo se han mostrado y descrito ciertas modalidades y que todos los cambios y modificaciones que entran dentro del alcance de la invención como se reivindica y se desea proteger.

5

REIVINDICACIONES

1. Un método para limpiar un motor de turbina de gas (10) instalado en un avión, el motor de turbina de gas (10) que tiene un motor de arranque, una entrada (11) y un compresor (13), el método que comprende:
 - 5 proporcionar una fuente de un agente de limpieza líquido soluble en agua, una bomba de líquido, una cámara de mezcla turbulenta, una boquilla no pulverizadora (30) y uno de una bomba de aire o depósito de gas a presión;
 - 10 mezclar en la cámara de mezcla aire o gas a presión procedente de la bomba de aire o del depósito de gas a presión con un agente de limpieza líquido a presión por la bomba de líquido y crear un suministro de espuma;
 - 15 colocar la boquilla no pulverizadora (30) frente a la entrada (11);
hacer rotar el motor de turbina de gas (10) instalado en la aeronave con el motor de arranque; y
hacer fluir el suministro de espuma a la entrada (11) del motor de turbina de gas (10) instalado en la aeronave desde la boquilla no pulverizadora (30) mientras el motor de turbina de gas (10) rota mediante su motor de arranque.
2. El método de la reivindicación 1, en donde el motor de turbina de gas incluye una cámara de combustión, y que además comprende limpiar el revestimiento de la cámara de combustión con espuma que fluye hacia la entrada
 - 20
3. El método de la reivindicación 1, en donde el motor de turbina de gas (10) rota a una velocidad de entre el 25 % y el 75 % de su velocidad máxima de motorización.
 - 25
4. El método de la reivindicación 1, en donde el suministro que fluye tiene una velocidad superior a 0,91 metros por segundo (tres pies por segundo) e inferior a 4,5 metros por segundo (quince pies por segundo).
 - 30
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el suministro que fluye es una corriente unitaria de diámetro sustancialmente constante.
 - 35
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además proporcionar una cámara de crecimiento de celdas aguas abajo de la cámara de mezcla y aumentar el tamaño de las celdas de espuma después de dicha mezcla y antes de dicha corriente.
 - 40
7. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además proporcionar una cámara de reducción de turbulencia aguas abajo de la cámara de mezcla y reducir la turbulencia de la espuma mezclada después de dicha mezcla y antes de dicha corriente.
 - 45
8. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:
 - 50

hacer rotar todos los carretes del motor de turbina de gas (10) durante dicha corriente;
permitir que un carrete más interno se detenga y mantener dicha corriente después de que se haya detenido el carrete más interno; y
volver a rotar todos los carretes del motor de turbina de gas (10) después de que se haya detenido el carrete más interno.
9. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha boquilla (30) está adaptada y configurada para proporcionar la corriente de espuma a uno de los conductos de aire de purga del motor de turbina de gas (10) o a un colector de tubería montado en el motor de turbina de gas (10).
 - 55
10. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha mezcla incluye hacer fluir el líquido en una primera dirección e inyectar el gas en una segunda dirección que tiene un componente de velocidad al menos parcialmente opuesto a la primera dirección.
 - 60
11. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aire recibido por dicha cámara de mezcla tiene una presión de más de 68,9 kilopascales (diez psig) y menos de 827 kilopascales (ciento veinte psig), y el líquido recibido por dicha cámara de mezcla tiene una presión superior a 68,9 kilopascales (diez psig) e inferior a 827 kilopascales (ciento veinte psig).
 - 65
12. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha cámara de mezcla incluye una cámara de admisión de aire a presión que tiene una pluralidad de aberturas para el flujo de aire y está ubicada dentro de una cámara provista de un flujo del líquido, las aberturas expulsan aire al líquido que fluye para crear la espuma.
 - 70
13. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la mezcla en la cámara de mezcla comprende mezclar el agente de limpieza líquido y el gas a presión para formar una primera espuma, dicha

creación de un suministro de espuma comprende hacer fluir la primera espuma sobre un miembro o matriz y aumentar el tamaño de las celdas de la primera espuma para formar una segunda espuma.

- 5 14. El método de la reivindicación 13, en donde dicha creación de un suministro de espuma comprende además hacer fluir la segunda espuma a través de una estructura, tal como una malla o una o más placas perforadas, y disminuir el tamaño de las celdas de la segunda espuma para formar una tercera espuma.
- 10 15. Un método para limpiar un motor de turbina de gas (10) instalado en una aeronave mientras el motor de turbina de gas (10) está en una orientación sustancialmente vertical, el motor de turbina de gas tiene una entrada (11) y un compresor (13), el método que comprende:
- proporcionar una fuente de un agente de limpieza líquido soluble en agua, una bomba de líquido, una cámara de mezcla turbulenta, una boquilla no pulverizadora (30) y uno de una bomba de aire o depósito de gas a presión;
- 15 mezclar en la cámara de mezcla aire o gas a presión procedente de la bomba de aire o del depósito de gas a presión con un agente de limpieza líquido a presión por la bomba de líquido y crear un suministro de espuma;
- 20 colocar la boquilla no pulverizadora (30) frente a la entrada (11); y hacer fluir el suministro de espuma a la entrada del motor de turbina de gas (10) instalado en la aeronave desde la boquilla no pulverizadora (30).
- 25 16. El método de la reivindicación 15, en donde el motor de turbina de gas (10) comprende un motor de arranque, el método que comprende hacer rotar el motor de turbina de gas (10) instalado en la aeronave con el motor de arranque después de hacer fluir una cantidad suficiente de espuma y, posteriormente, lavar con el agente de limpieza.
- 30 17. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:
- cuantificar un rango de mejora de un parámetro operativo de una familia de motores de turbina de gas (10) que se puede lograr mediante el lavado con espuma de un miembro de la familia;
- operar un motor específico (10) de la familia instalado en una aeronave durante un período de tiempo;
- medir el rendimiento del motor específico (10) durante dicho funcionamiento;
- determinar que el motor específico (10) debe lavarse con espuma; y
- programar un lavado con espuma del motor específico (10).
- 35 18. El método de la reivindicación 17, en donde el parámetro operativo es una hora de inicio o un consumo de combustible específico del motor de turbina de gas (10).

