

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 389 929**

(51) Int. Cl.:

F16J 15/16

(2006.01)

F16J 15/18

(2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **09768469 .0**

(96) Fecha de presentación: **08.12.2009**

(97) Número de publicación de la solicitud: **2356355**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **17.08.2011**

(54)

Título: **Sellos de parada activados térmicamente para árboles giratorios**

(30)

Prioridad:

10.12.2008 US 121207 P

07.12.2009 US 631888

(73)

Titular/es:

WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC

(100.0%)

1000 Westinghouse Drive

Cranberry Township, Pennsylvania 16066, US

(45)

Fecha de publicación de la mención BOPI:
05.11.2012

(72)

Inventor/es:

HOWARD, BRUCE;
HODGSON, JUDITH;
TALLOS, NICK;
QUINTY, GLENN;
JANOCKO, DAVID y
BICE, CHARLES

(74)

Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

(45)

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
05.11.2012

ES 2 389 929 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

Sellos de parada activados térmicamente para árboles giratorios

Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere en general a sellos de parada de árboles giratorios y, más en particular, a un sello de parada accionado térmicamente para una bomba centrífuga de líquidos.

2. Descripción de la técnica relacionada

En las centrales eléctricas nucleares con agua a presión se usa un sistema refrigerante del reactor para transportar calor del núcleo del reactor a generadores de vapor para la producción de vapor. El vapor se usa luego para impulsar un generador de turbinas para la producción de trabajo útil. El sistema refrigerante del reactor incluye una pluralidad de circuitos refrigerantes separados, cada uno de los cuales está conectado al núcleo del reactor y contiene un generador de vapor y una bomba de refrigerante del reactor.

Típicamente, la bomba del refrigerante del reactor es una bomba centrífuga vertical de una sola etapa diseñada para mover grandes volúmenes de refrigerante del reactor a temperaturas y presiones elevadas, por ejemplo 288°C y 16 MPa. La bomba incluye, básicamente, tres secciones generales desde su parte inferior a la superior: las secciones hidráulica, de sello del árbol y de motor. La sección hidráulica inferior incluye un impulsor montado en el extremo inferior del árbol de la bomba, que es operable dentro de la carcasa de la bomba para bombejar refrigerante del reactor por el respectivo circuito. La sección superior de motor incluye un motor que está acoplado para impulsar el eje de la bomba. La sección central de sello del árbol incluye tres conjuntos de sellado en tandem: los conjuntos de sellado primario inferior (sello número 1), secundario central y terciario superior. Los conjuntos de sellado están situados de forma concéntrica con respecto al árbol de la bomba y cerca del extremo superior del mismo, y su propósito combinado es permitir una fuga mínima, a lo largo del árbol de la bomba, de refrigerante del reactor a la atmósfera del recinto de contención durante condiciones operativas normales. En las patentes estadounidenses n°s 3.522.948, 3.529.838, 3.632.117, 3.720.222 y 4.275.891 se describen ejemplos representativos de conjuntos de sellado de árboles de bombas conocidos en la técnica anterior.

En el documento WO2007/047 104 A1 se encuentra otro ejemplo de la técnica anterior. La porción de delimitación previa de la reivindicación 1 se basa en ese documento.

Los conjuntos de sellado del árbol de la bomba que sellan mecánicamente la superficie de contacto entre el límite estacionario de presión de la bomba y el árbol giratorio deben ser capaces de contener la elevada presión del sistema (aproximadamente 15,51 MPa) sin fugas excesivas. Se usa la disposición en tandem de tres conjuntos de sellos para descomponer la presión en etapas. Estos tres conjuntos mecánicos de sellos de la bomba son sellos de fuga controlada que, en operación, permiten una cantidad mínima de fuga controlada en cada etapa a la vez que evitan una fuga excesiva de refrigerante del reactor desde el sistema primario de refrigeración a las respectivas aberturas de la tubería de recogida de fugas de los sellos.