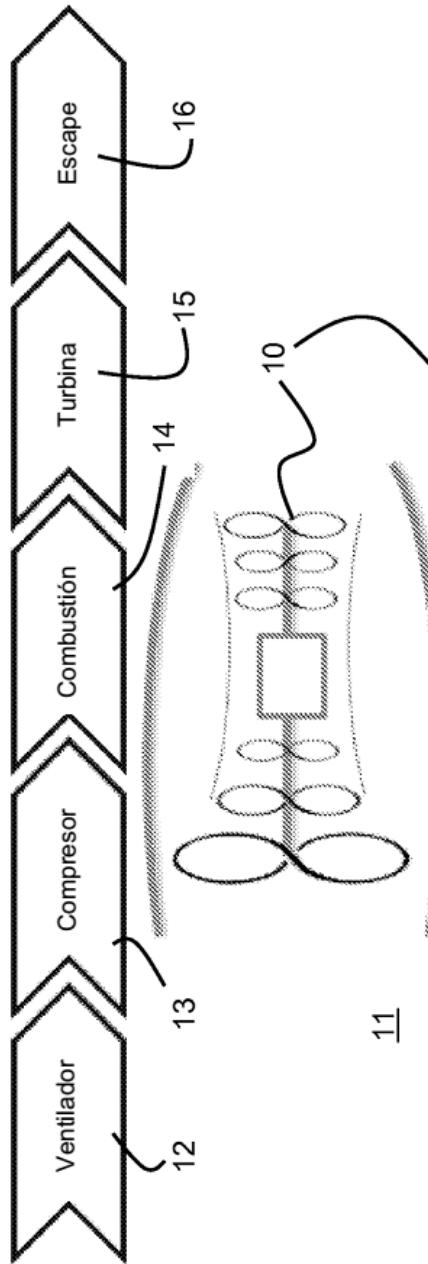


Figura 1

Método de limpieza con espuma de la planta motriz

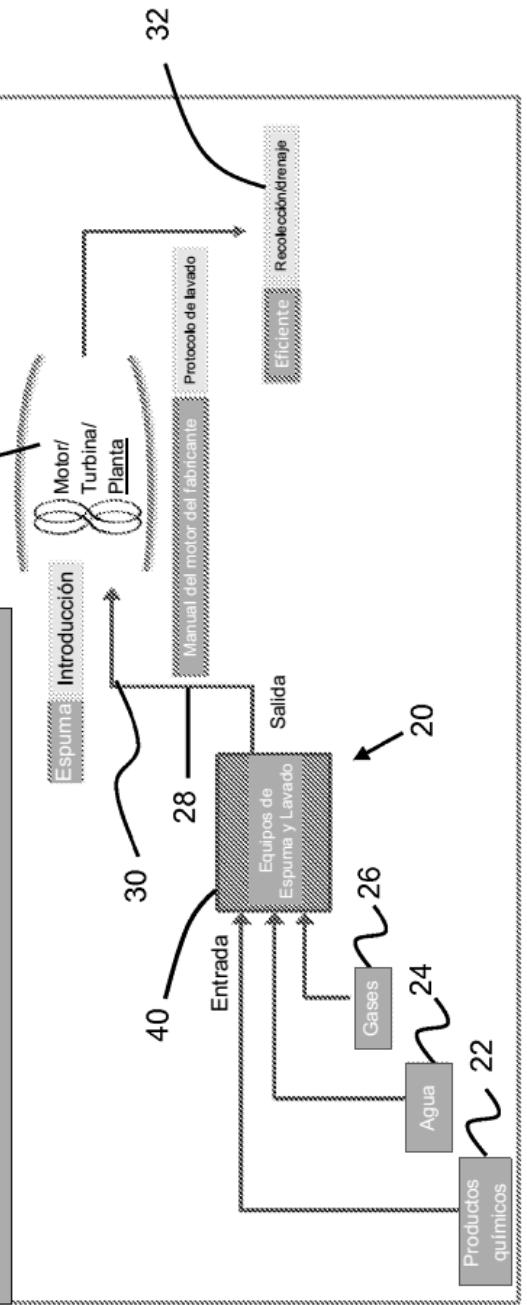


Figura 2



Equipo de espuma

Figura 3A

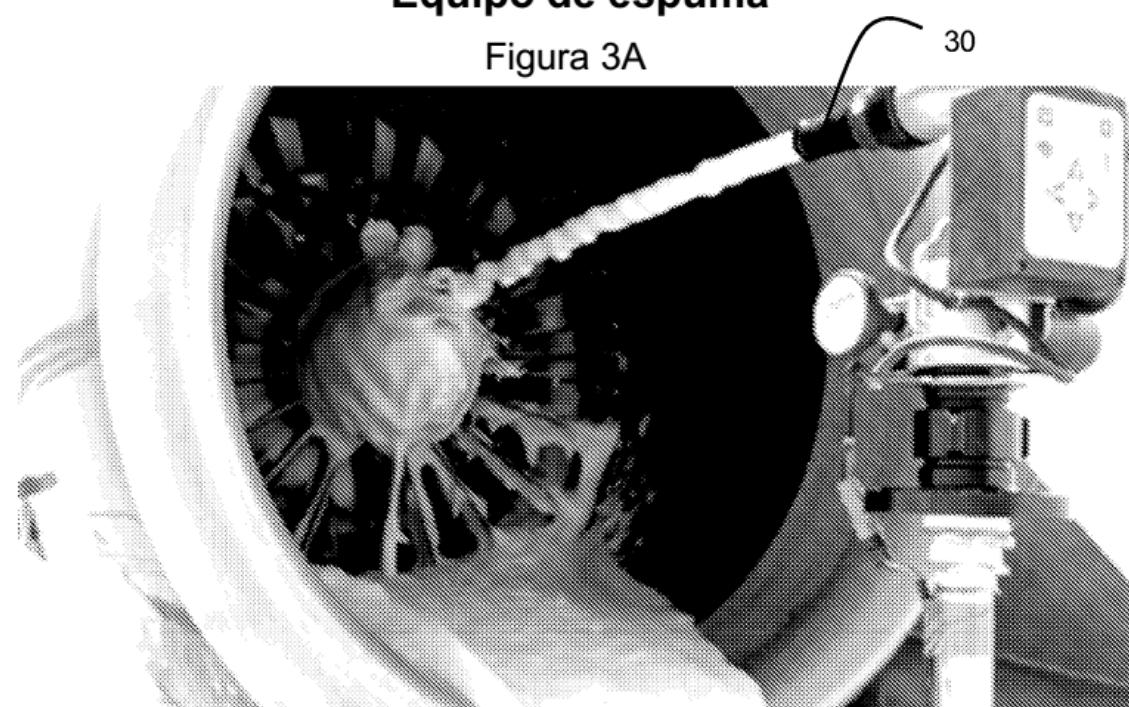


Figura 3B

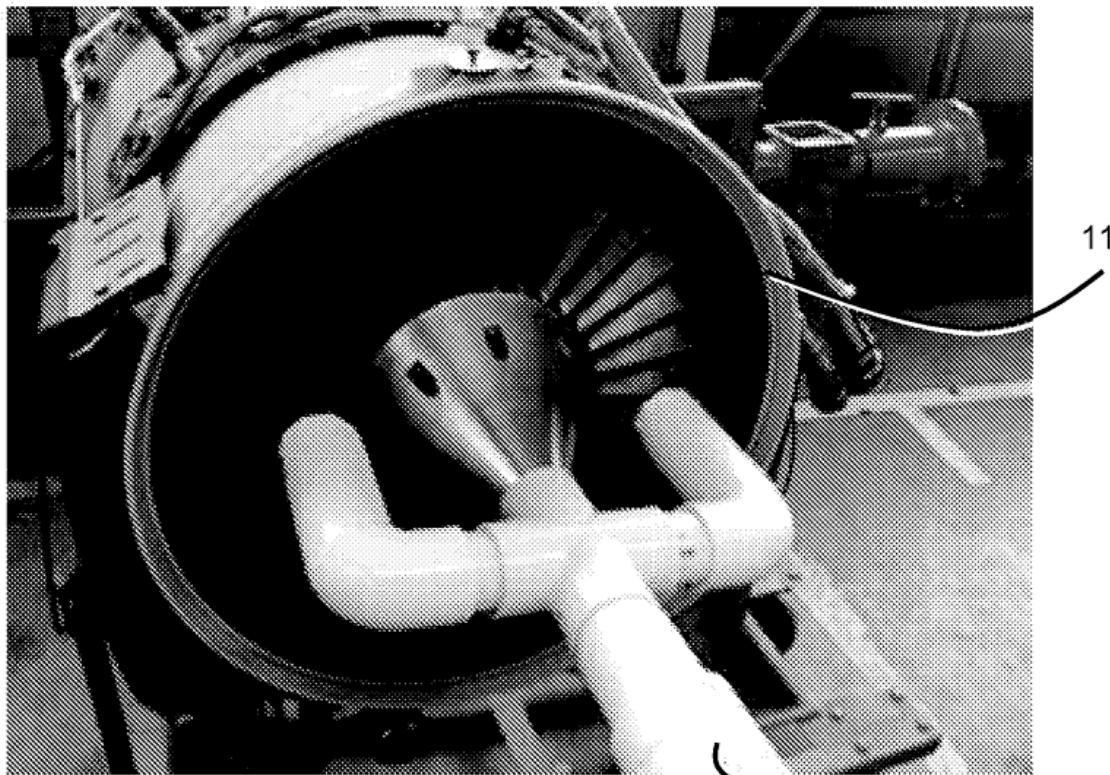


Figura 3C

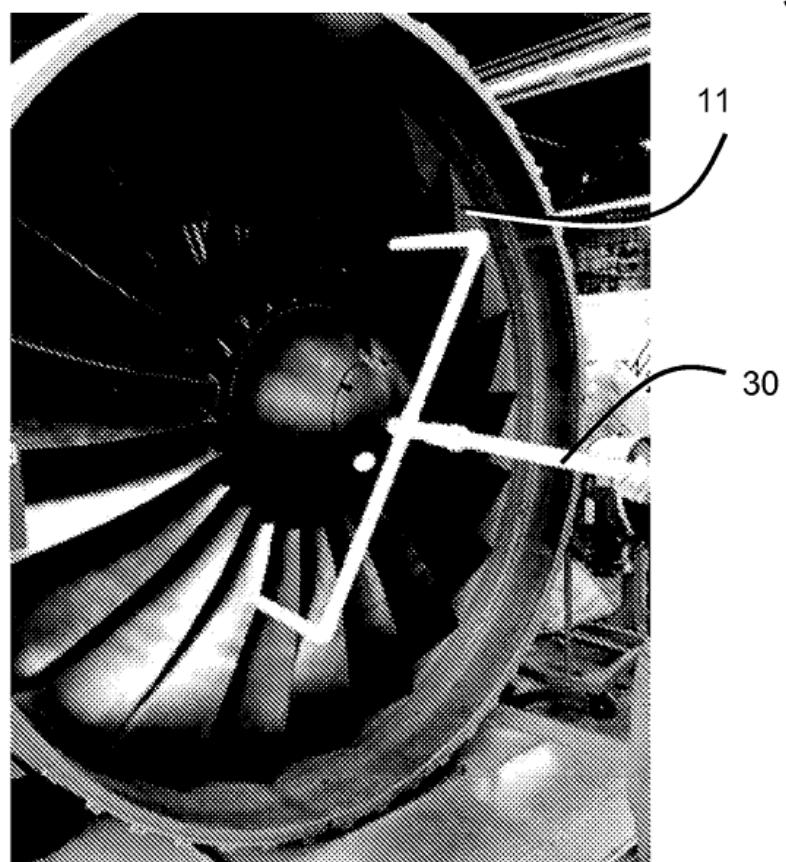


Figura 3D

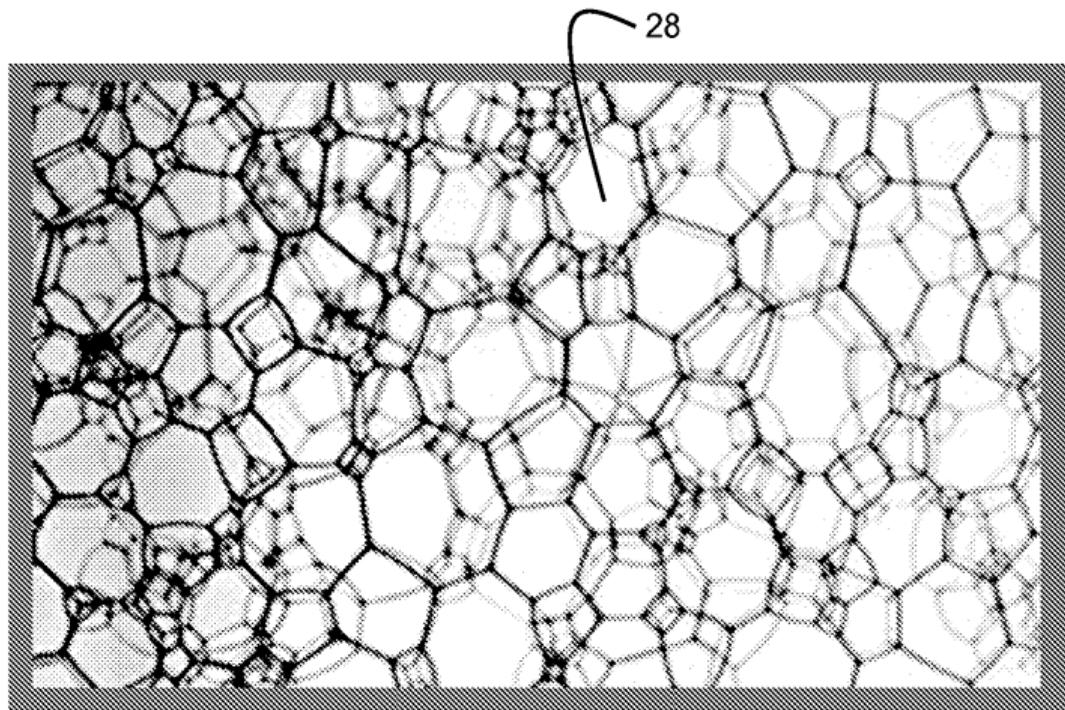


Figura 4

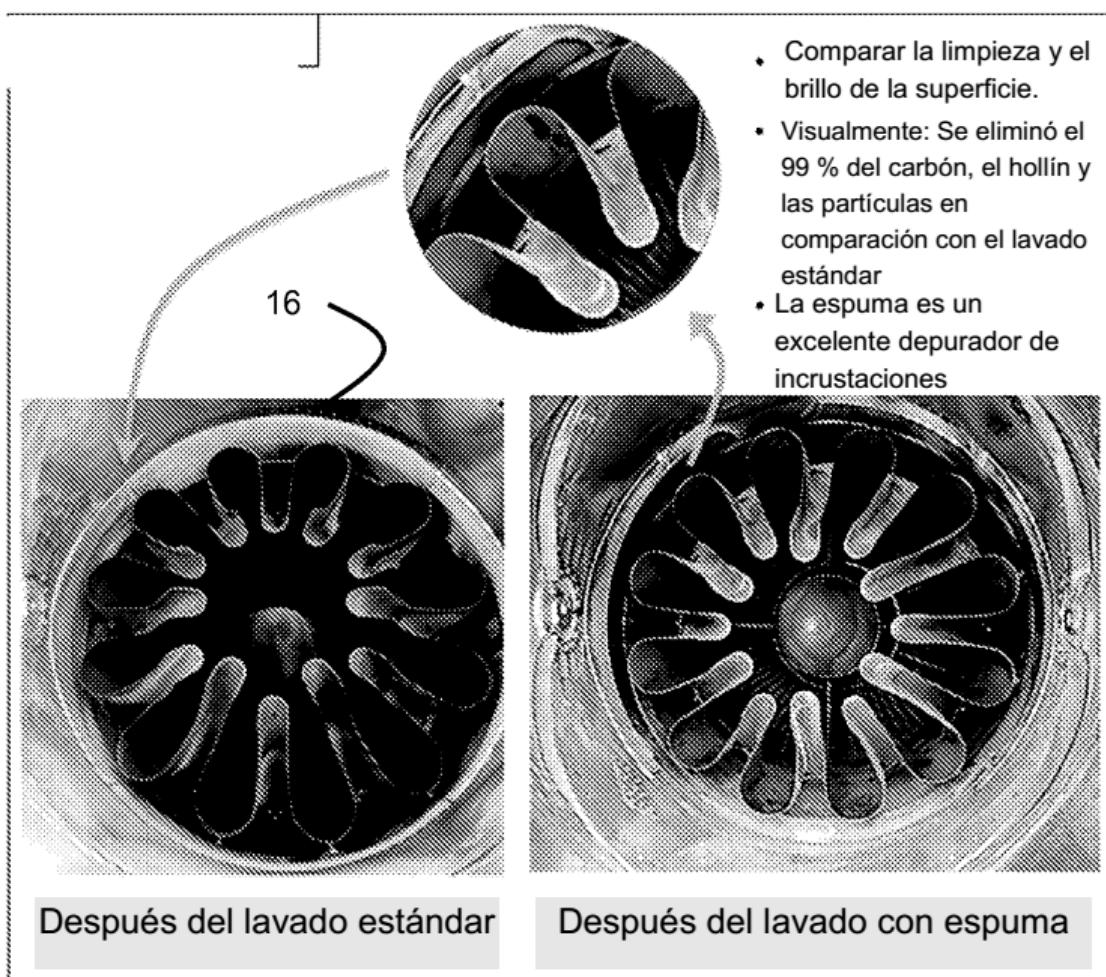


Figura 6

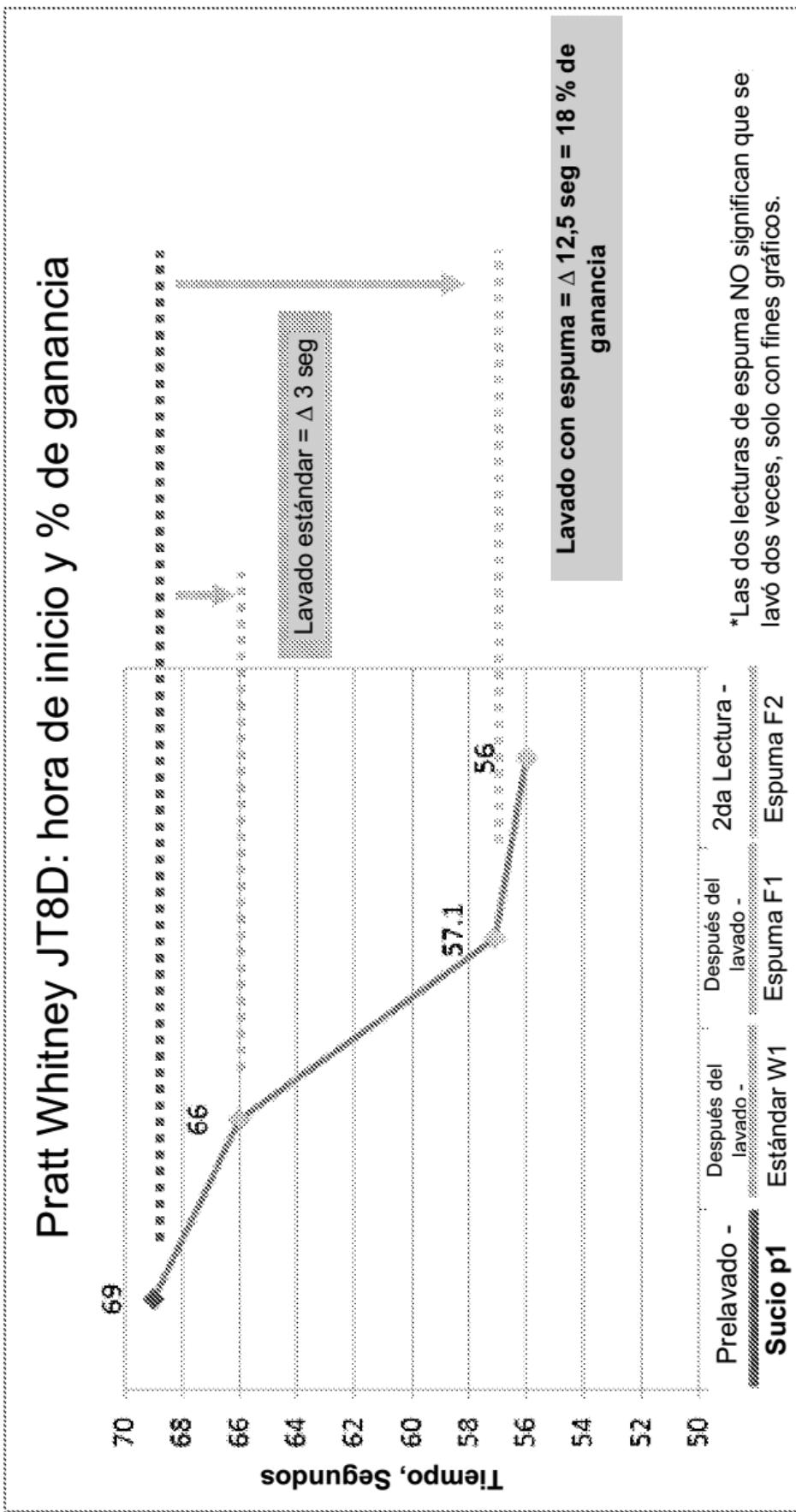


Figura 7

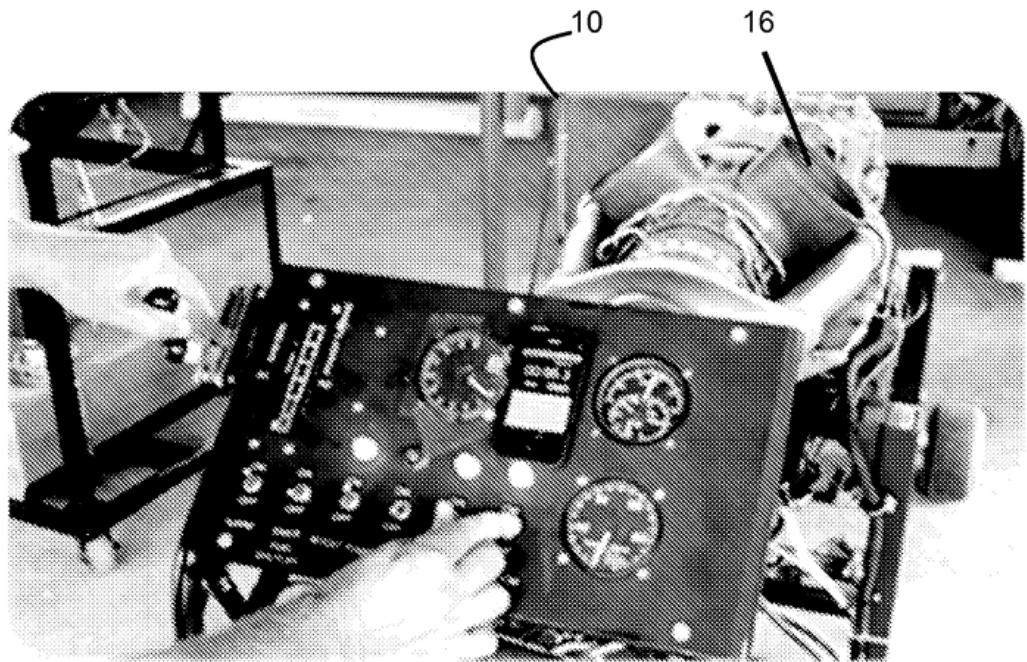


Figura 8

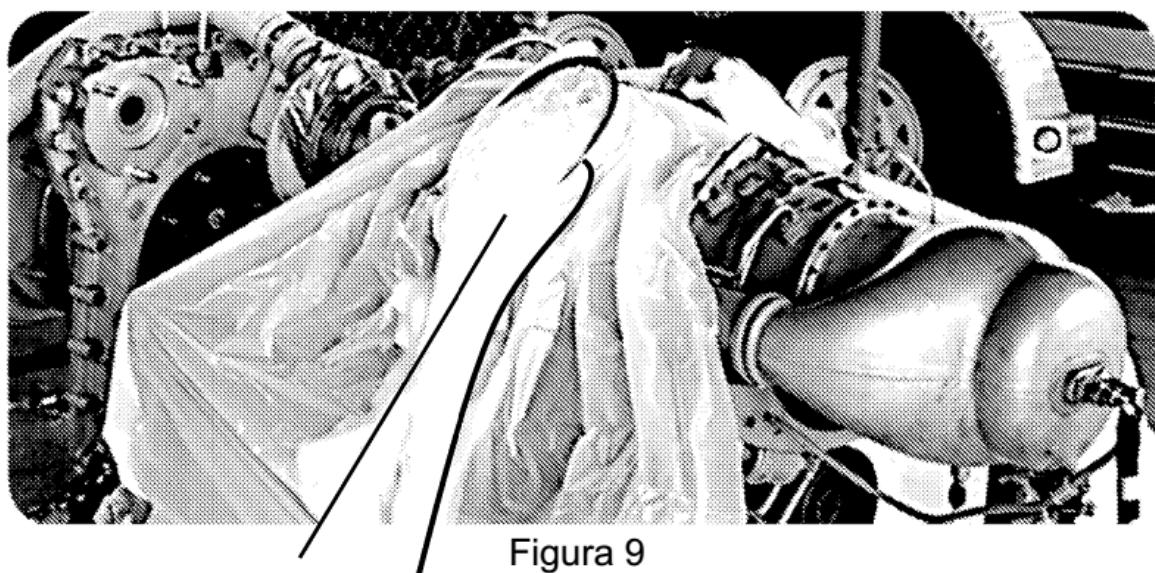


Figura 9

28 16

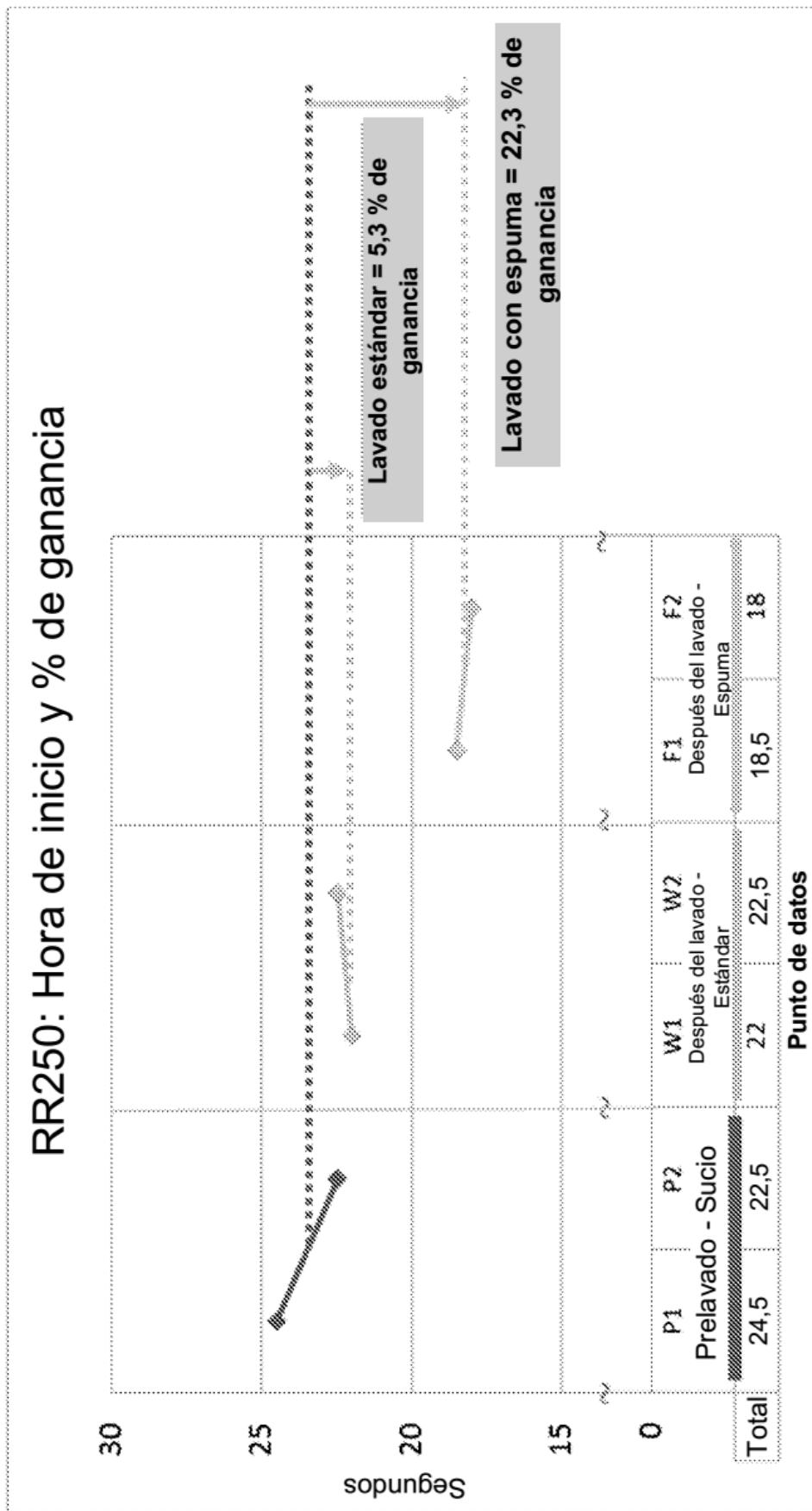


Figura 10

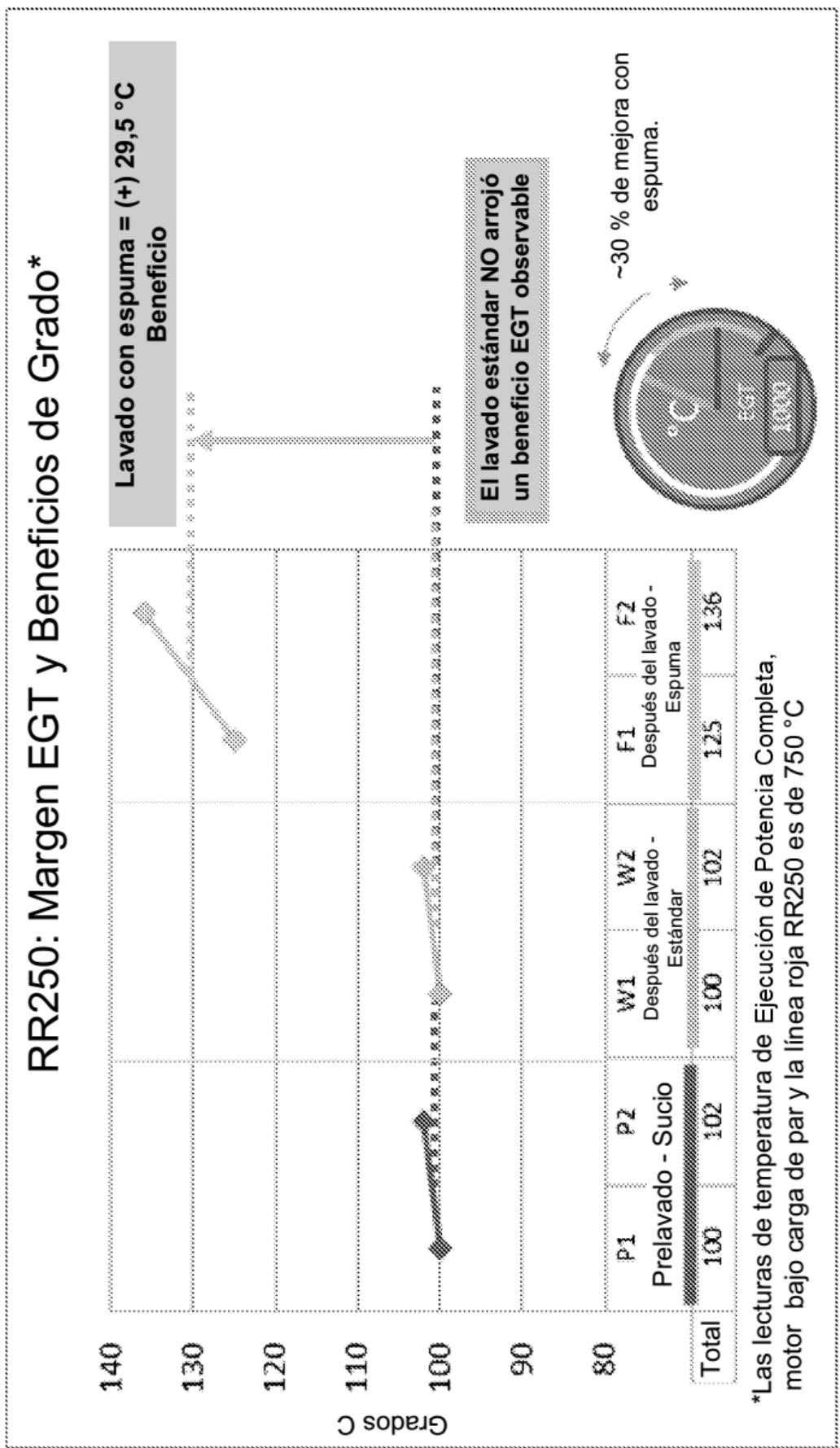


Figura 11

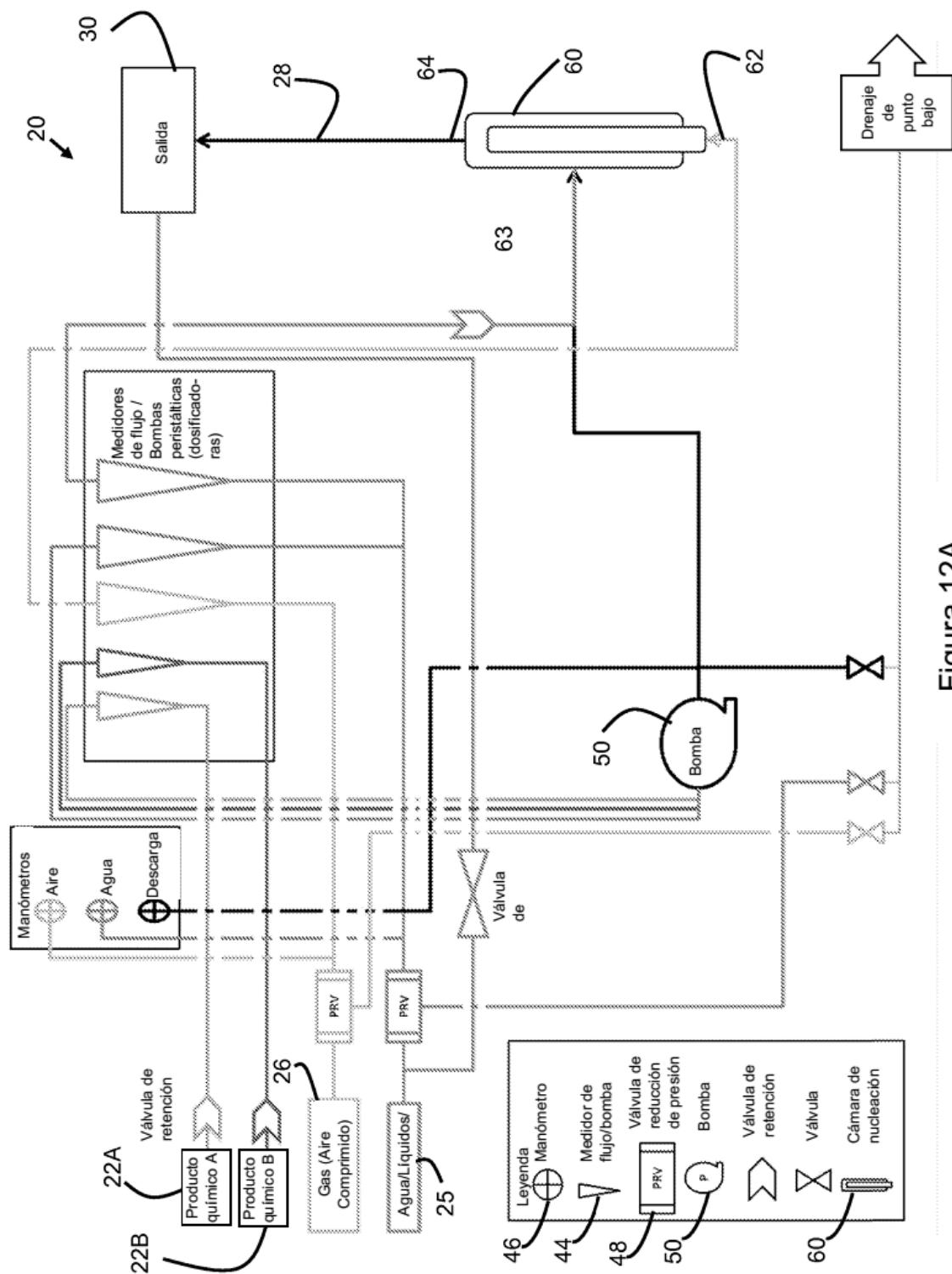


Figura 12A

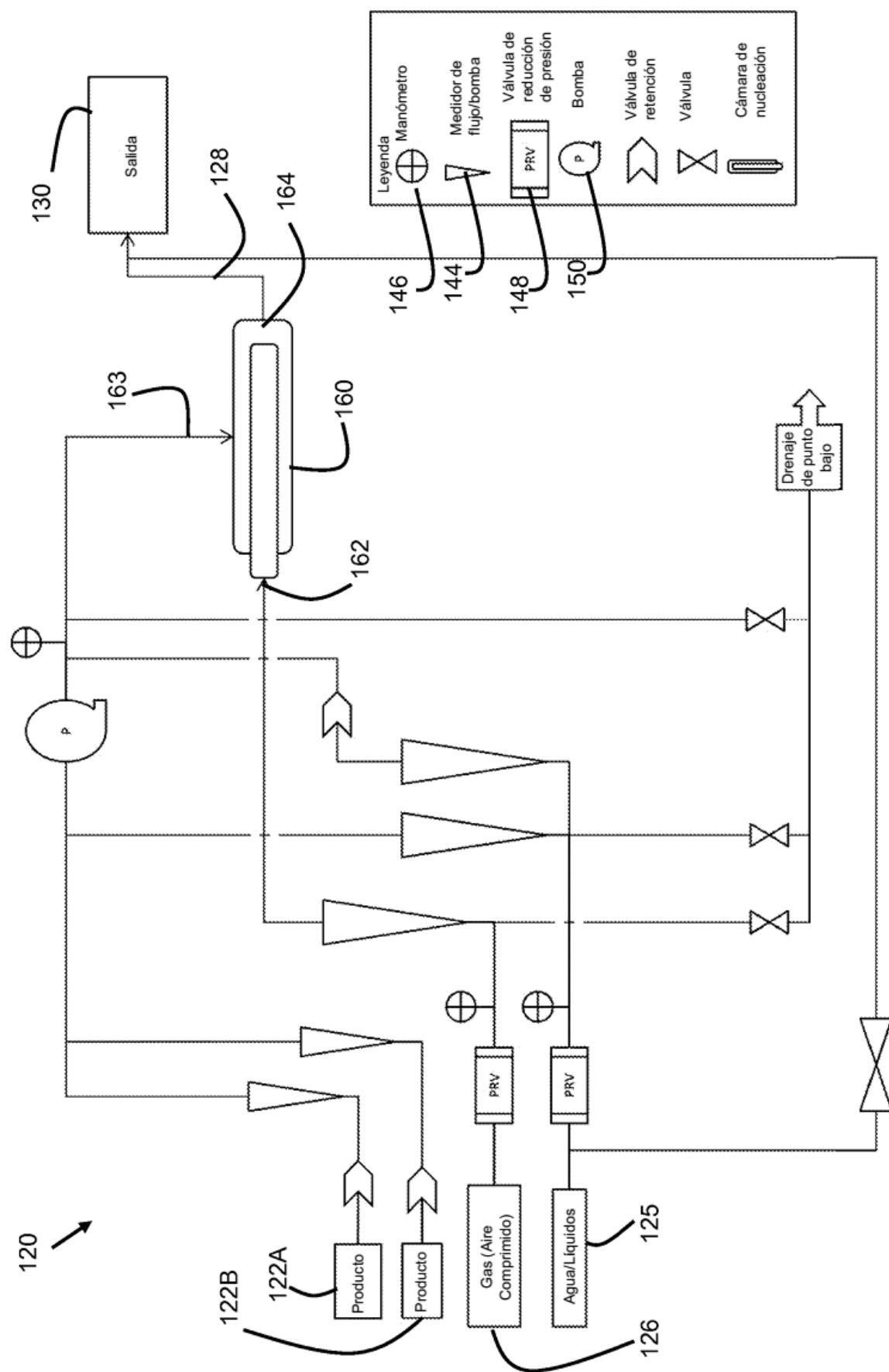


Figura 12B

ES 2 931 926 T3

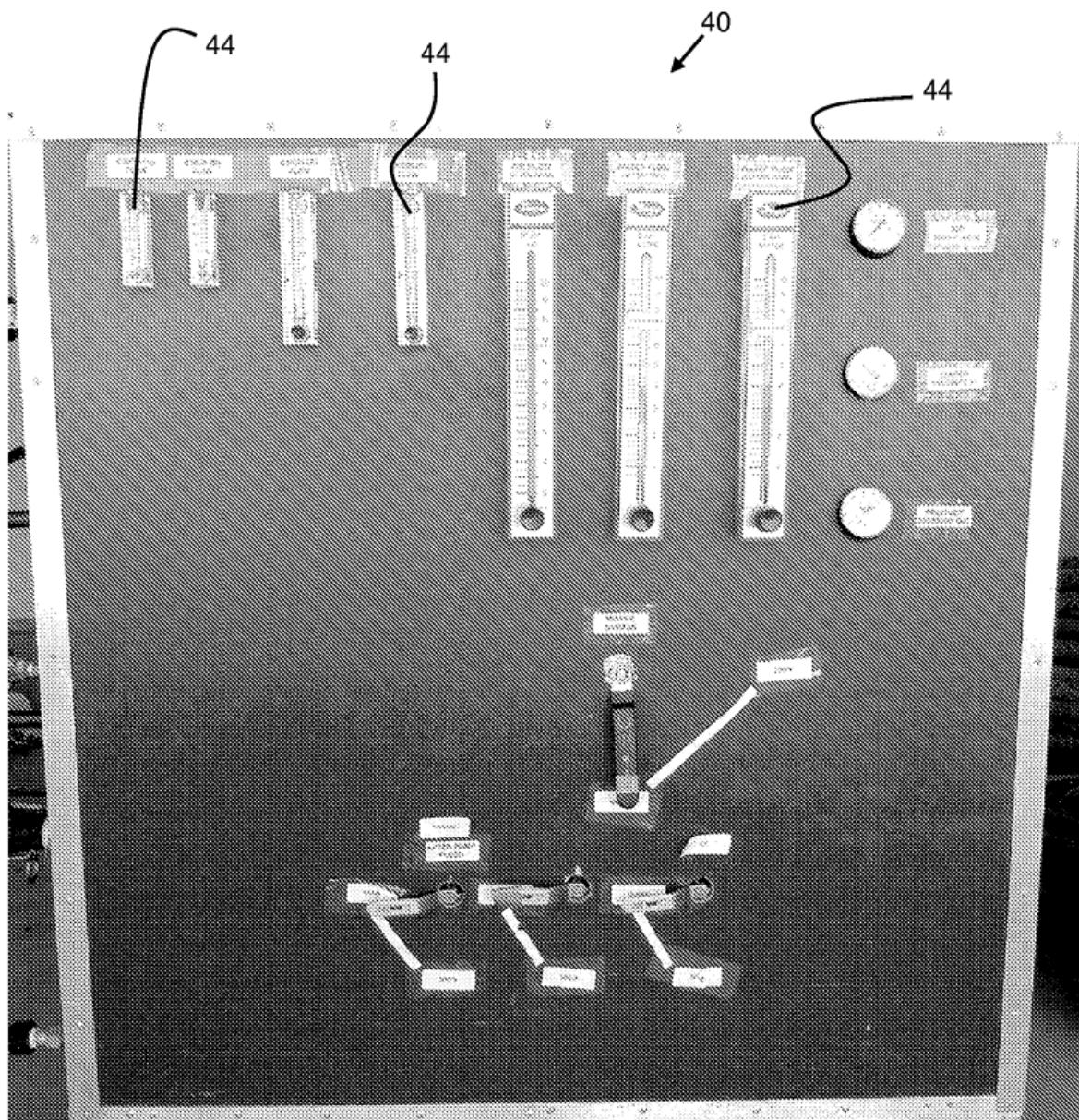


Figura 13A

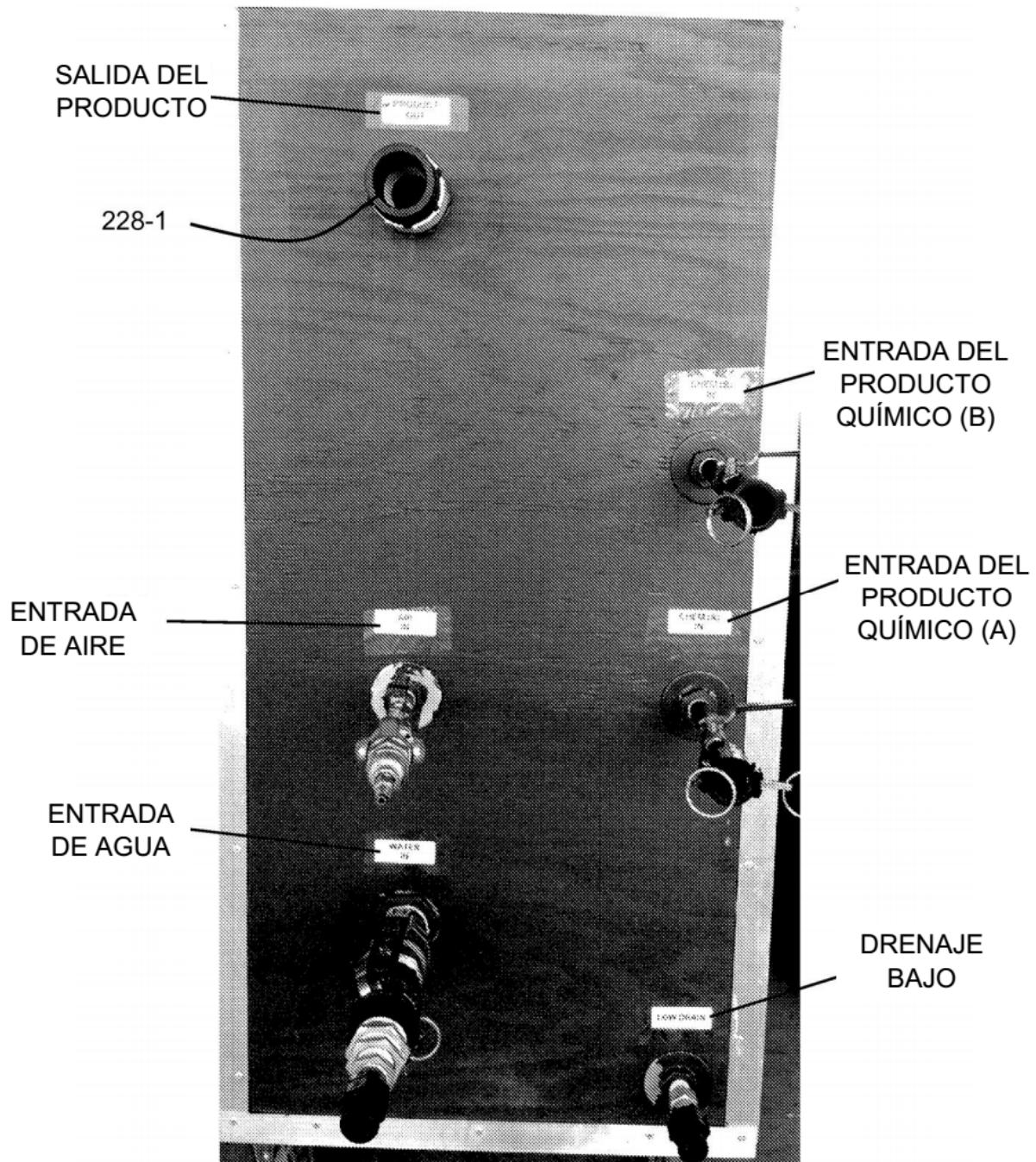


Figura 13B

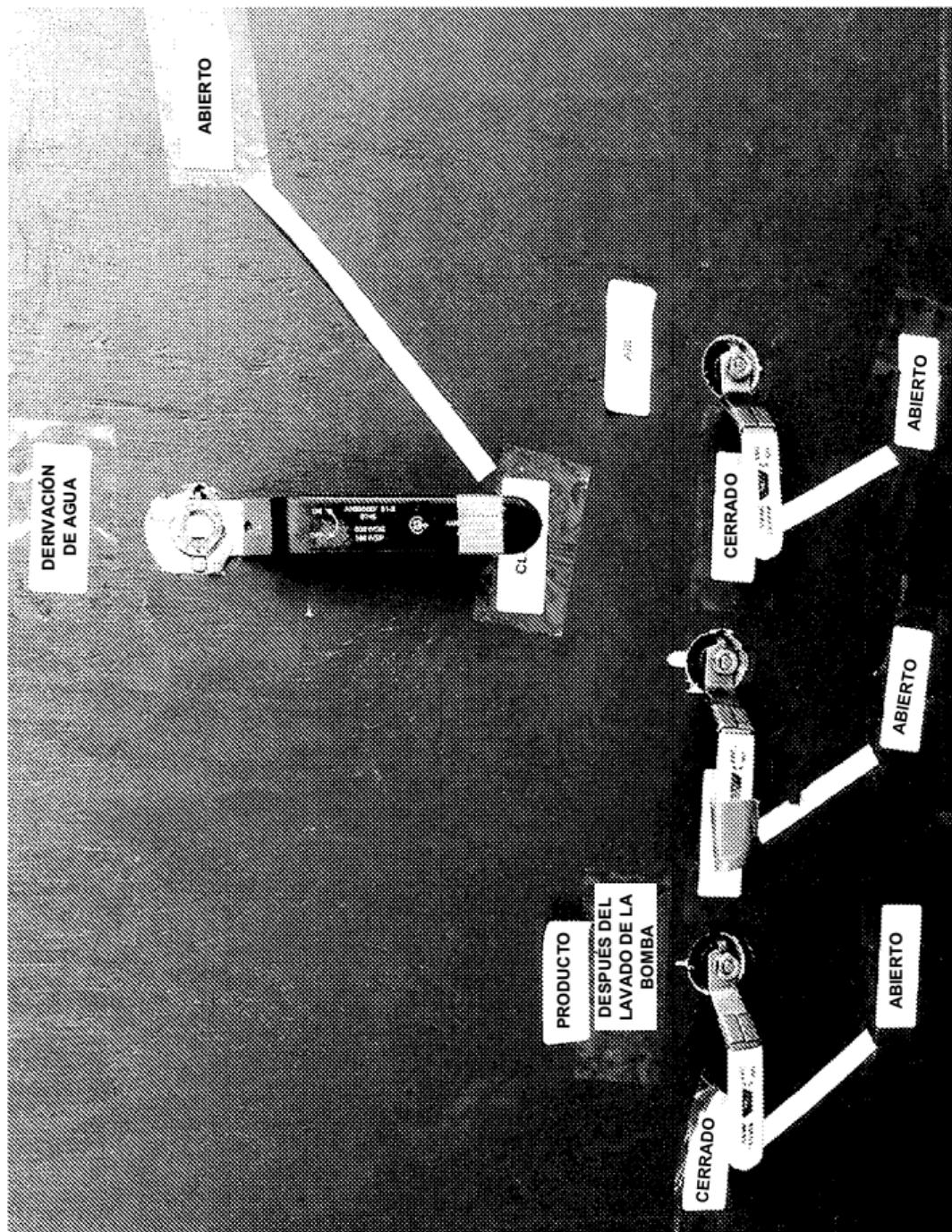


Figura 13C

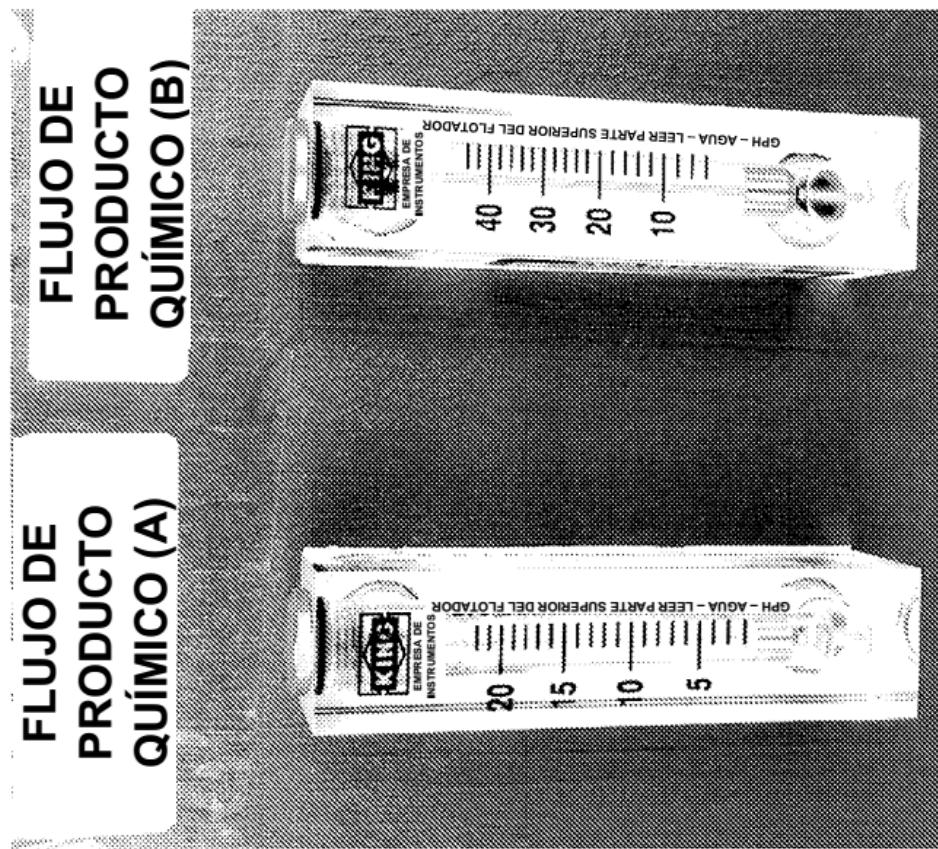


Figura 14A

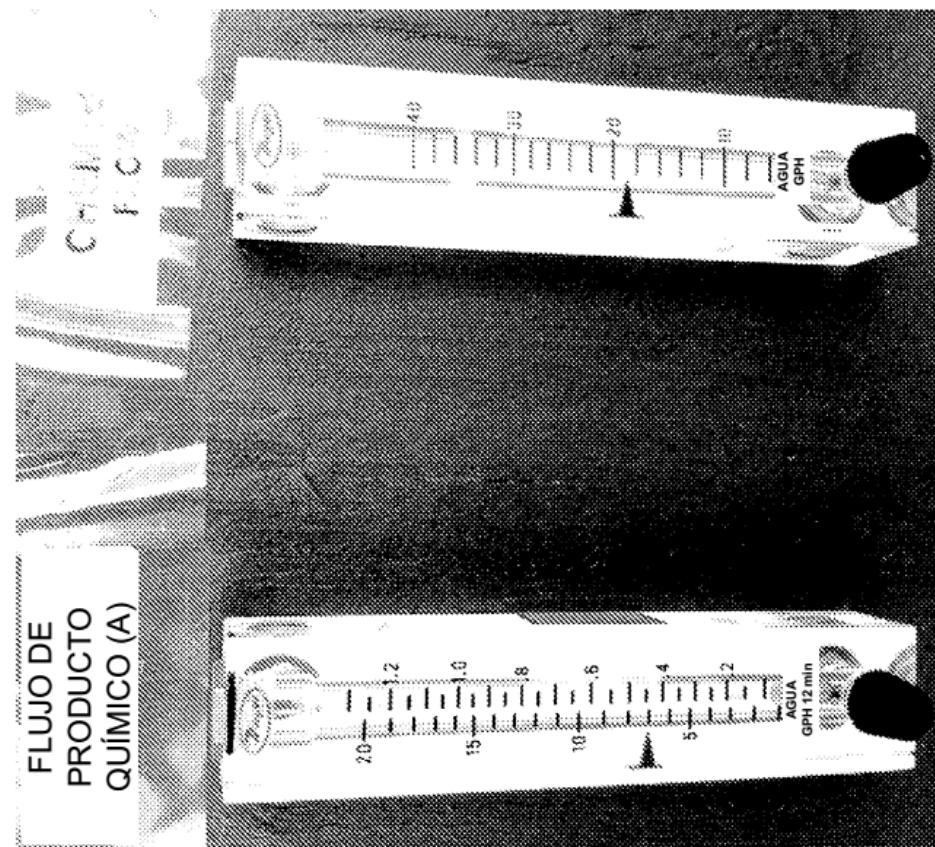


Figura 14B

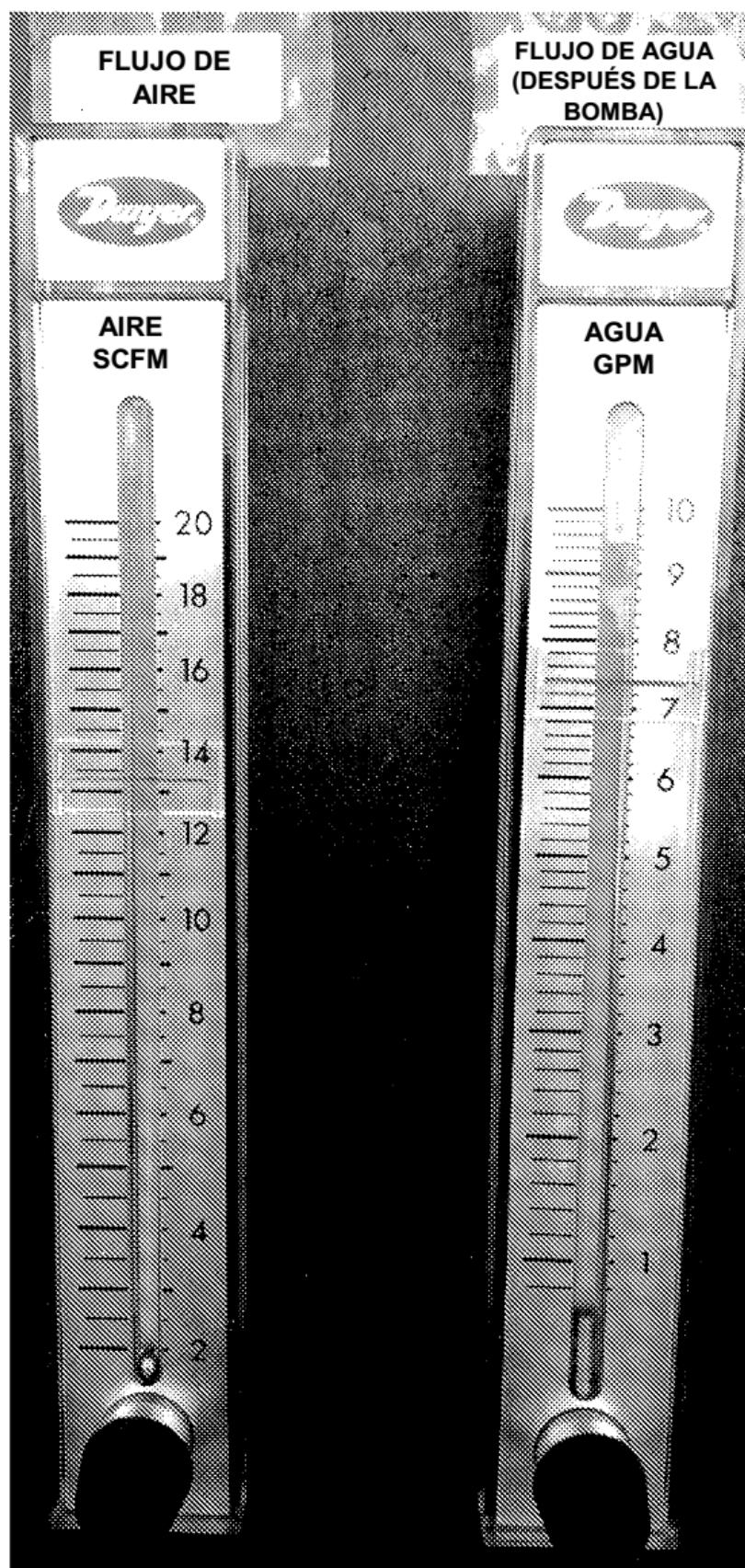


Figura 14C

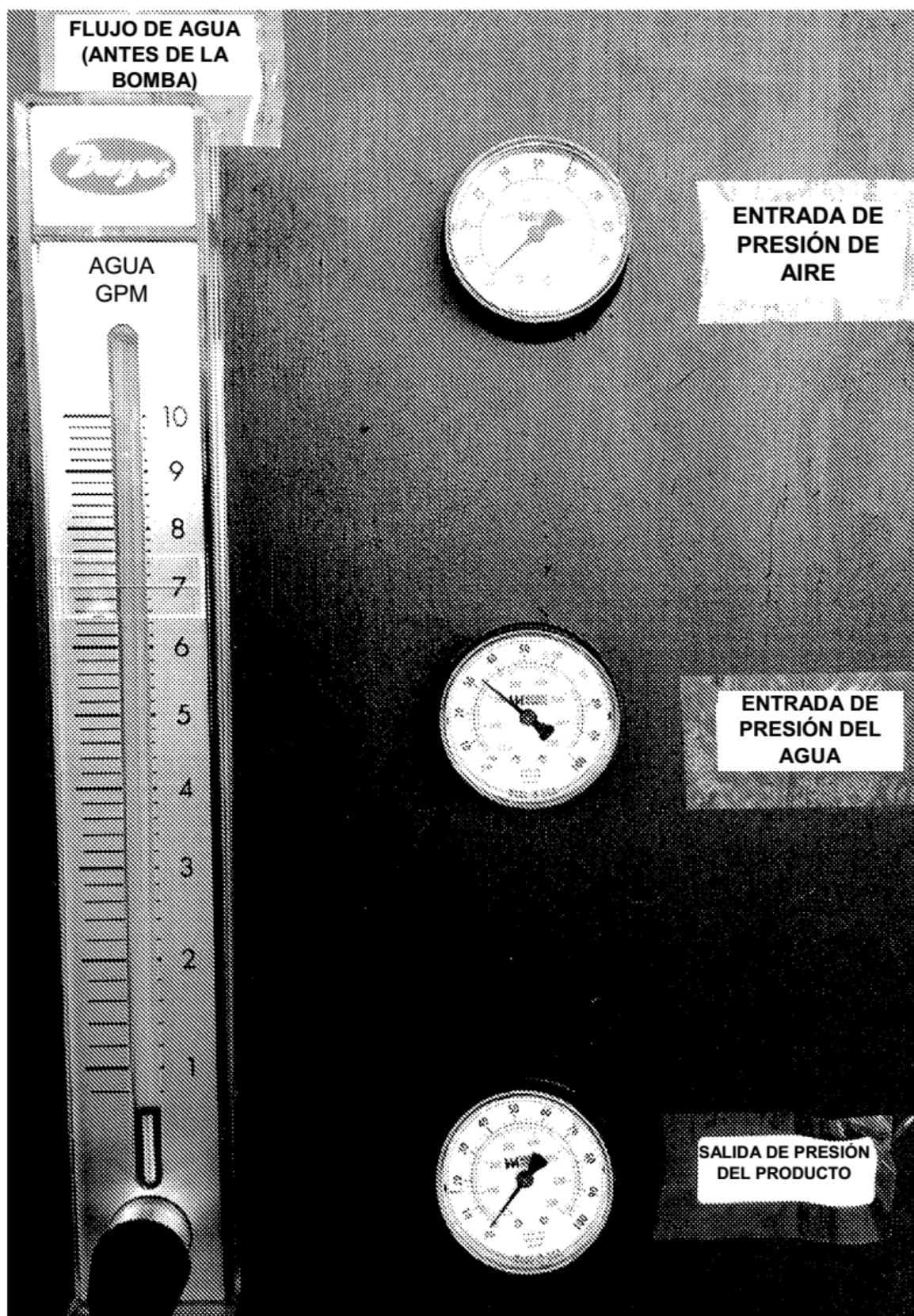
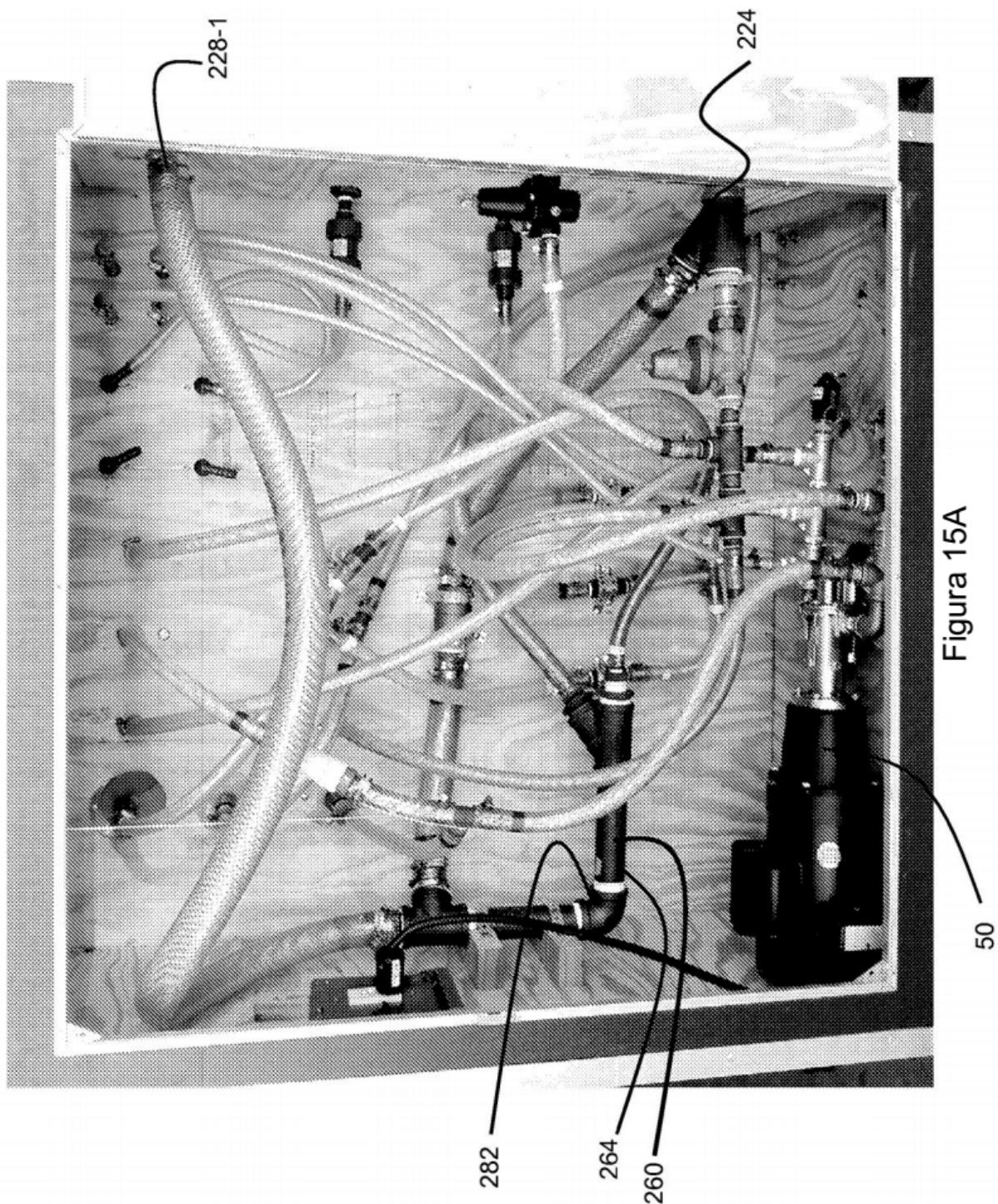


Figura 14D



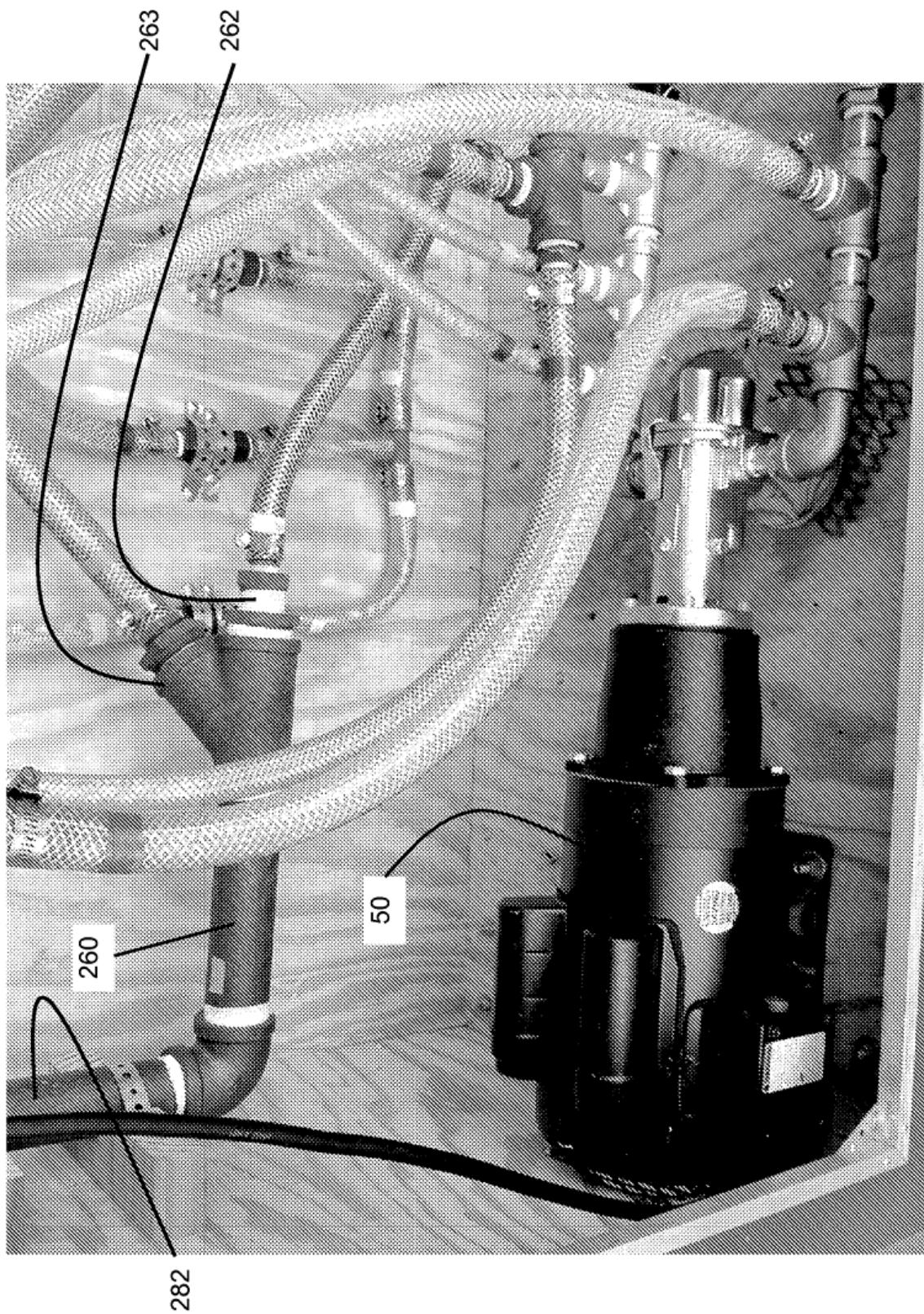


Figura 15B

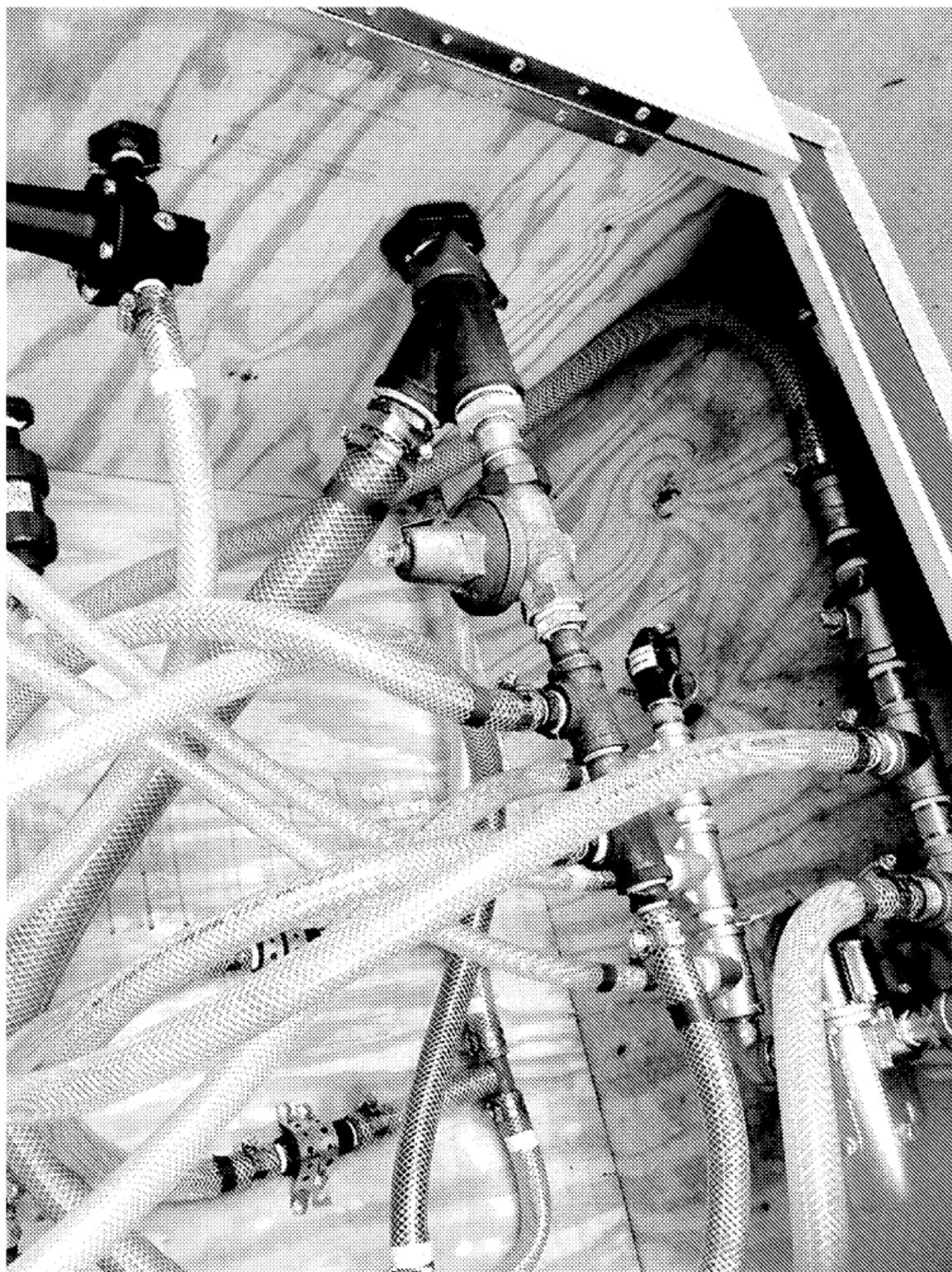


Figura 15C

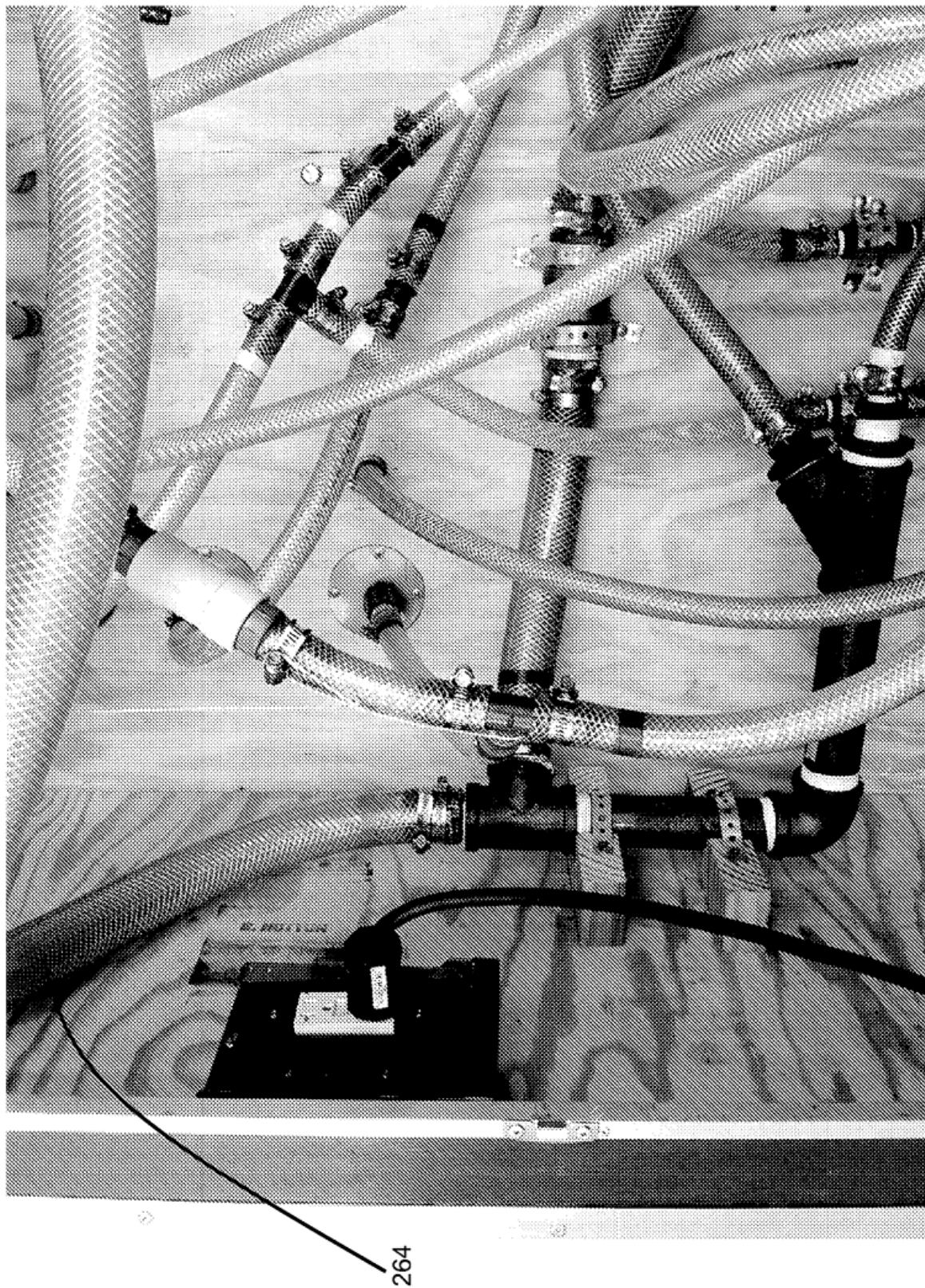


Figura 15D

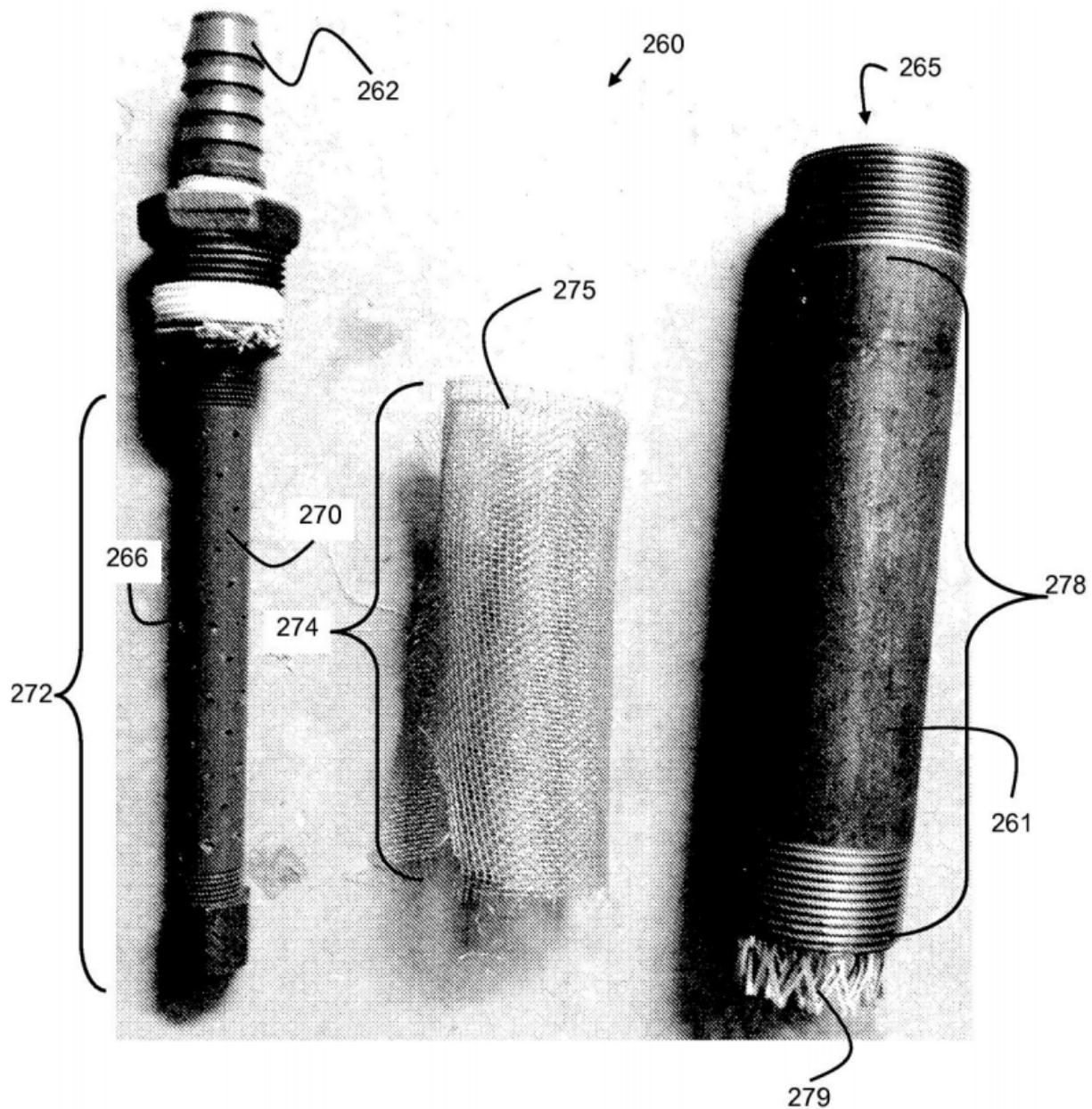


Figura 16A

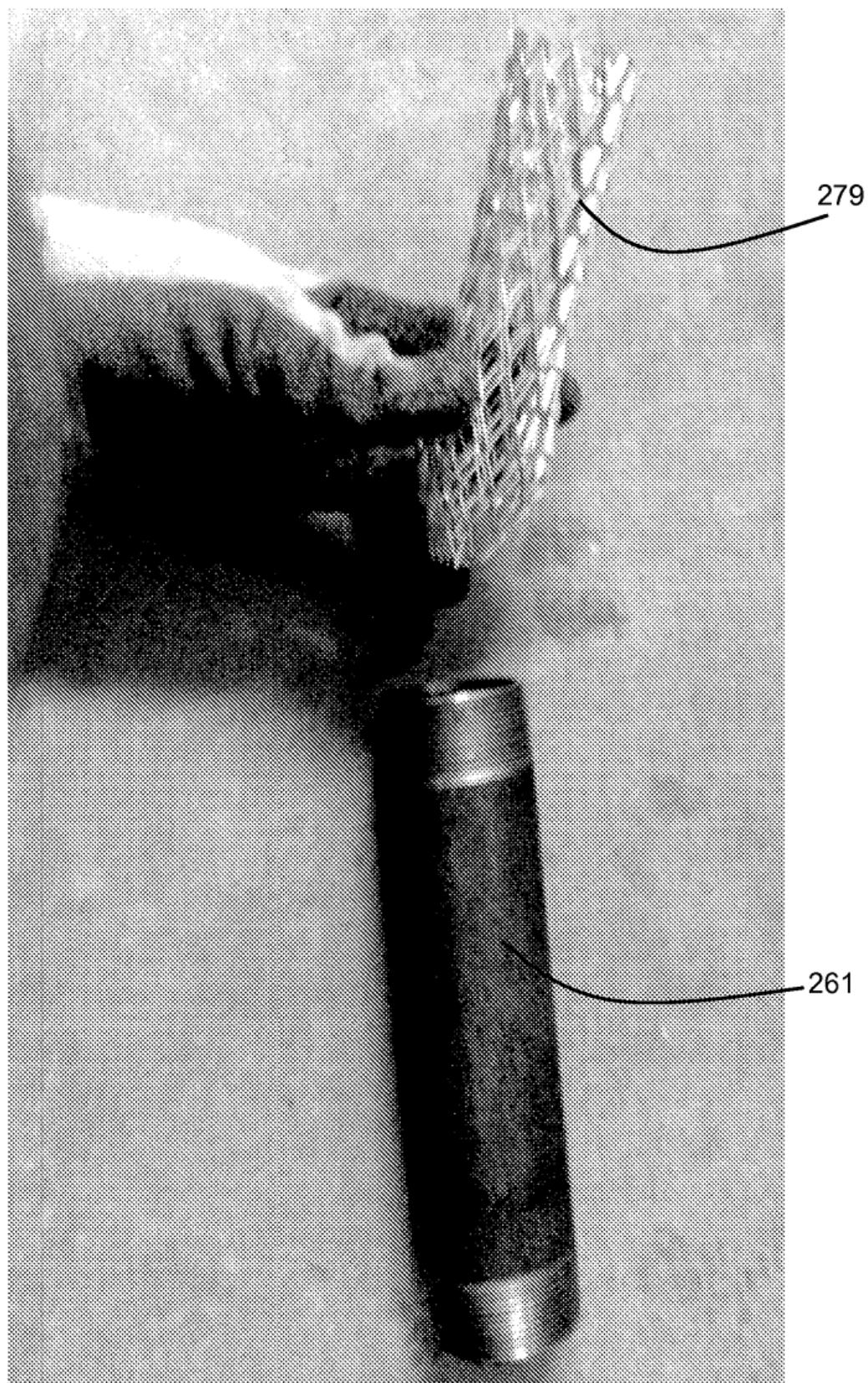


Figura 16B

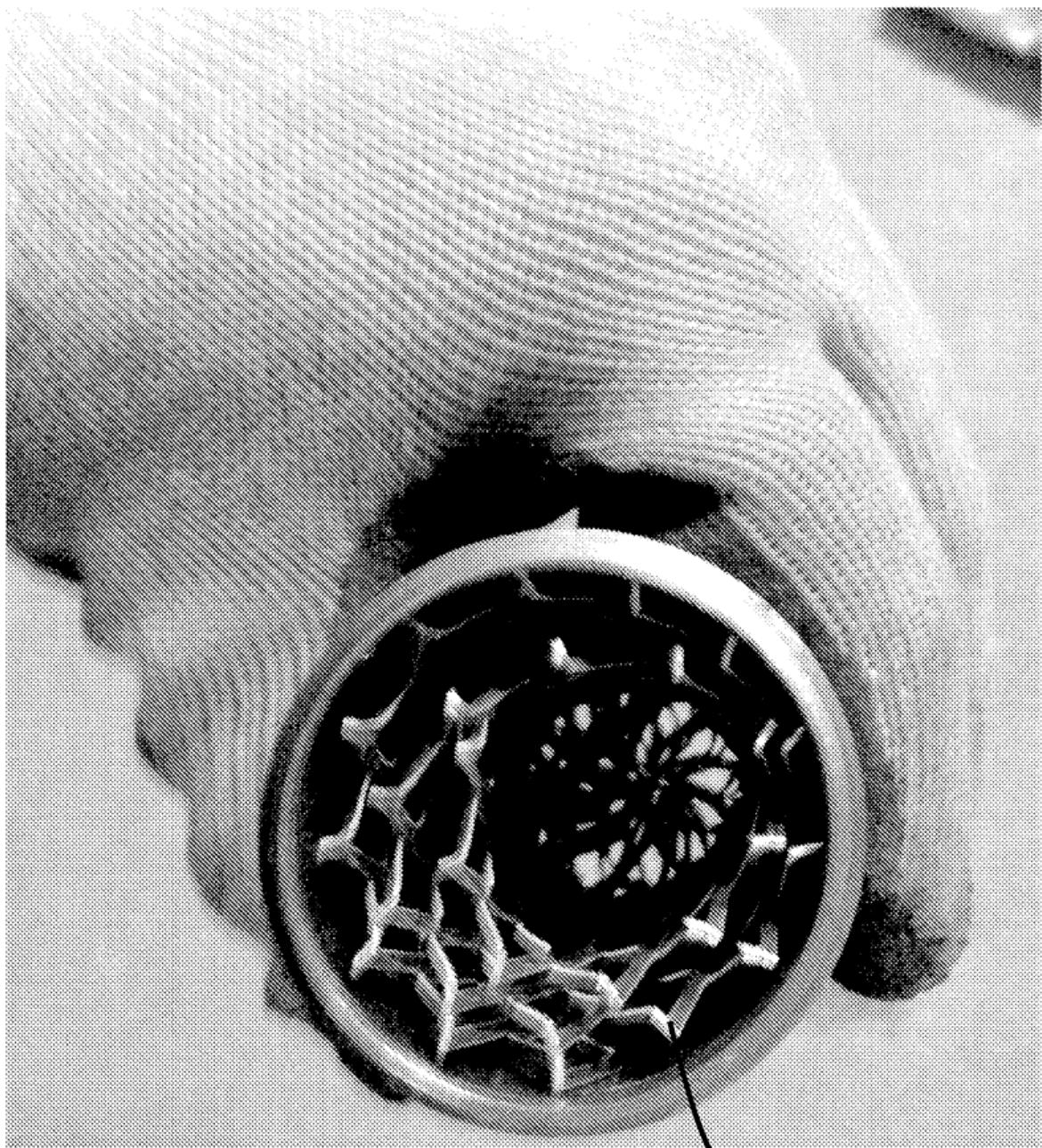


Figura 16C



Figura 16D

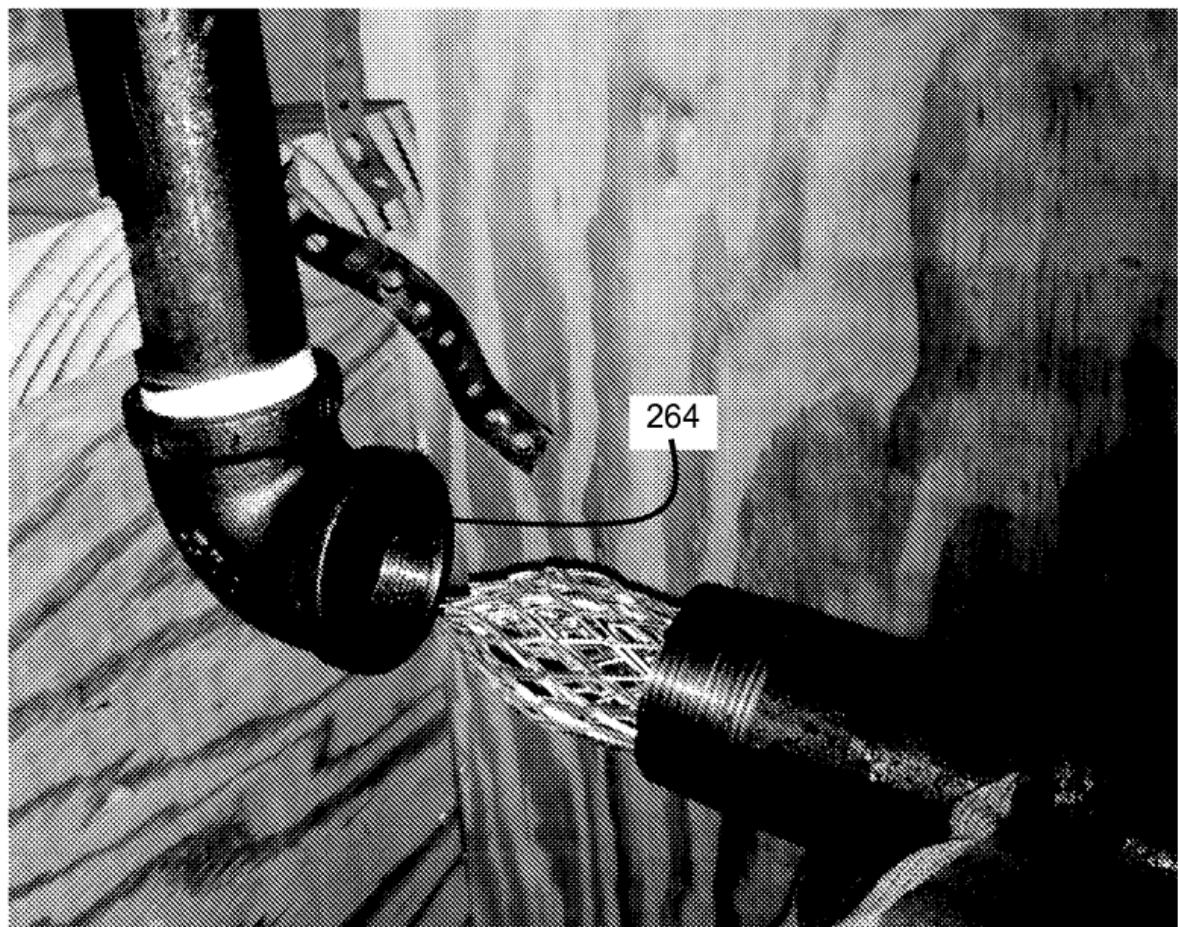


Figura 16E

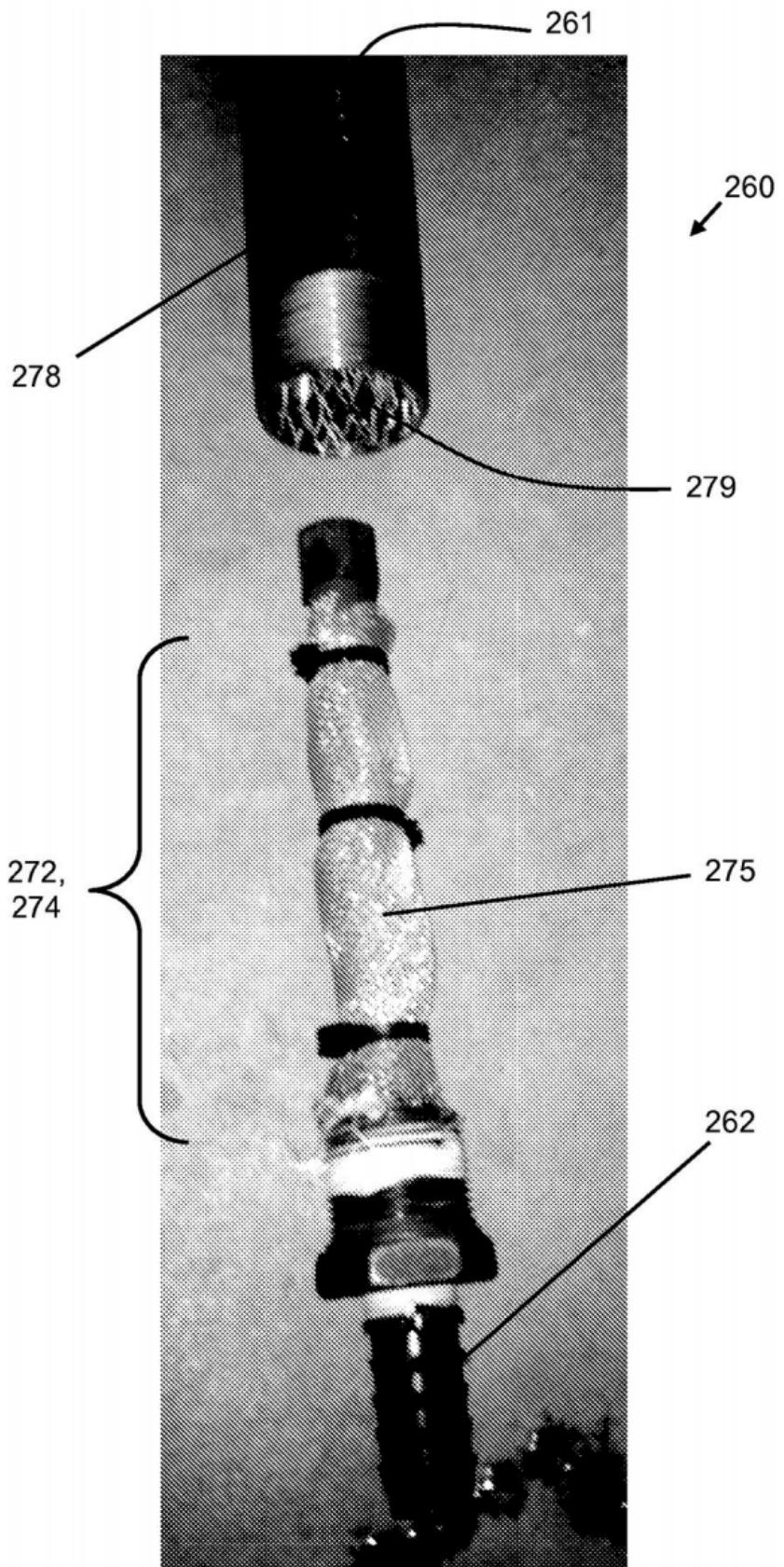


Figura 16F

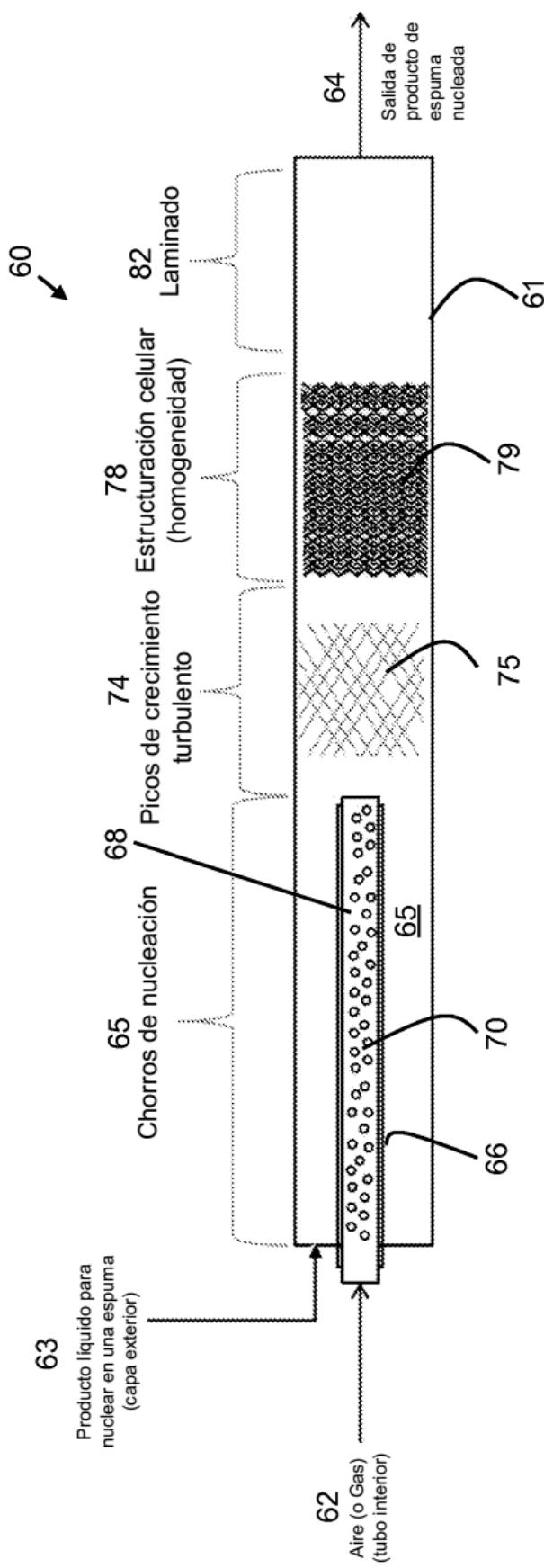


Figura 18A

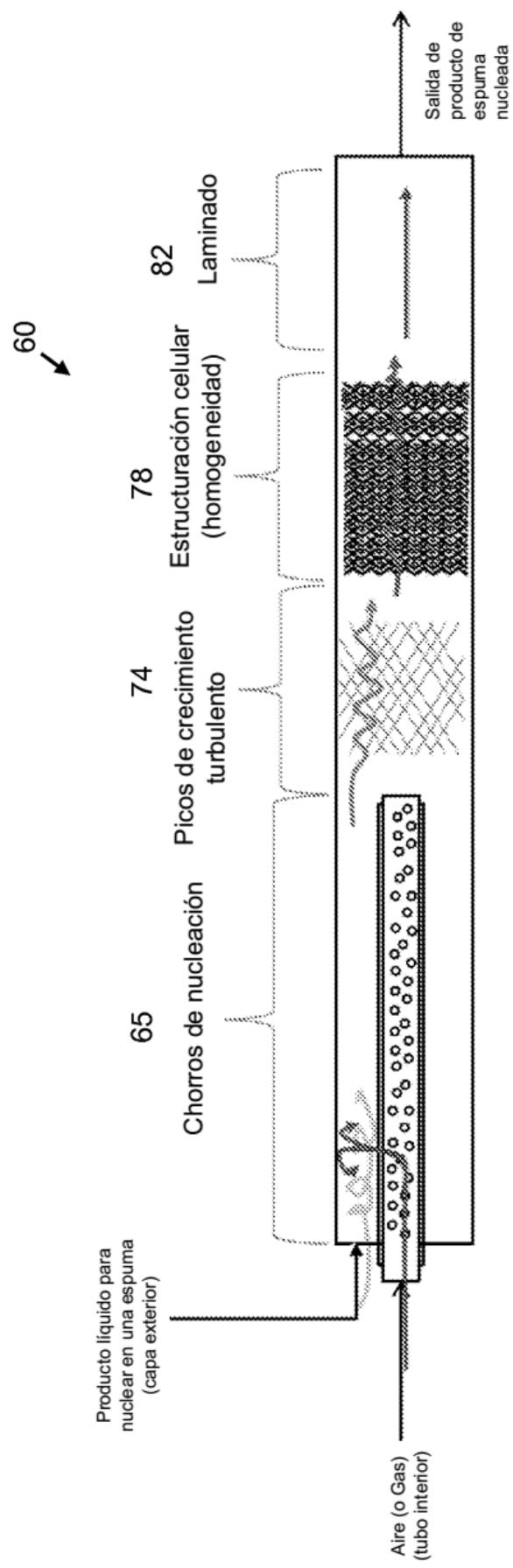


Figura 18B

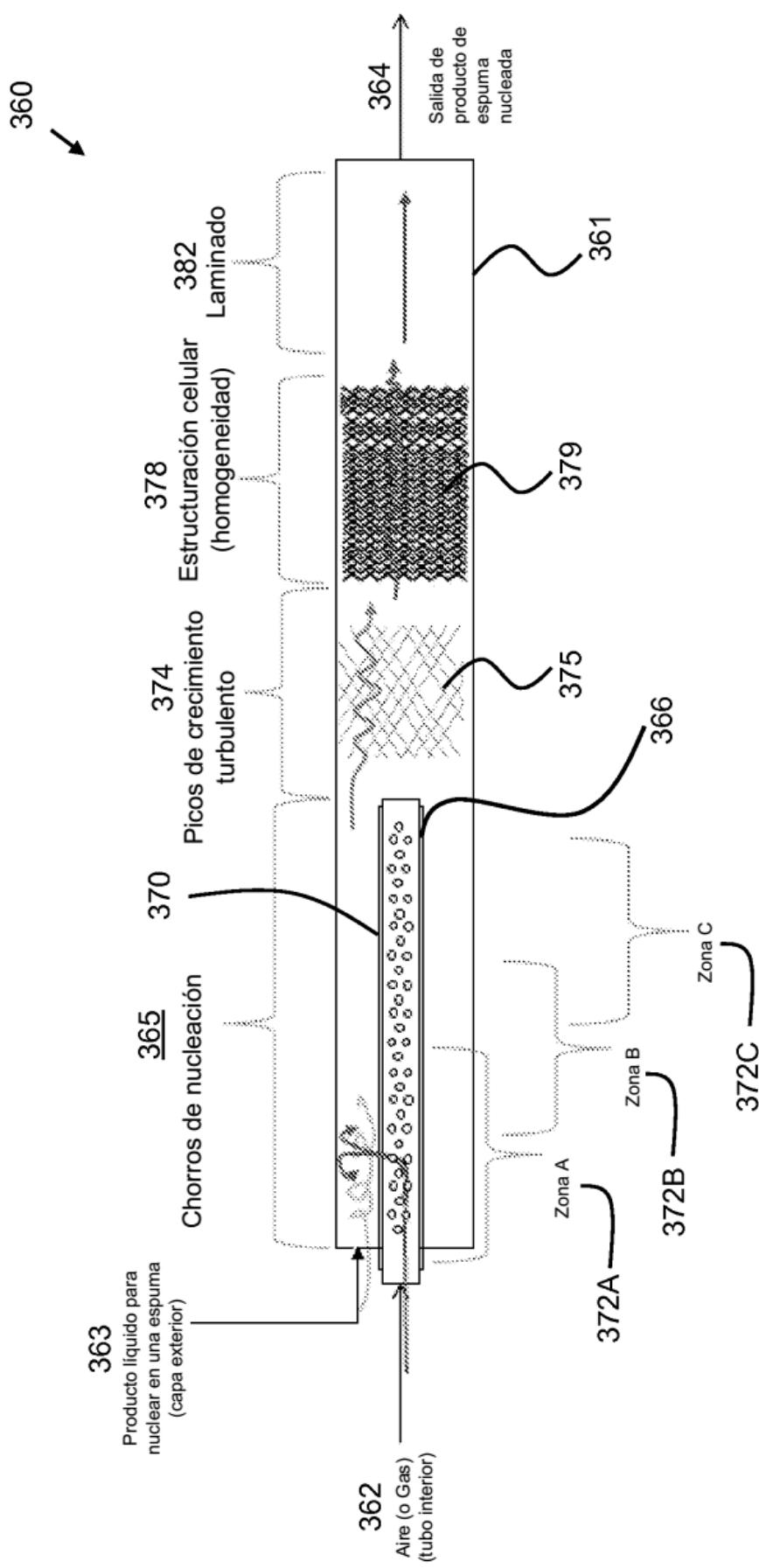


Figura 18C

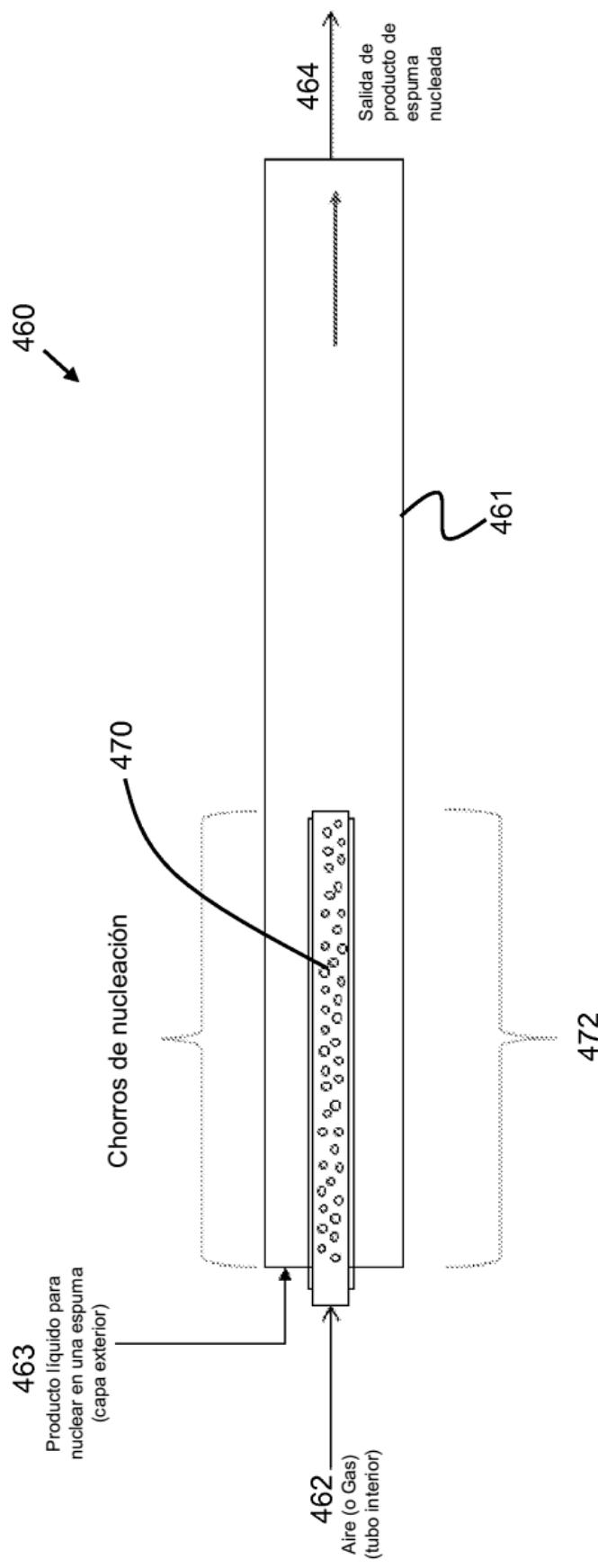


Figura 18D

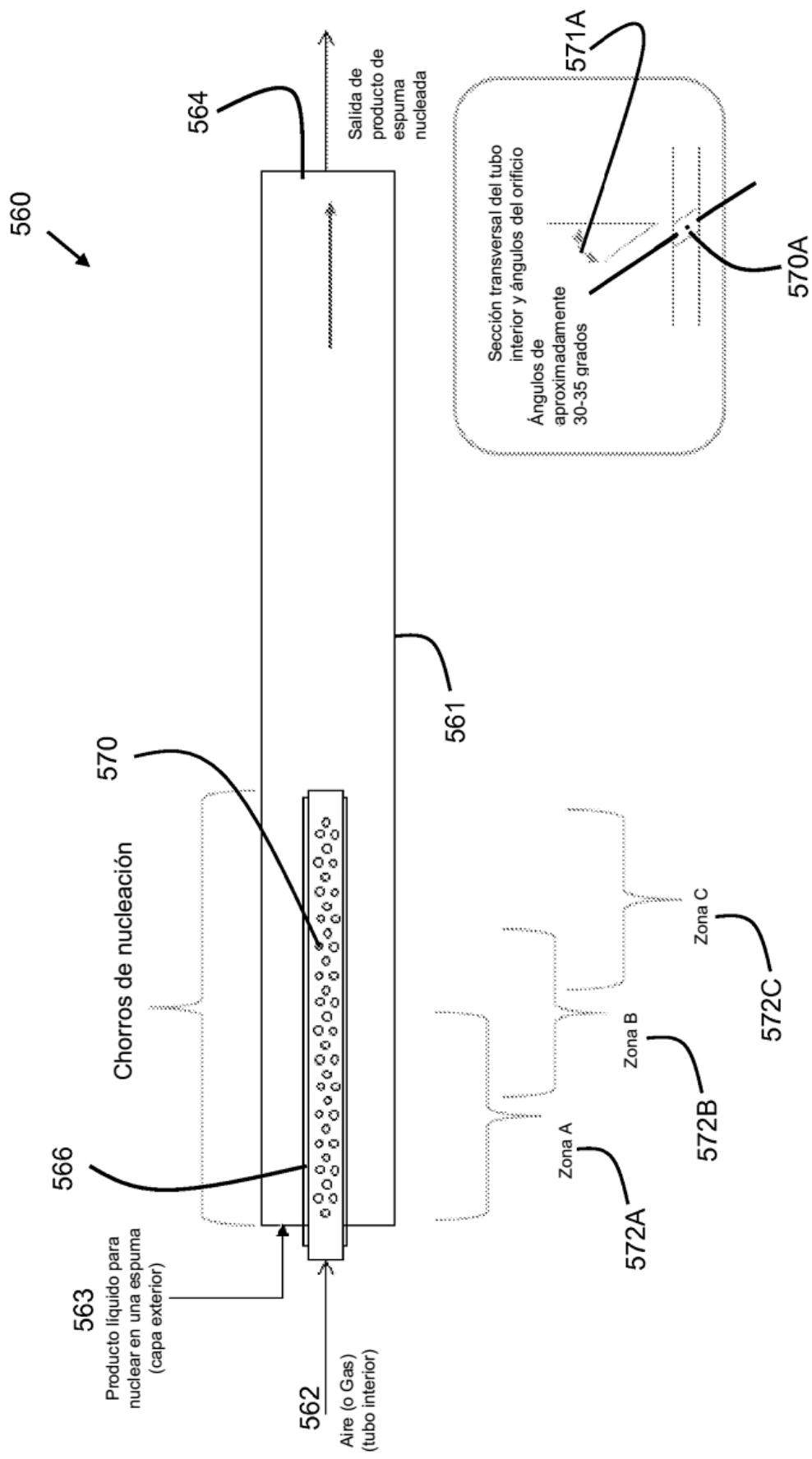


Figura 18E

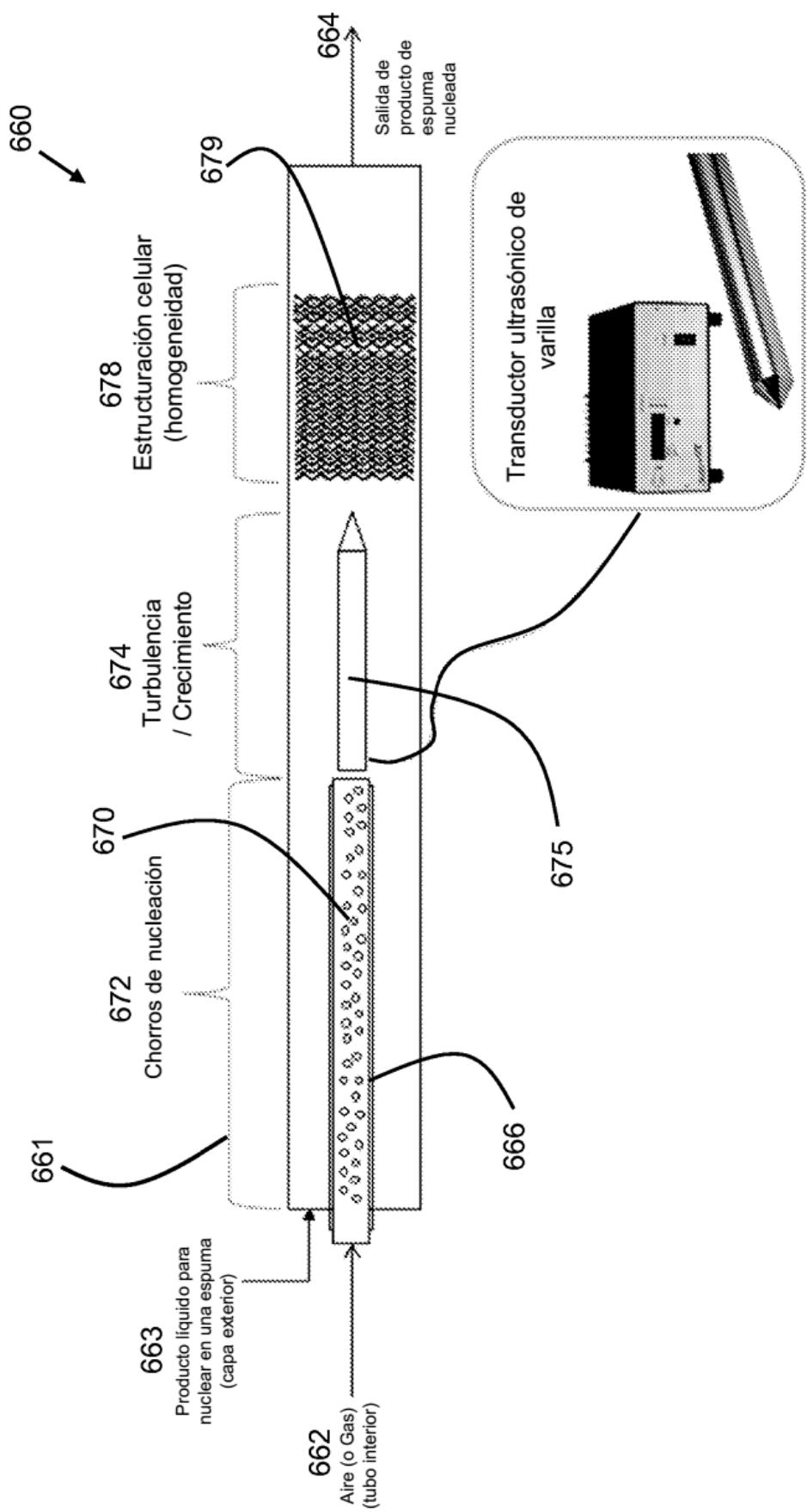


Figura 18F

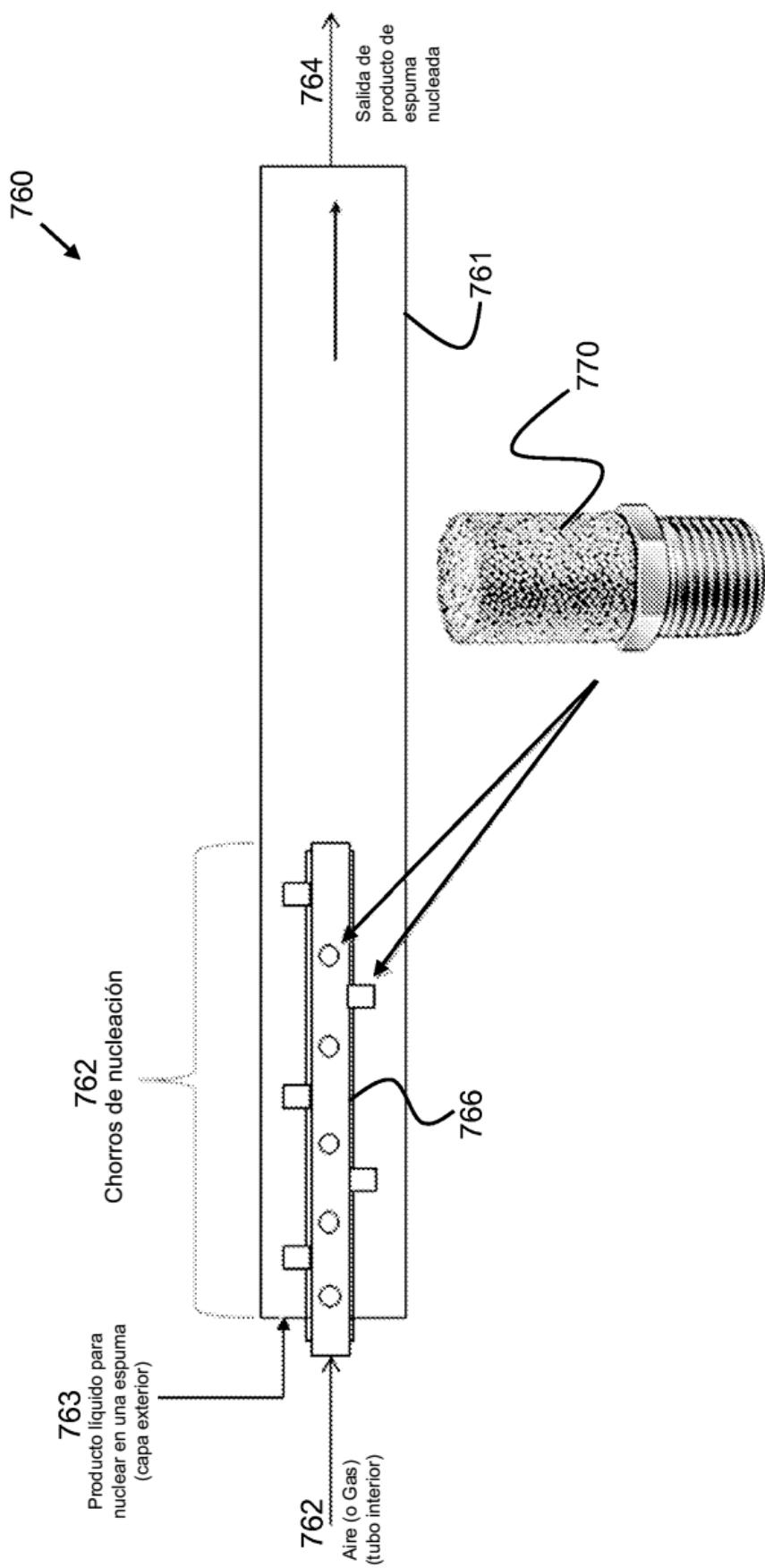


Figura 18G

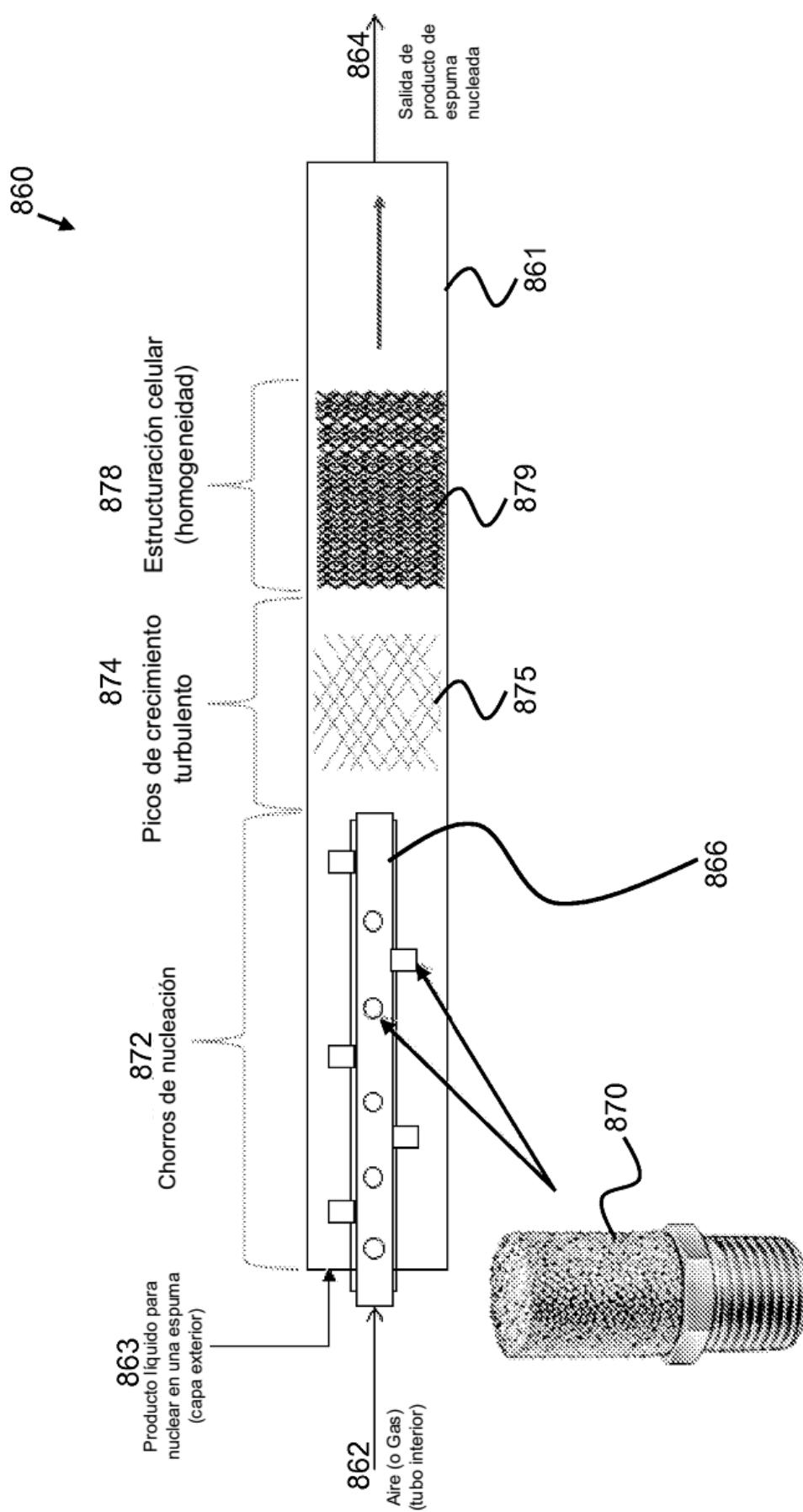


Figura 18H

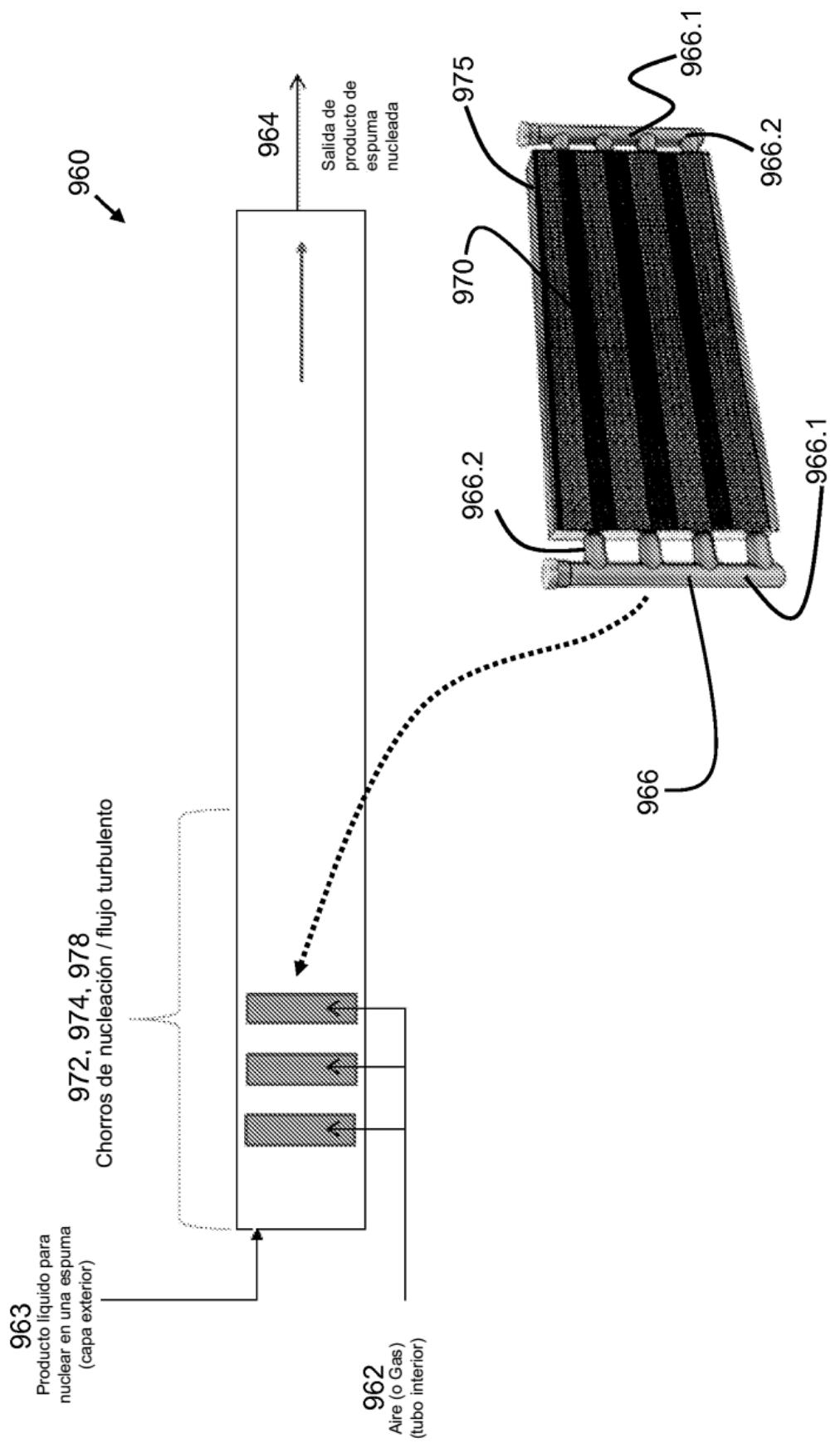


Figura 18|

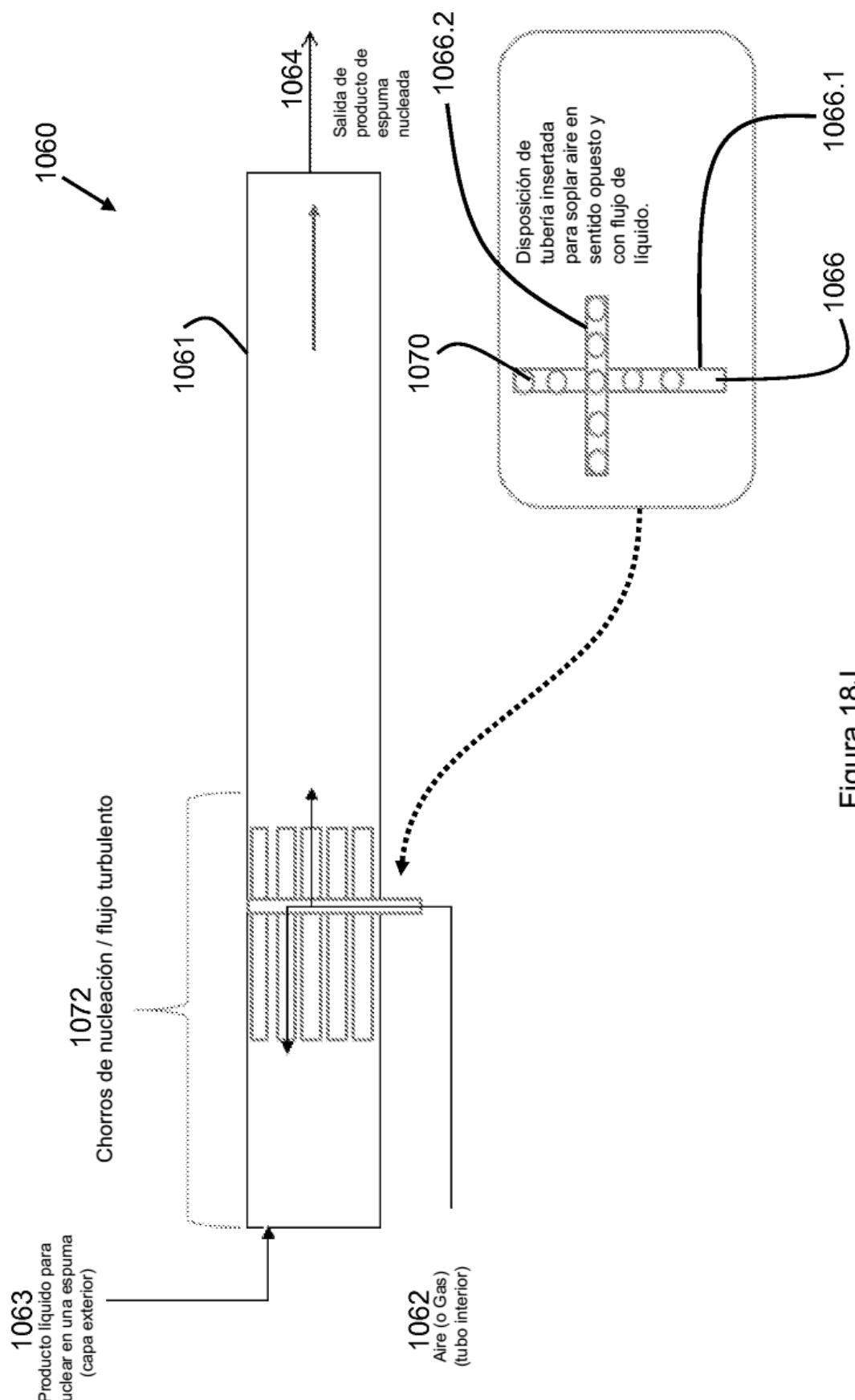


Figura 18J

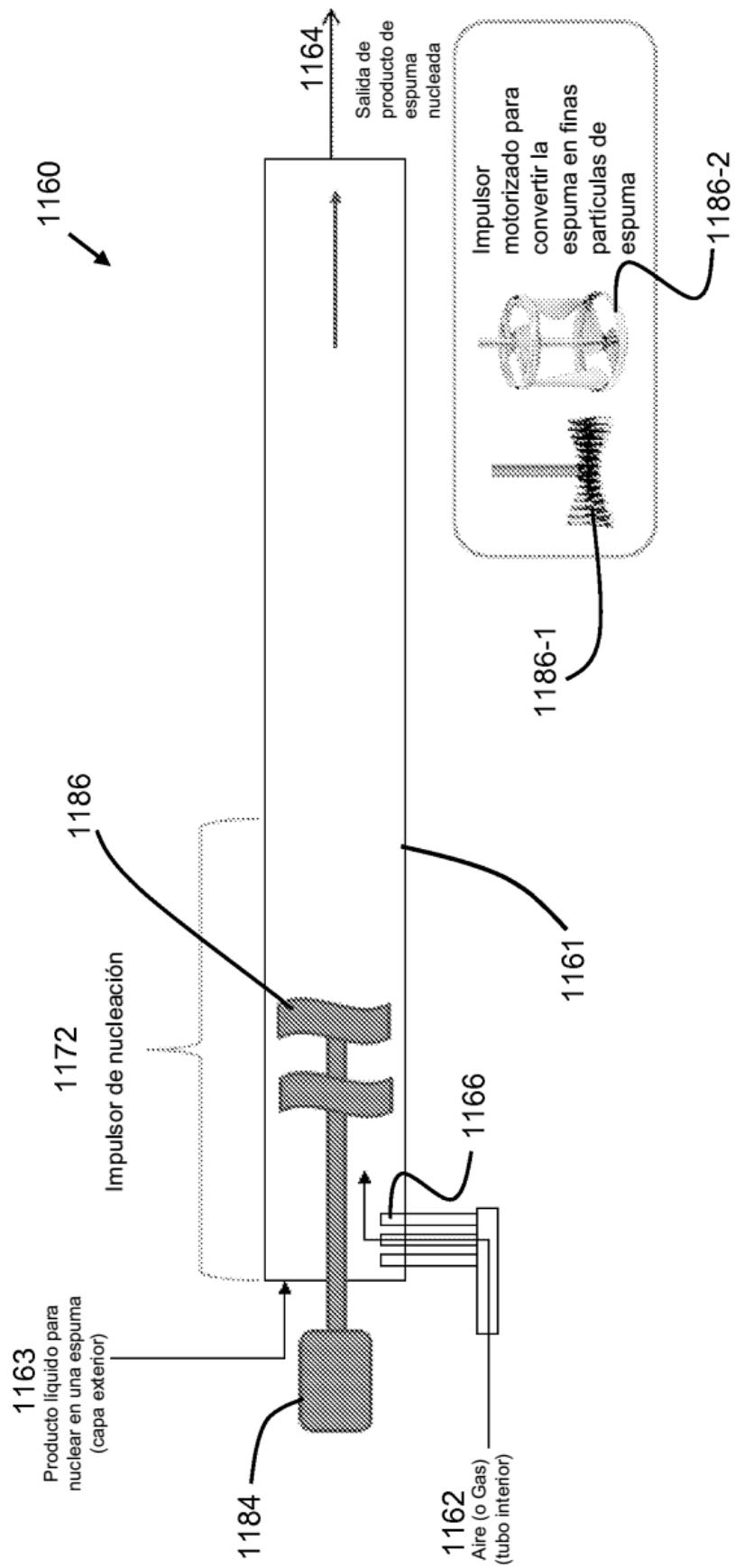


Figura 18K

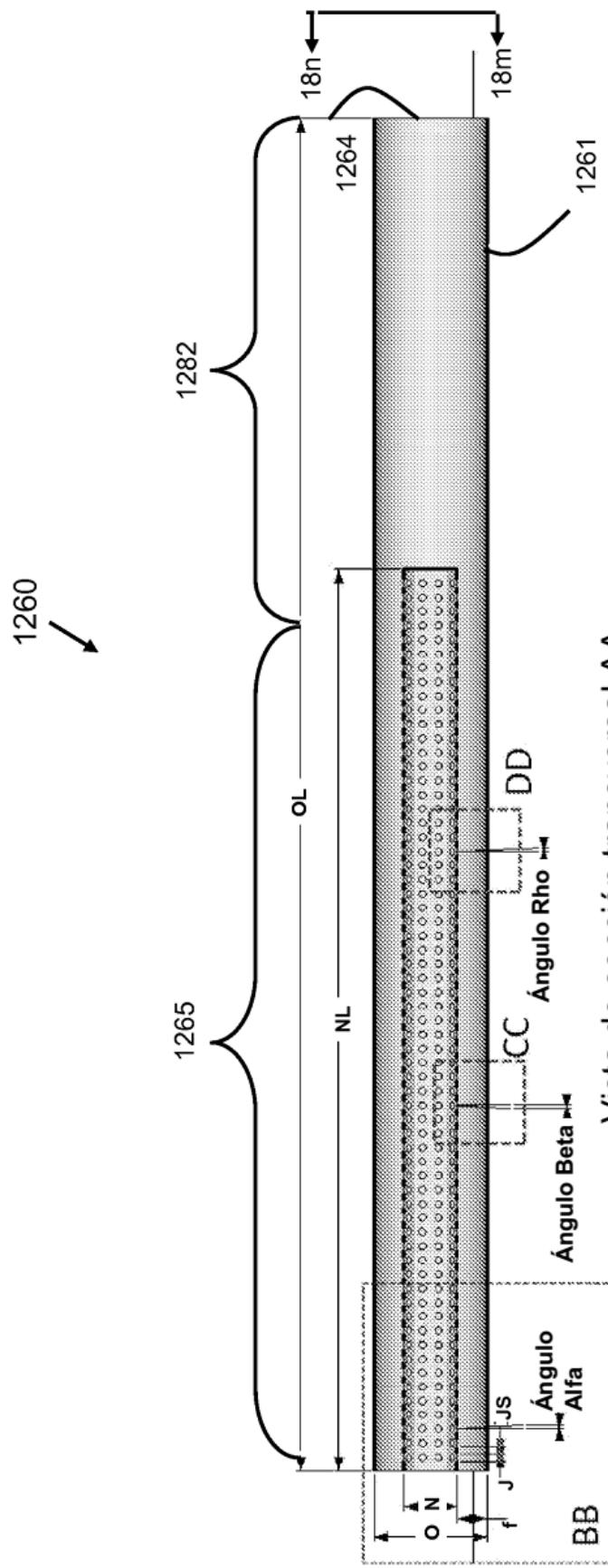


Figura 18L

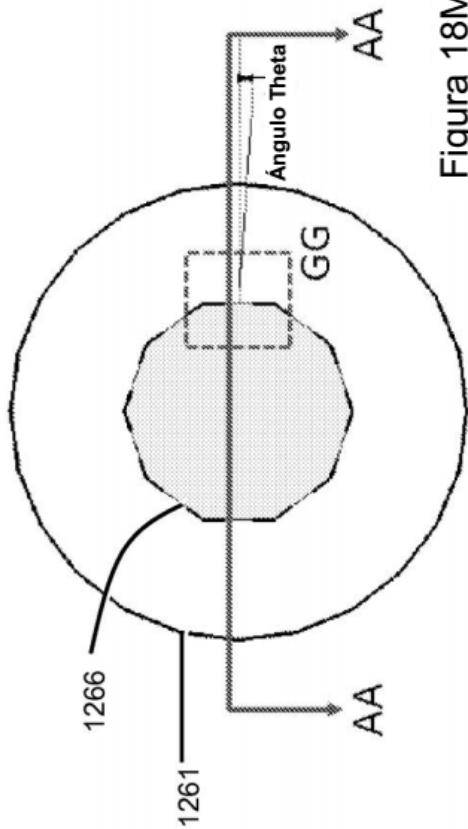
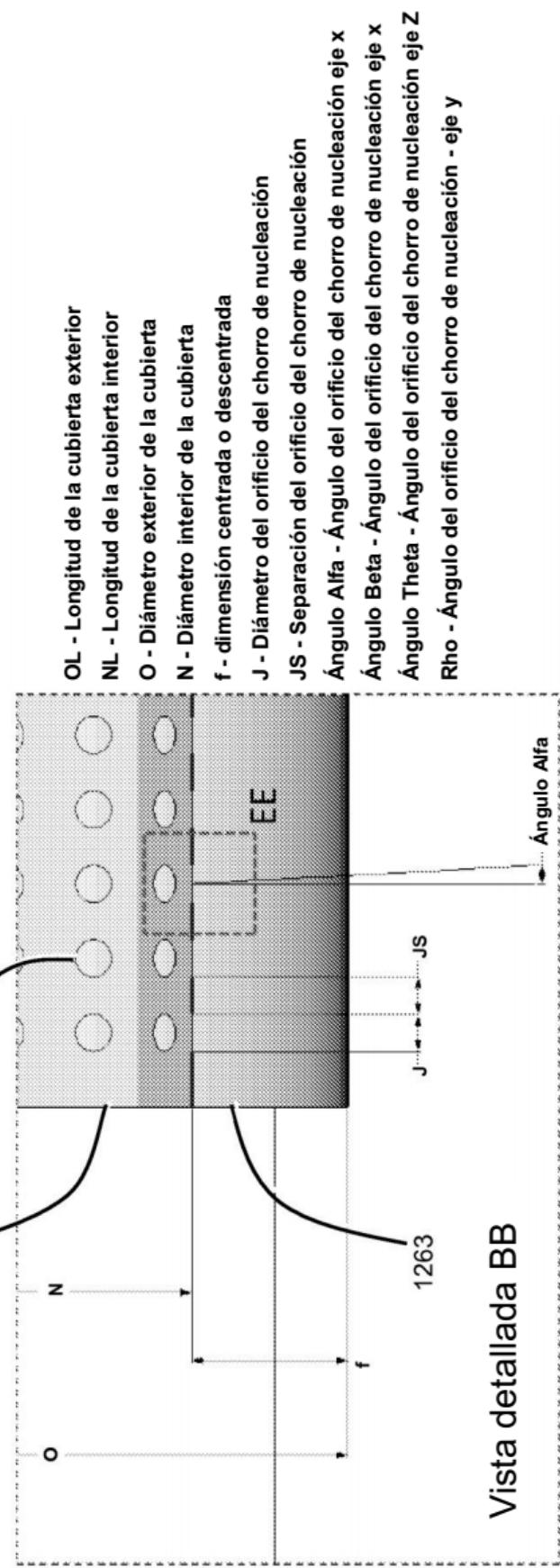


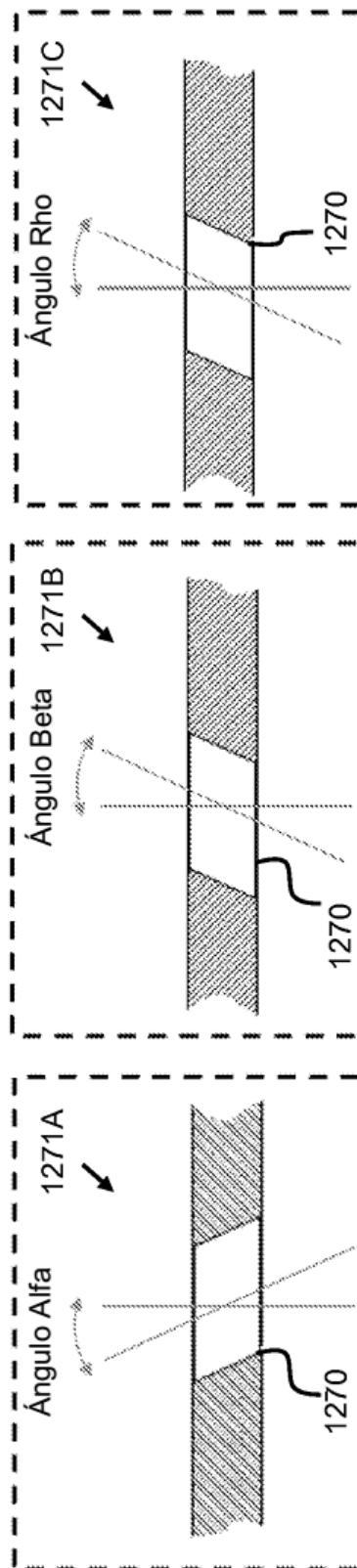
Figura 18M



Vista detallada BB

Figura 18N

Diversos grados por zona



Detalle del orificio

Figura 18O

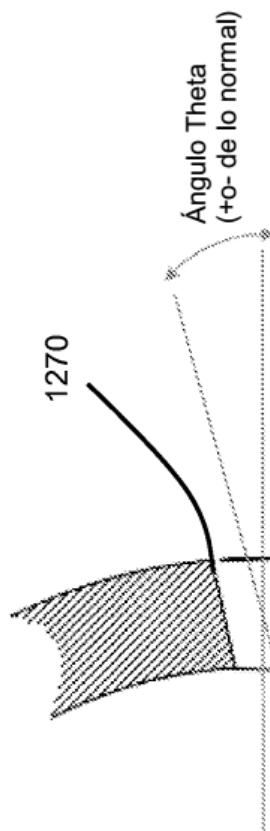
Detalle del orificio CC

Figura 18P

Detalle del orificio DD

Figura 18Q

Cada orificio de zona
puede tener un ángulo
Theta y varía de acuerdo
con la zona.



Desde la linea central

Figura 18R

Detalle orificio GG

Otros extras

Posiciones del vehículo
Espuma para ingestión

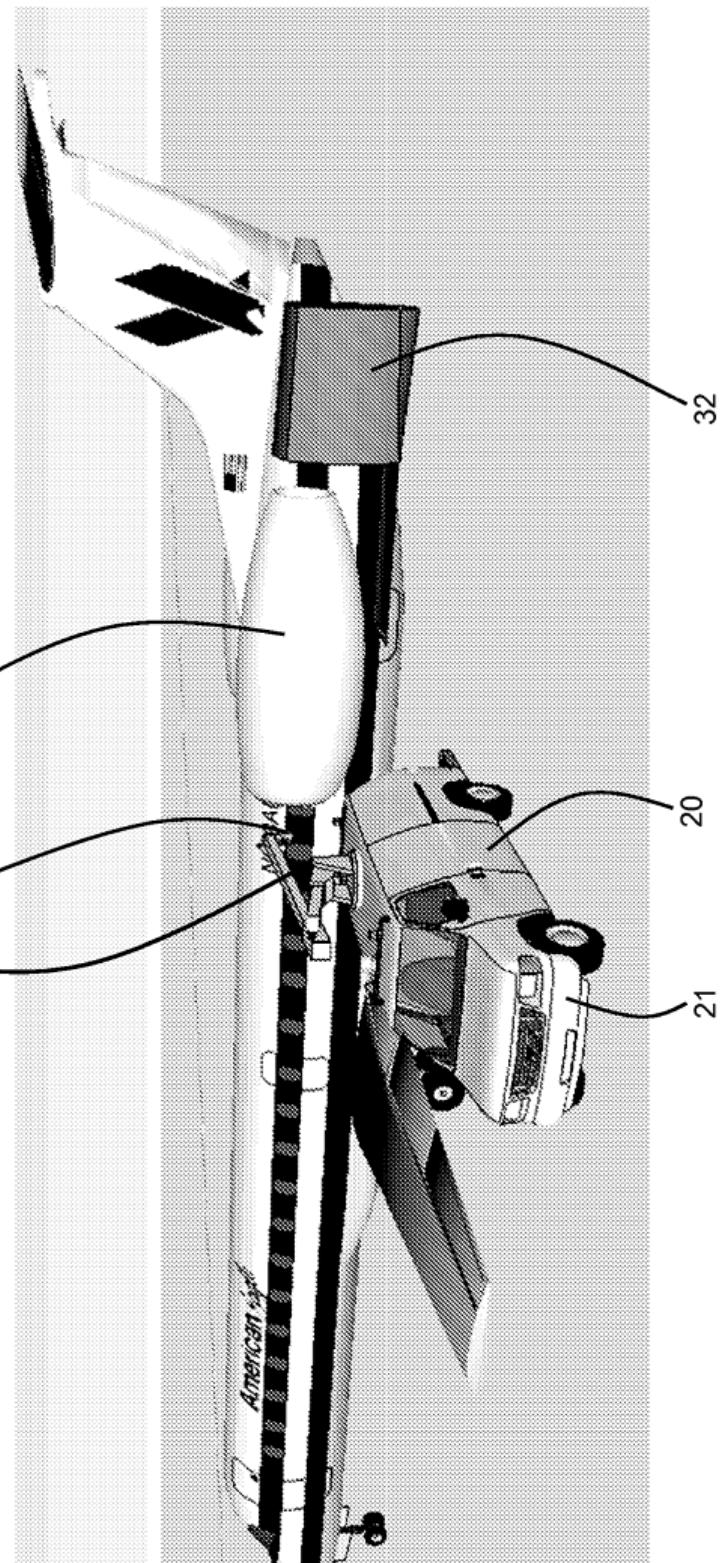


Figura 19A

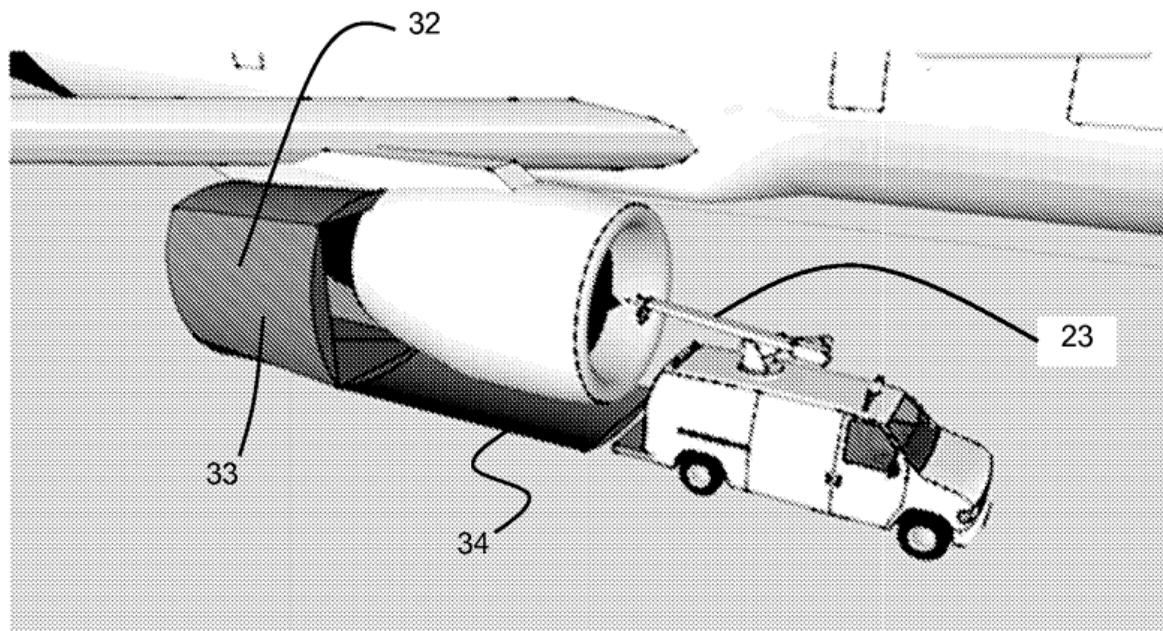


Figura 19B

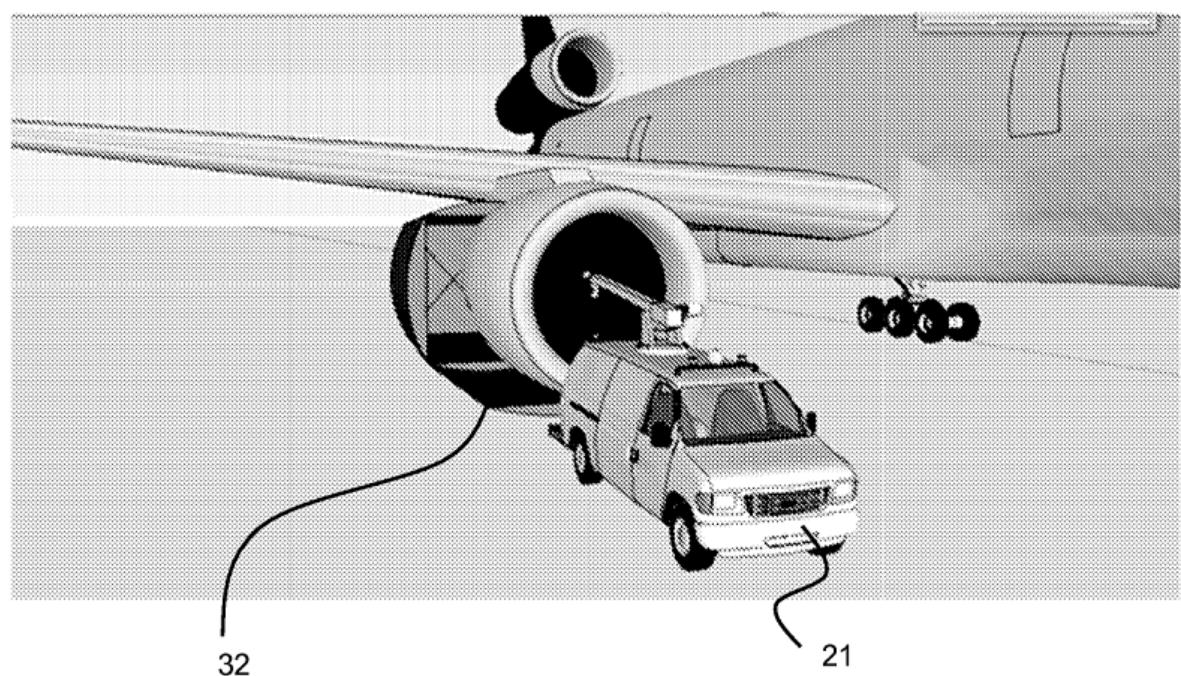


Figura 19C

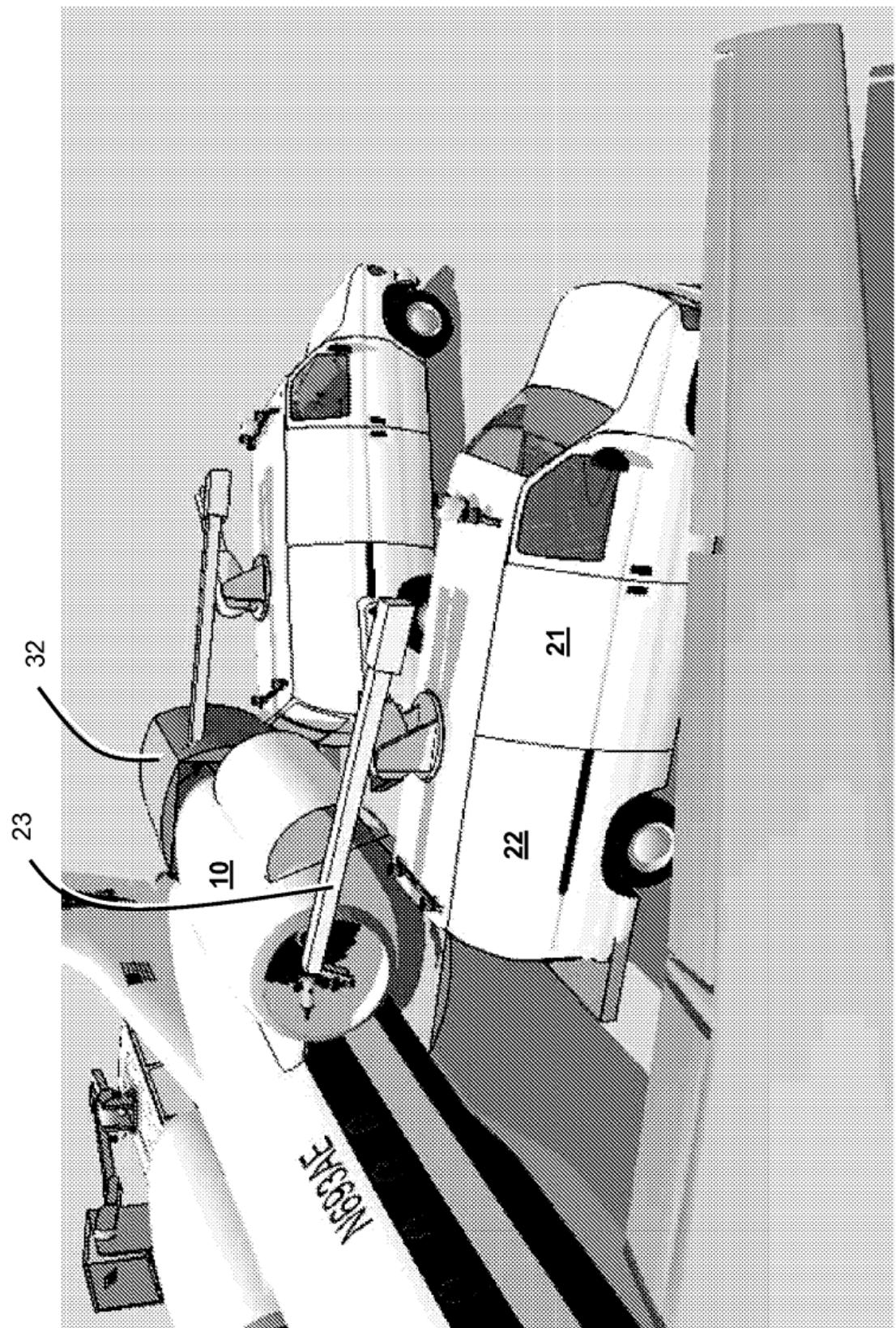


Figura 19D

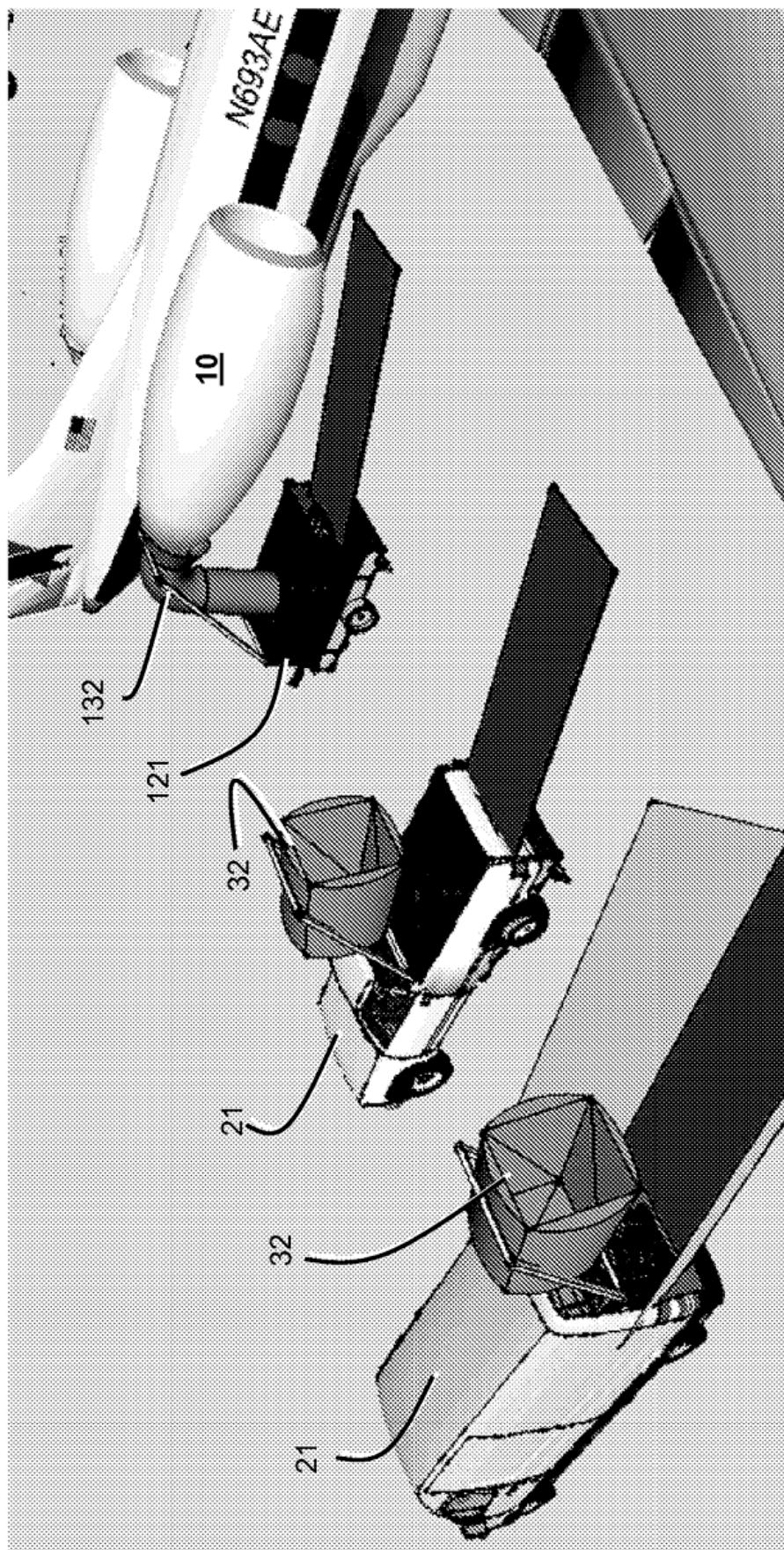


Figura 19E

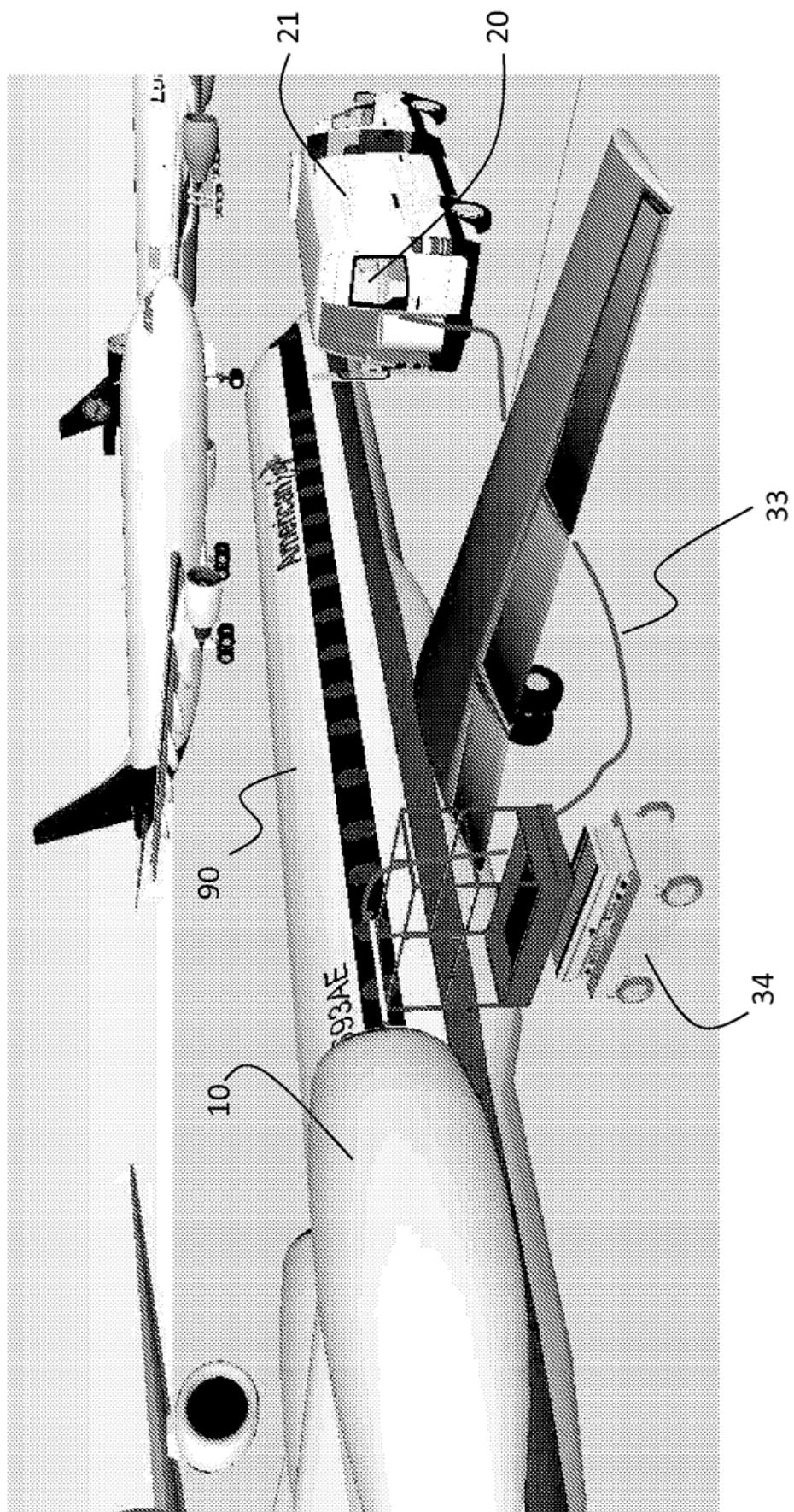


Figura 2-1A

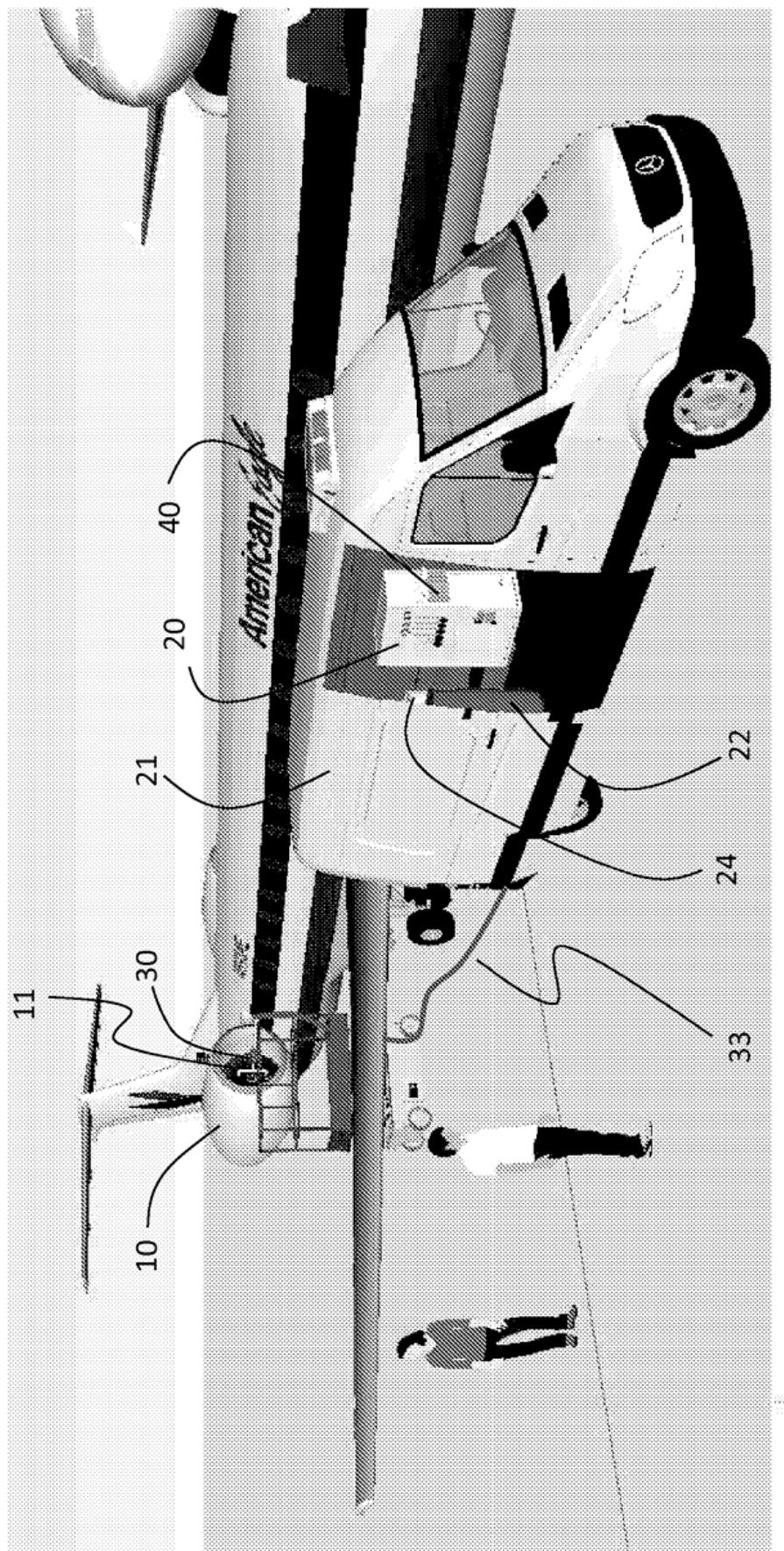


Figura 2-1B

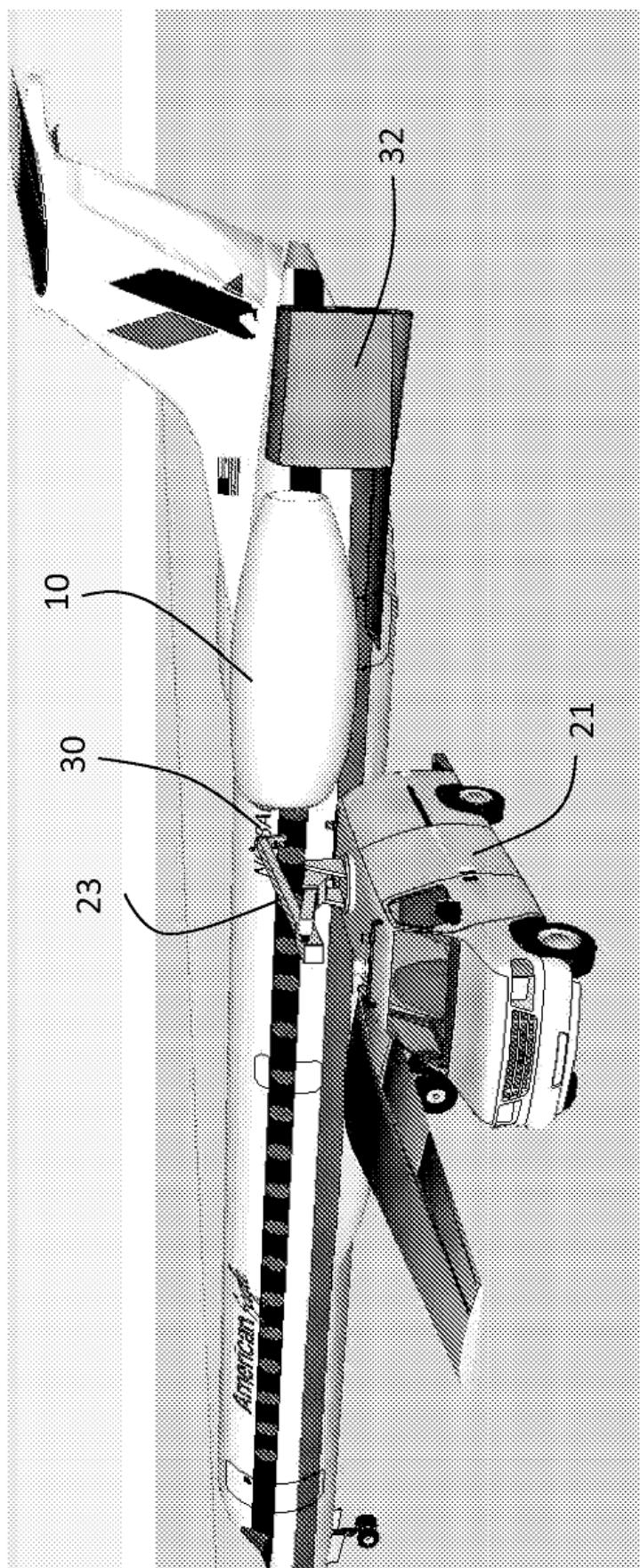


Figura 2

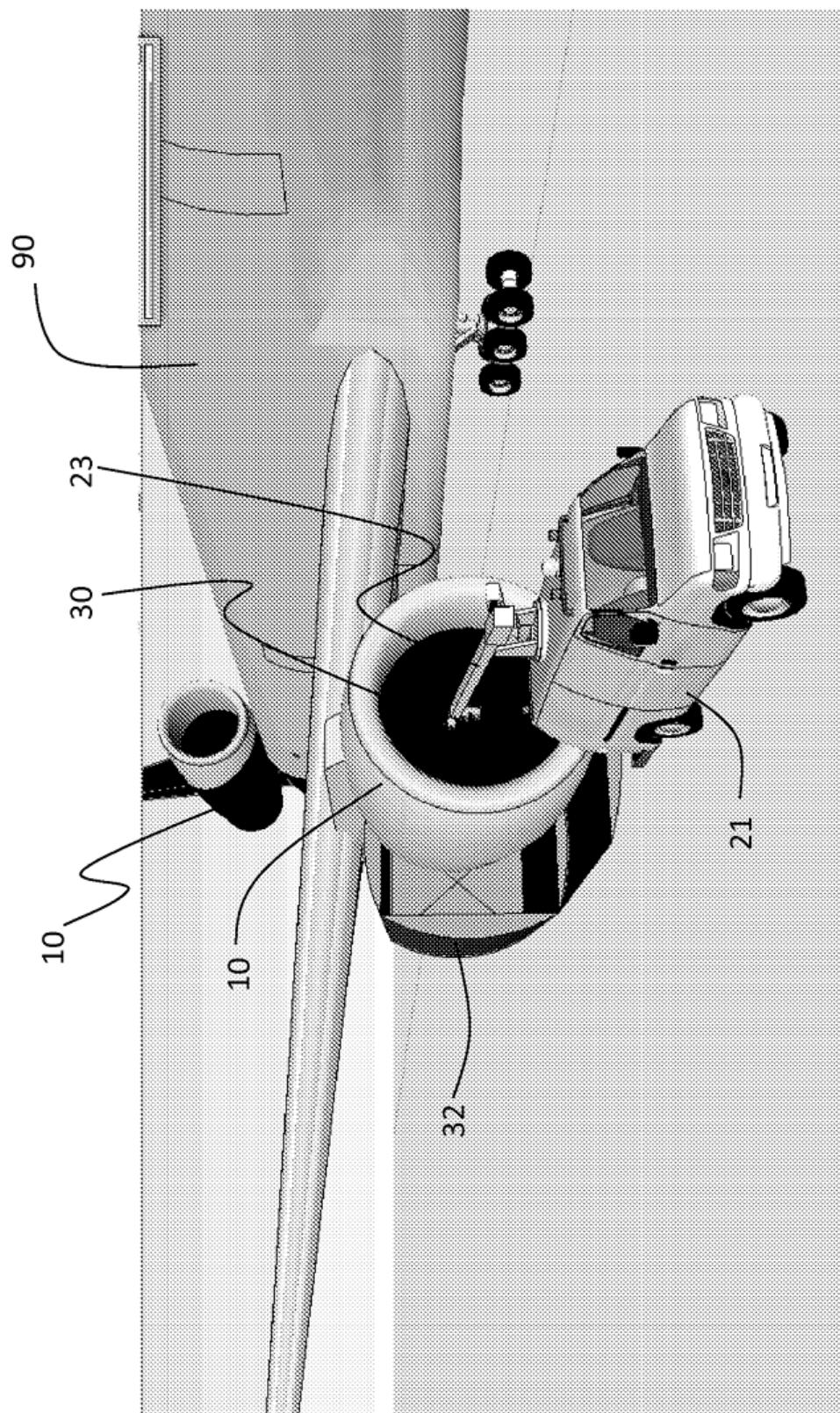


Figura 2-3

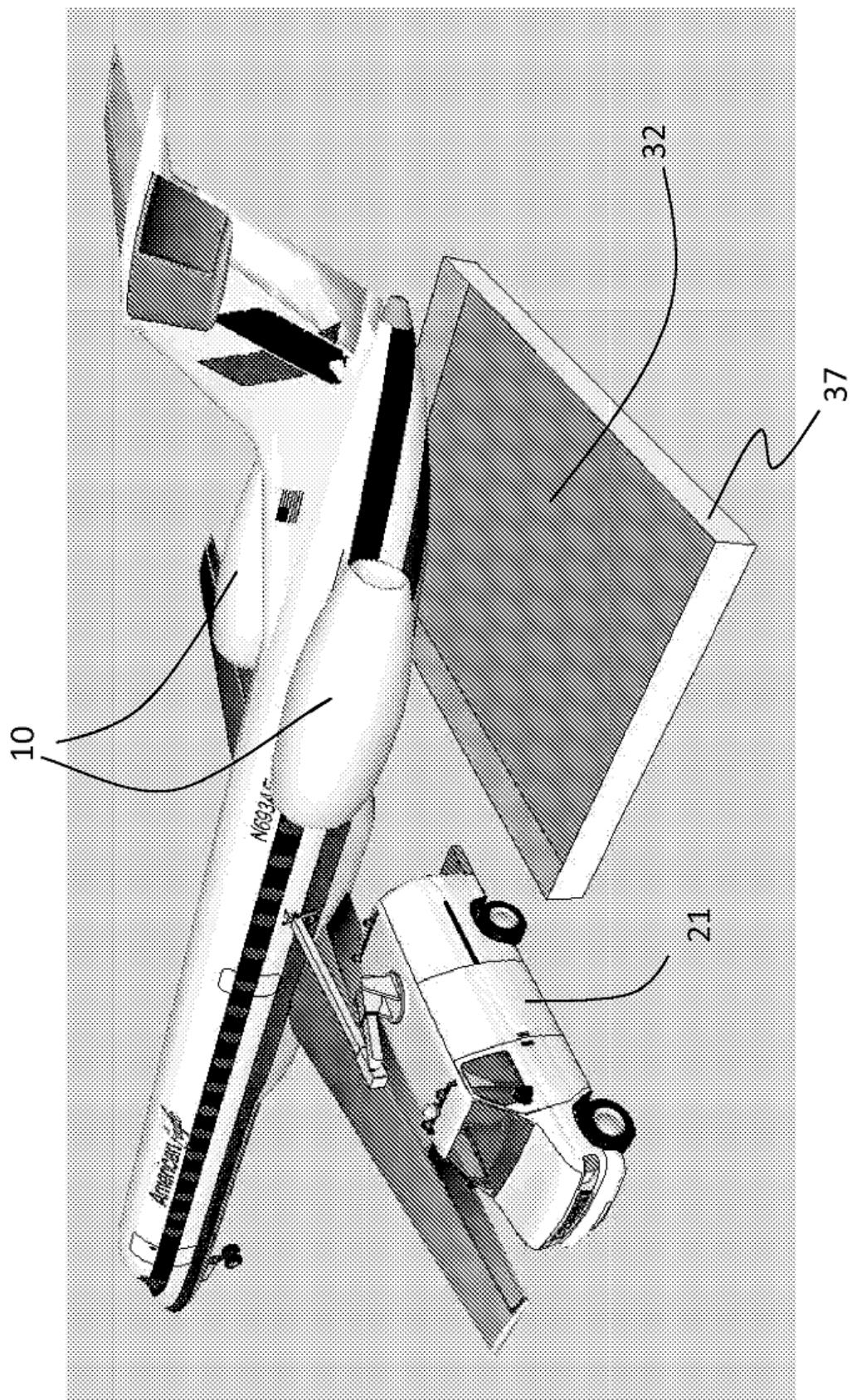


Figura 2-4

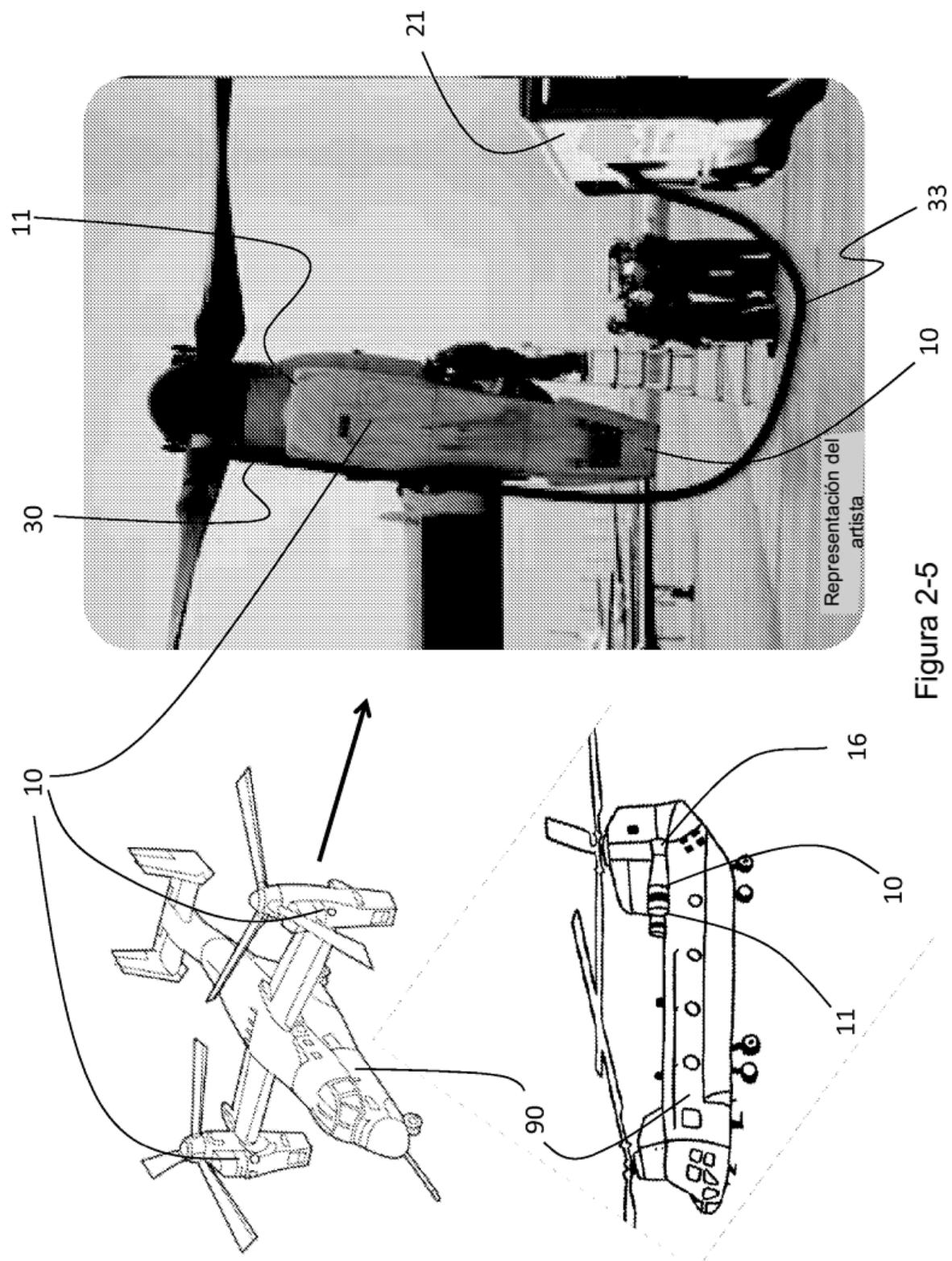


Figura 2-5

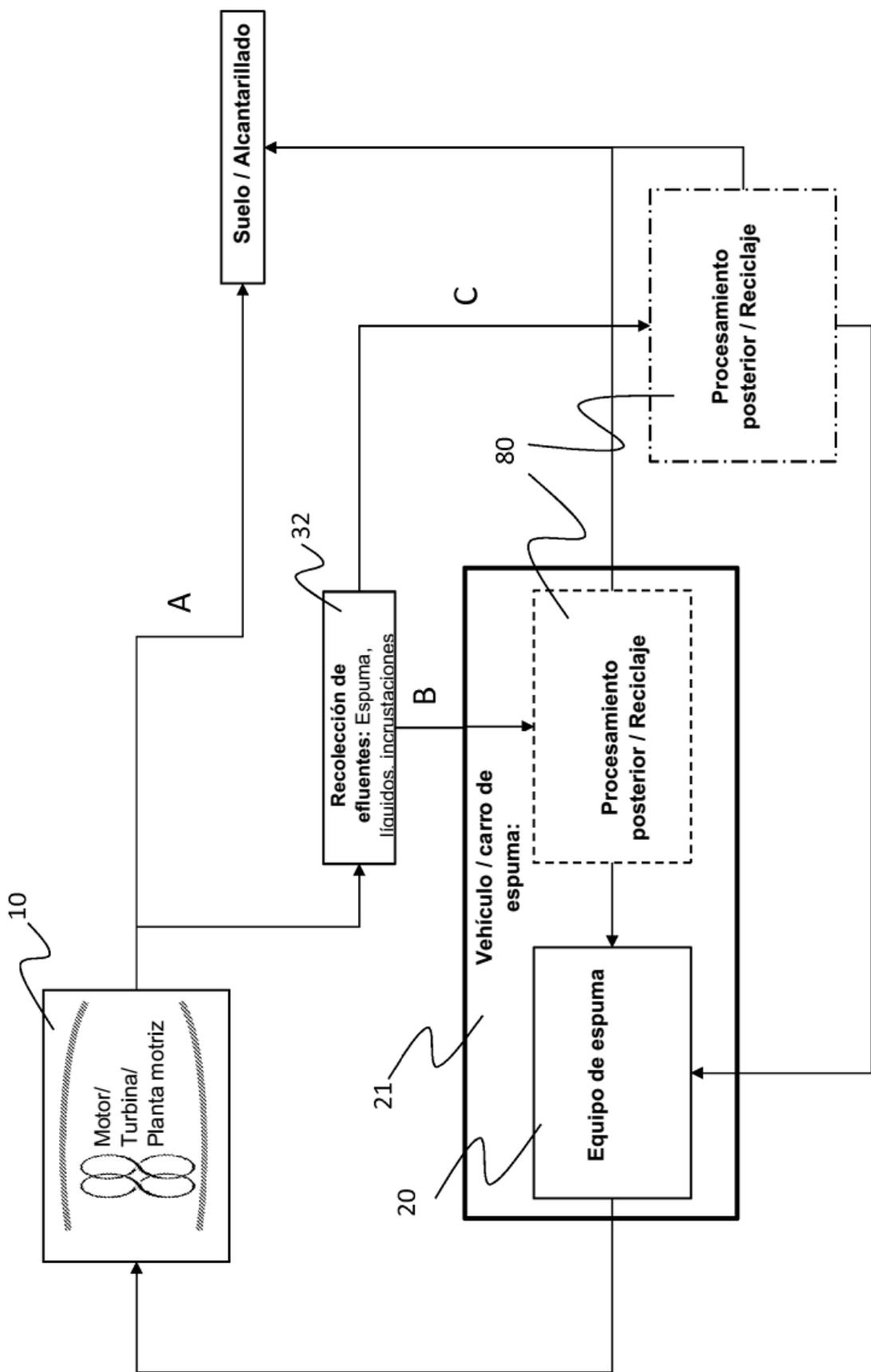


Figura 2-7

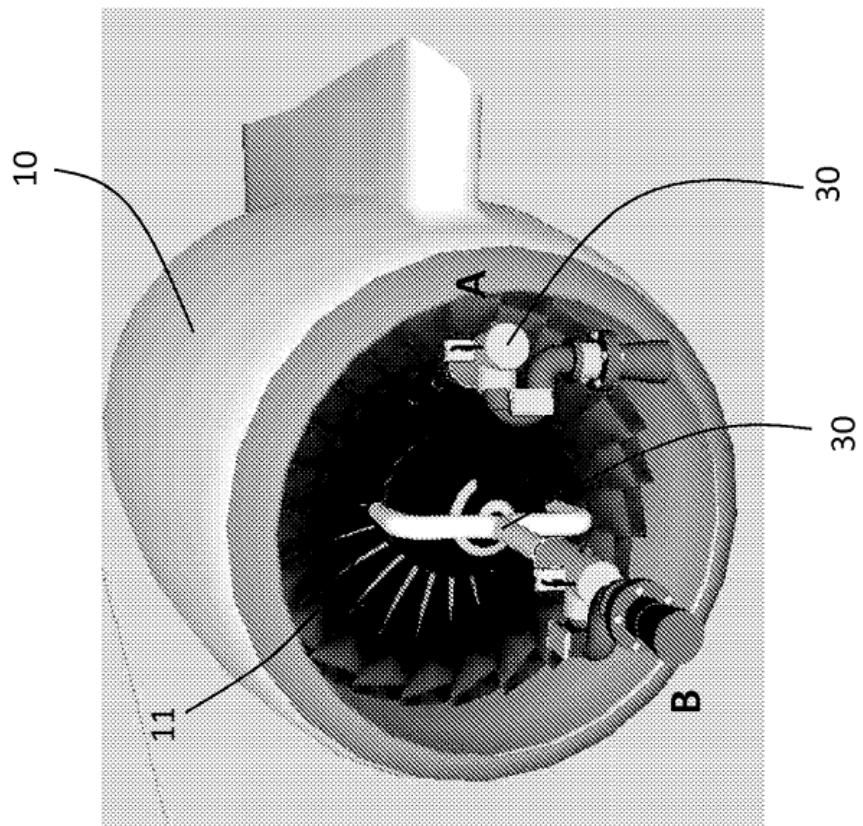


Figura 2-8B

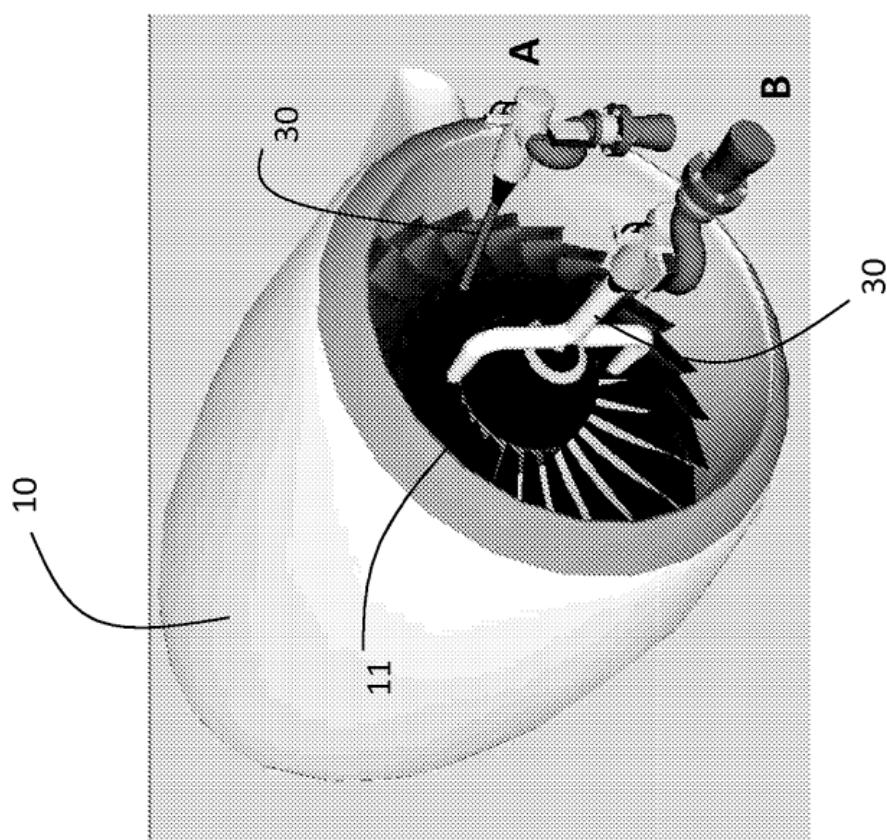


Figura 2-8A

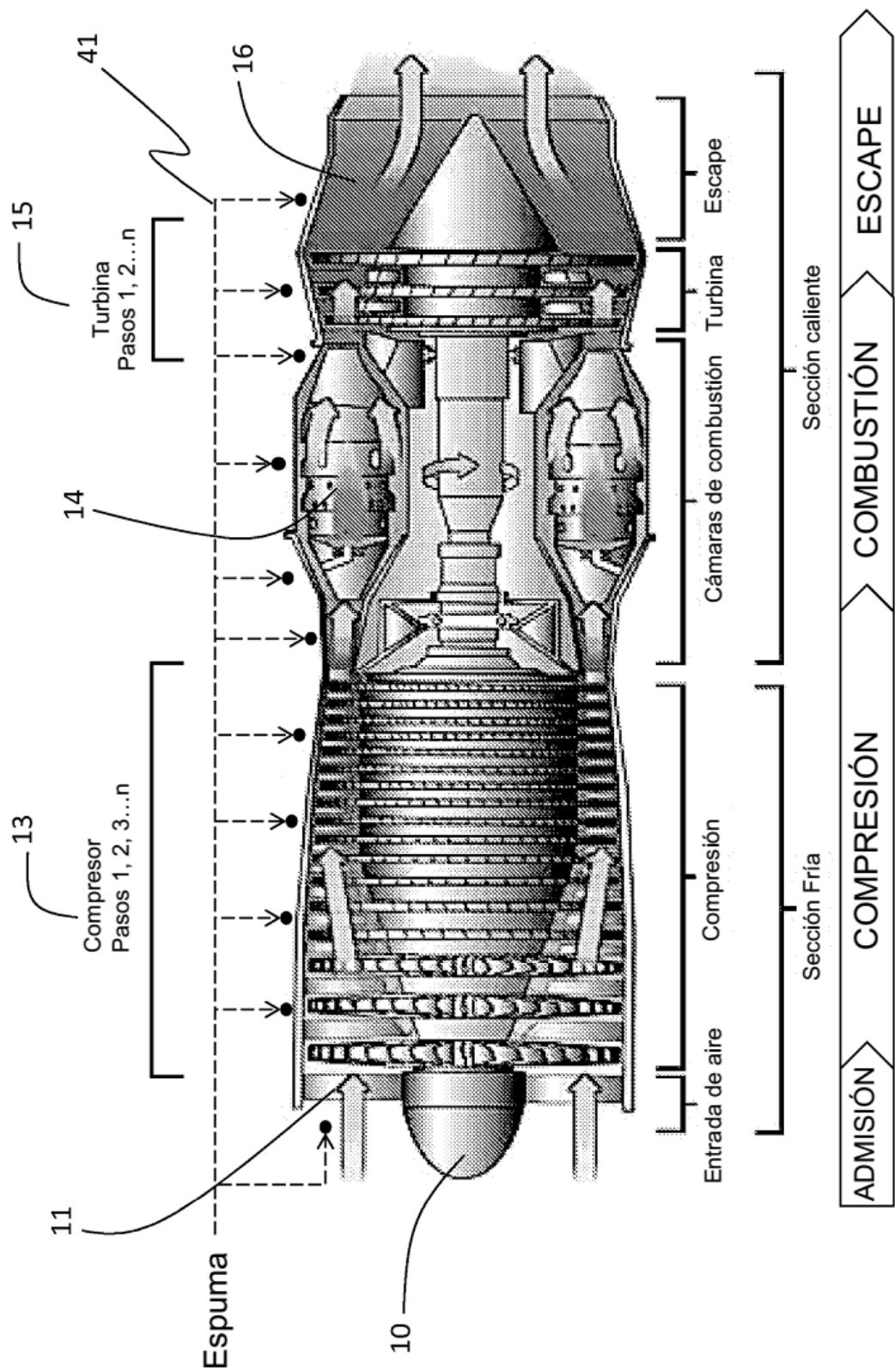


Figura 2-9A

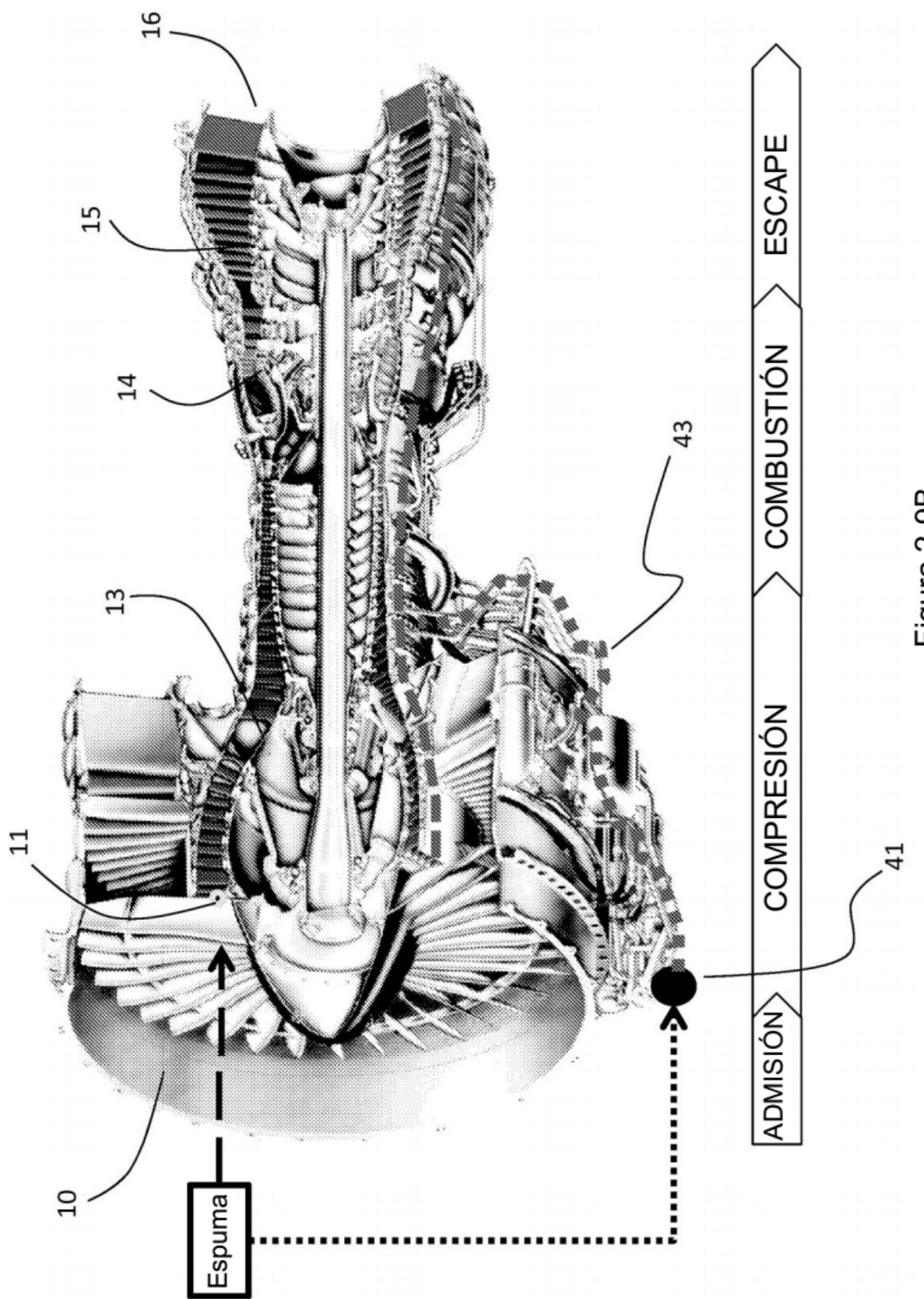


Figura 2-9B

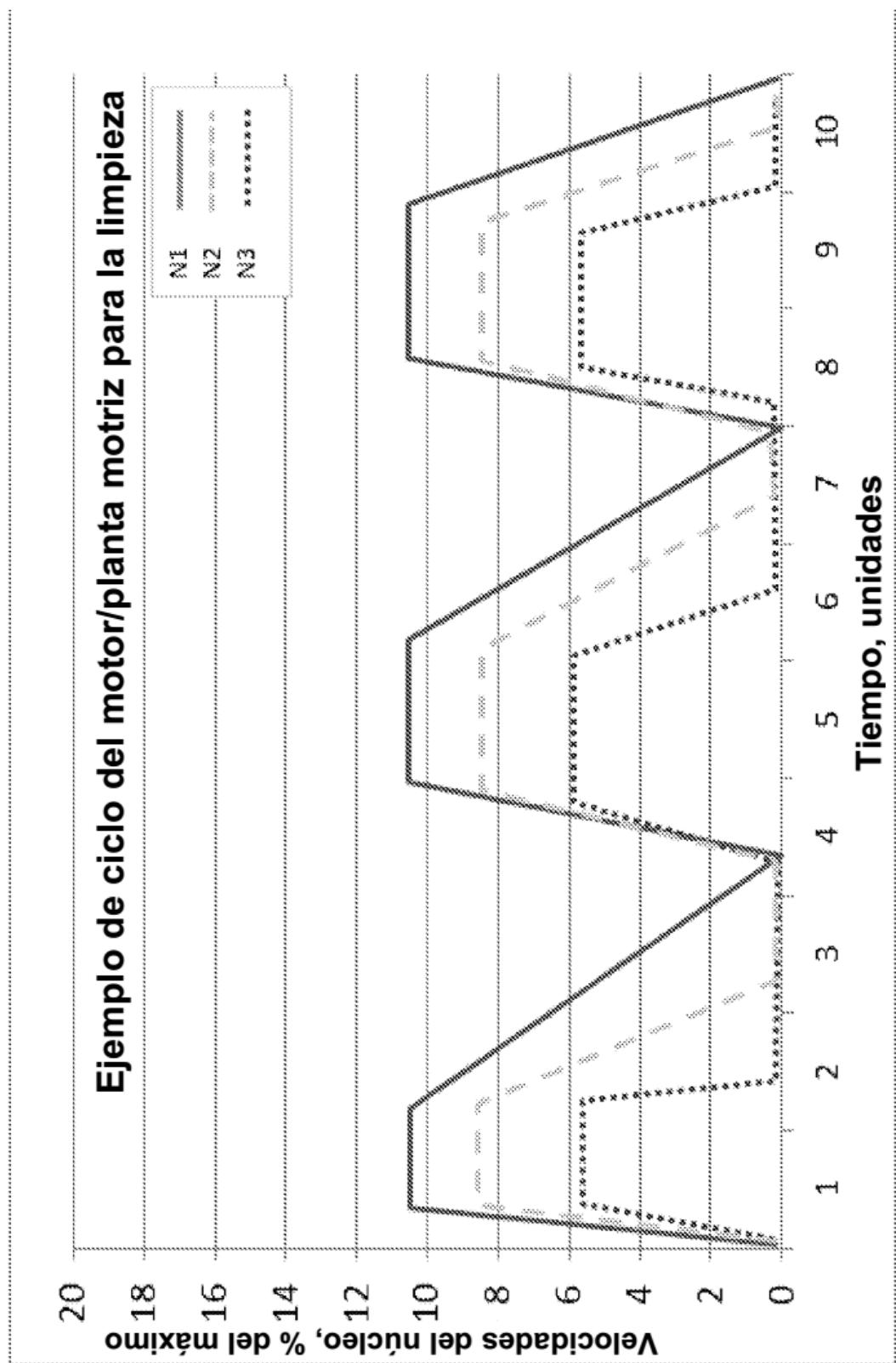


Figura 2-10

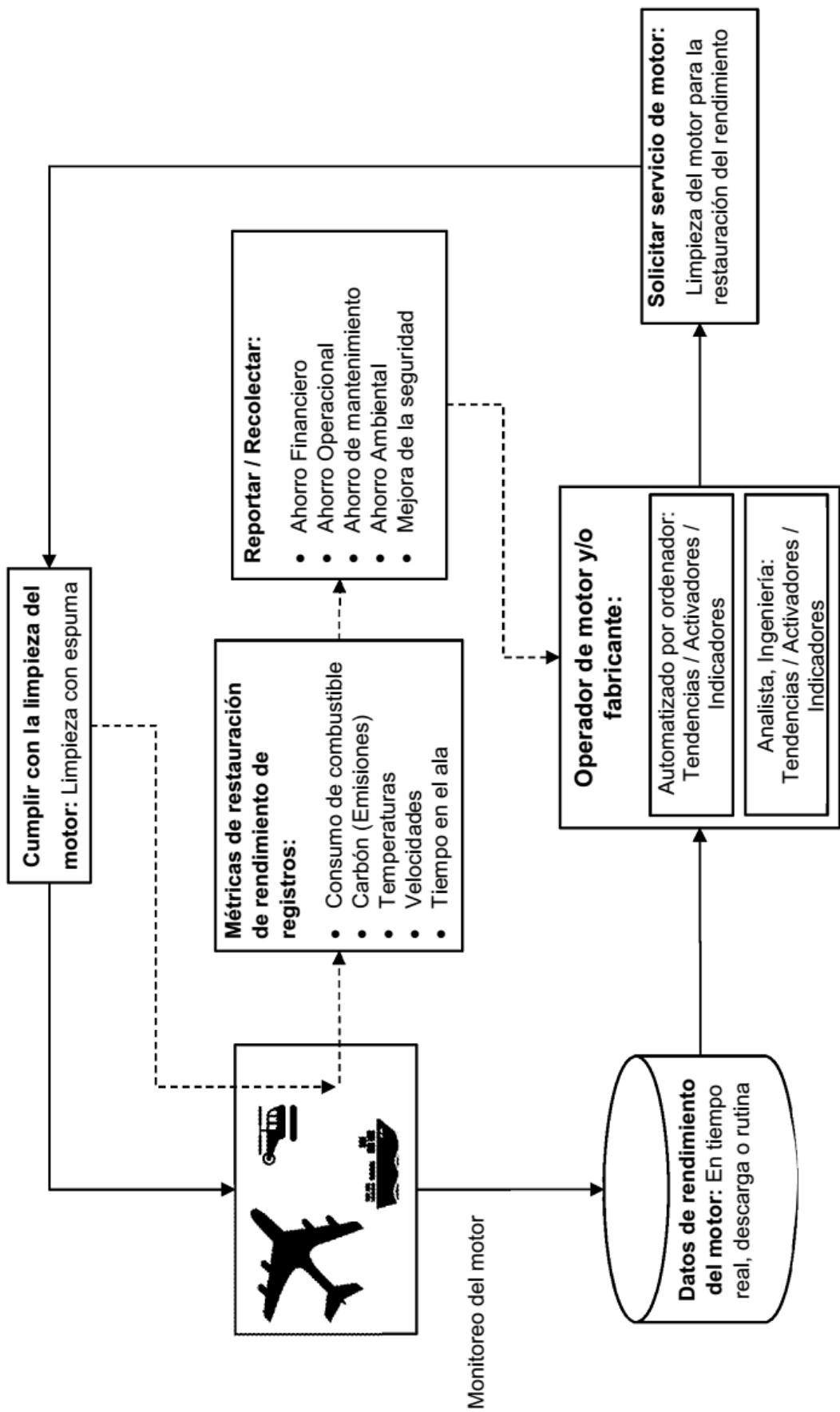


Figura 2-11

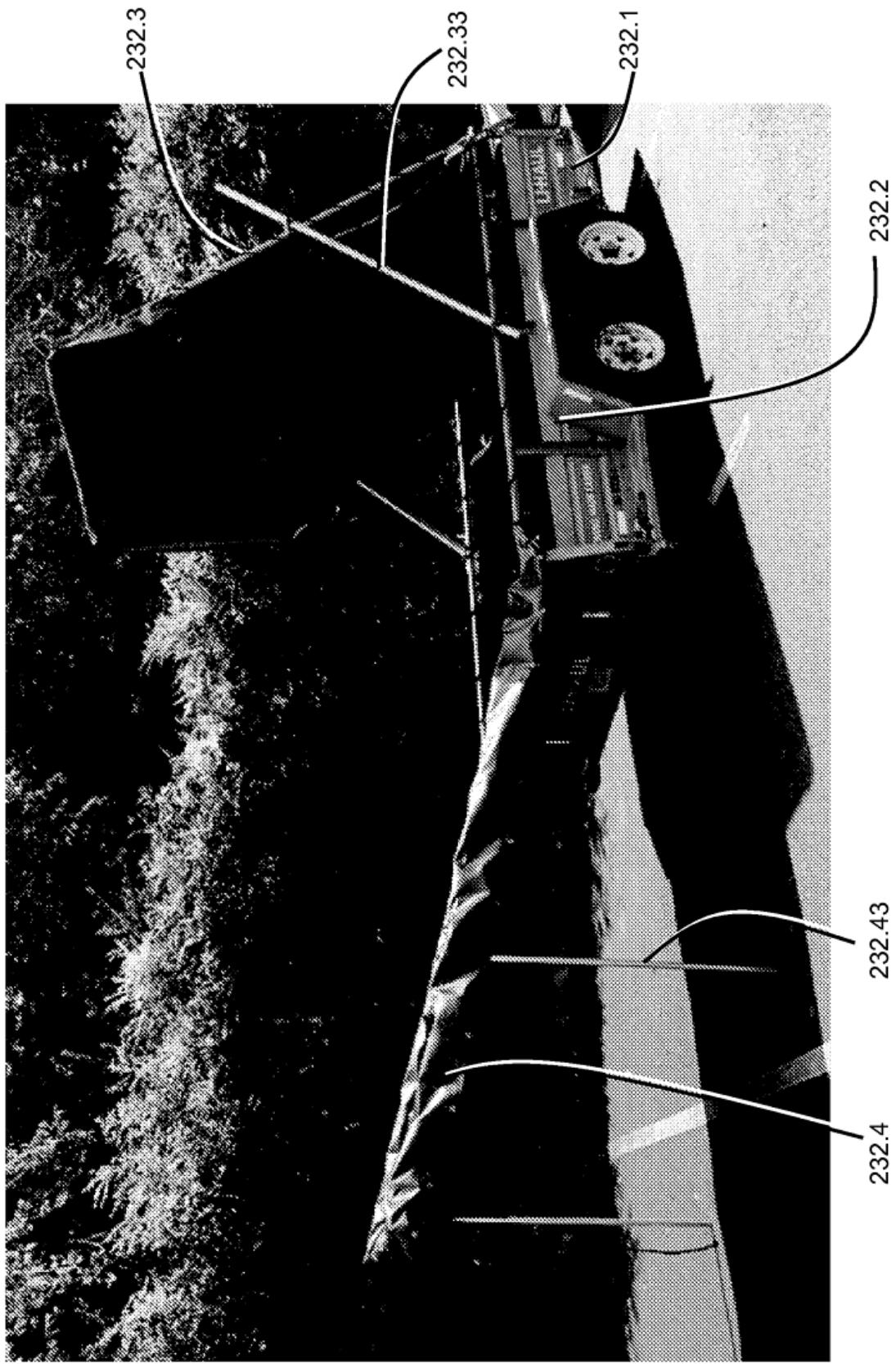


Figura 2-12A

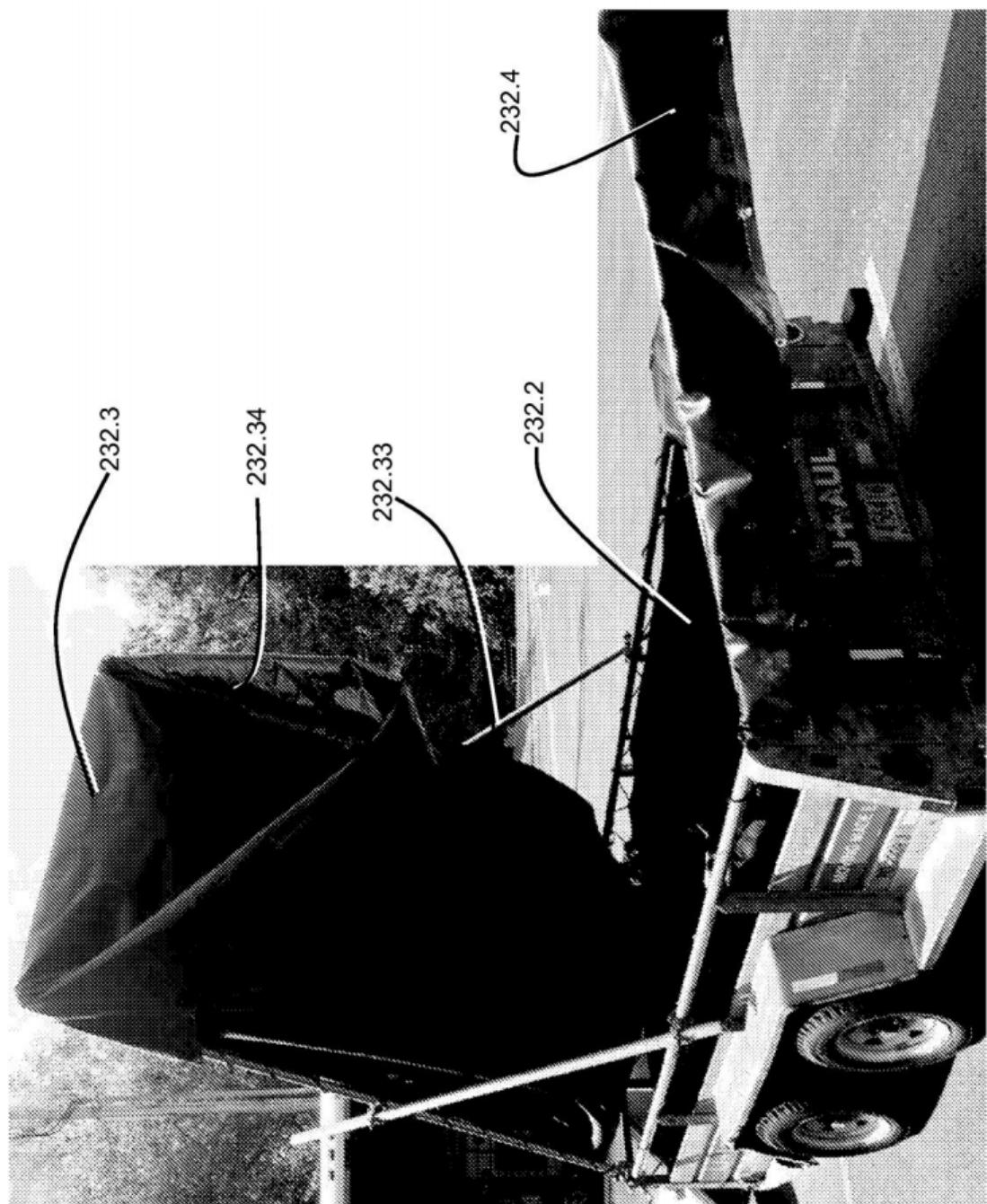


Figura 2-12B

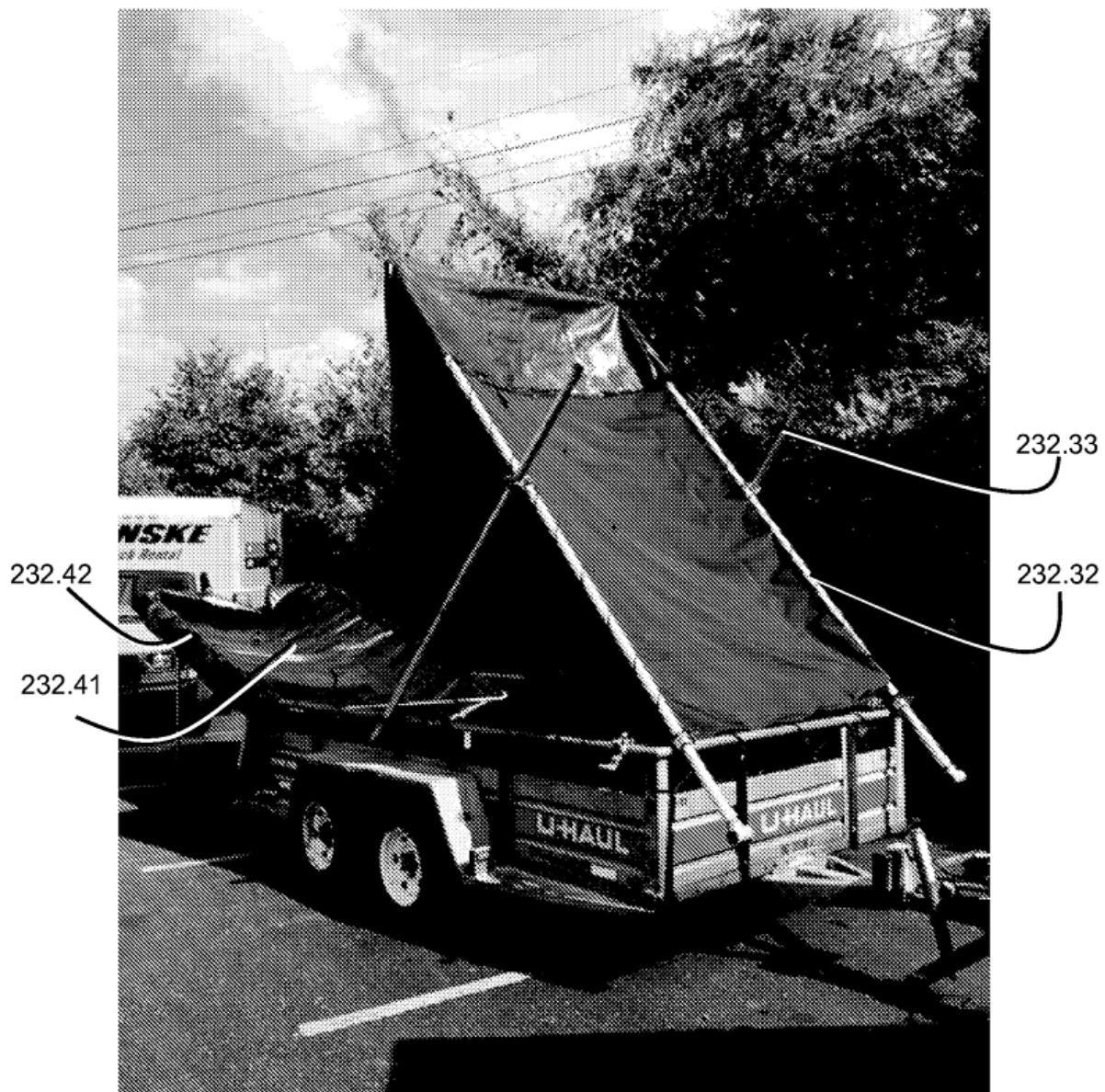


Figura 2-12C