35 Los conjuntos de sellado de la bomba son mantenidos normalmente a temperaturas muy por debajo de las del sistema primario de refrigeración, ya sea mediante la inyección de fluido frío en los conjuntos de sellado o mediante el uso de un intercambiador de calor que enfrie el fluido primario antes de que alcance los conjuntos de sellado. El fallo teorizado de estos sistemas puede exponer a los conjuntos de sellado a altas temperaturas que probablemente hagan que la fuga controlada de los conjuntos de sellado aumente drásticamente. Cuando la causa de la pérdida de todo el refrigerante del combustible se debe a la pérdida de toda la corriente CA, la tubería de recogida de fugas no tiene ningún medio para regresar al sistema de refrigerante sin electricidad para alimentar las bombas de aporte. La fuga controlada sin el medio de aporte podría conducir hipotéticamente a que el refrigerante del reactor dejara al descubierto el núcleo del reactor y al subsiguiente deterioro del núcleo.

45 En consecuencia, existe la necesidad de una manera efectiva de dar mayor seguridad a los conjuntos estándar de sellado en el caso de una pérdida simultánea de toda la refrigeración del combustible y del bombeo de aporte. Además, tal sello de apoyo debería ser operable, preferentemente, tras la pérdida de corriente u otra causa de la pérdida de la capacidad de bombeo de aporte para sellar sustancialmente el árbol contra fugas.

Resumen de la invención

50 Se logran los anteriores objetivos, según la presente invención, mediante un sello de parada accionado térmicamente para un árbol de velocidad reducida o equipos de rotación detenidos, como una bomba, un compresor o similar, que estén diseñados para restringir la fuga normal de refrigerante a través de un sello del árbol. El sello de parada de la presente invención es útil para sellar cualquier equipo que tenga una zona anular de flujo estrecho entre su árbol y su alojamiento. El sello de parada fue diseñado para sellar una bomba centrífuga, tal como una bomba de refrigerante de reactor de un reactor nuclear de agua a presión. La Figura 2 ilustra una bomba del

refrigerante del reactor (RCP) del tipo empleado por la Westinghouse Electric Company LLC para hacer circular agua a alta temperatura a presiones elevadas en el circuito primario de un reactor nuclear de agua a presión.

El sello de parada se caracteriza por un "anillo partido" que está diseñado para (i) rodear el árbol con una zona anular entre ambos durante la operación normal y para (ii) contraerse contra el árbol cuando el árbol desciende por debajo de una velocidad predeterminada o deja de girar. El anillo partido tiene extremos opuestos que se mantienen en una relación separada por medio de un separador cuando el árbol gira durante la operación normal en línea. Cuando el árbol disminuye su velocidad o deja de girar y se eleva la temperatura del alojamiento, se extrae el separador de los extremos opuestos del anillo partido y el anillo partido se contrae contra el árbol al aproximarse entre sí los extremos opuestos del anillo partido, lo que obstruye una porción sustancial de la fuga del refrigerante a través de la zona anular de flujo. En una realización, el separador está formado de un material fundible. En una segunda realización, el separador es traccionado del anillo partido por un dispositivo de accionamiento pasivo.

Preferentemente, el sello de parada también tiene un anillo polimérico flexible de cierre que es empujado contra el árbol por un aumento de presión en el alojamiento cuando el anillo partido obtura la fuga de refrigerante a través de la zona anular. En una realización adicional, la redondez de la zona anular del anillo mejora cuando el anillo es mantenido en la posición abierta por el engrosamiento de una porción radial de la circunferencia del anillo aproximadamente a 180° desde el corte.

Breve descripción de los dibujos

Puede lograrse una comprensión adicional de la invención a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferentes cuando es leída en unión con los dibujos adjuntos, en los que:

- 20 la Figura 1 es una representación esquemática de un circuito de refrigeración de un sistema convencional de refrigeración de un reactor nuclear, que incluye un generador de vapor y una bomba de refrigerante del reactor conectados en serie con el reactor en un sistema de circuito cerrado;
- 25 la Figura 2 es una vista en perspectiva en corte de la sección de sellado del árbol de una bomba del refrigerante del reactor que ilustra en sección transversal el alojamiento de los sellos y los conjuntos de sellos primario inferior, secundario central y terciario superior, que están dispuestos dentro del alojamiento de los sellos y rodean el árbol de la bomba;
- 30 la Figura 3 es una vista en corte transversal ampliada de una porción del alojamiento de los sellos y de los conjuntos de sellos de la bomba del refrigerante del reactor de la Figura 2;
- 35 la Figura 4 es una vista en corte de una disposición de sellos de árbol que muestra una vista ampliada del sello primario inferior mostrado en las Figuras 2 y 3 al que la presente invención puede ser aplicada;
- 40 la Figura 5 es una porción ampliada del inserto del sello primario mostrado en la Figura 4, con una porción del árbol de la bomba y el sello de parada de la presente invención rayados, empleando el sello de parada un separador del anillo partido que está diseñado para descomponerse por encima de las temperaturas operativas normales;
- 45 la Figura 6 es una representación gráfica de datos tomados durante un ensayo de parada del sello de parada de la presente invención en un entorno que simula un reactor nuclear de agua a presión;
- 50 la Figura 7 es una vista similar a la de la Figura 5 que emplea una segunda realización del sello de parada de la presente invención que emplea un pistón mecánico accionado térmicamente para extraer el separador del anillo partido;
- la Figura 8 es una vista ampliada de la disposición del pistón mostrada esquemáticamente en la Figura 7 con el pistón en la posición completamente extendida, con el separador insertado entre los extremos abiertos del anillo partido de la presente invención;
- la Figura 9 es una vista en corte que muestra la disposición del pistón de la Figura 8 antes de un incidente de activación en el que el separador es extraído de entre los extremos abiertos del anillo partido;
- la Figura 10 es una representación gráfica de datos tomados durante un ensayo de parada del sello de parada de la presente invención en un entorno que simula un reactor nuclear de agua a presión, que muestra que el sello de parada efectivamente obtura el flujo de refrigerante en menos de aproximadamente 45 segundos después de que se alcanzara la temperatura de activación; y
- la Figura 11 es una vista en planta de un anillo partido mejorado para el sello de parada de la presente invención.

Descripción de la realización preferente

En la siguiente descripción, los números de referencia semejantes designan partes semejantes o correspondientes en la totalidad de las distintas vistas. Además, en la siguiente descripción, debería entenderse que expresiones tales como "hacia delante", "hacia atrás", "izquierda", "derecha", "hacia arriba", "hacia abajo" y similares son expresiones de conveniencia y no deben ser interpretadas como expresiones limitantes.

Bomba de refrigerante de reactor de la técnica anterior

Con referencia a la Figura 1, se muestra una representación esquemática de uno de una pluralidad de circuitos 10 de refrigeración de un sistema convencional de refrigerante de un reactor nuclear. El circuito 10 de refrigeración

incluye un generador 12 de vapor y una bomba 14 de refrigerante del reactor conectados en serie con un reactor nuclear 16 en un sistema de circuito cerrado de refrigerante. El generador 12 de vapor incluye tubos primarios 18 de intercambio de calor que se comunican con cámaras 20, 22 de entrada y de salida del generador 12 de vapor. La cámara 20 de entrada del generador 12 de vapor está conectada con comunicación de fluido con la salida del núcleo 16 del reactor para recibir del mismo refrigerante caliente a lo largo del circuito hidráulico 44, comúnmente denominado tramo caliente del sistema de circuito cerrado. La cámara 22 de salida del generador 12 de vapor está conectada con comunicación de fluido con un lado de succión de entrada de la bomba 14 del refrigerante del reactor a lo largo del circuito hidráulico 26 del sistema de circuito cerrado. El lado de presión de salida de la bomba 14 del refrigerante del reactor está conectado con comunicación de flujo con la entrada del núcleo 16 del reactor para suministrar al mismo refrigerante relativamente frío a lo largo del circuito hidráulico 28 del tramo frío del sistema de circuito cerrado.

La bomba 14 del refrigerante bombea el refrigerante a alta presión en el sistema de circuito cerrado. En particular, el refrigerante caliente que emana del reactor 16 es llevado a la cámara 20 de entrada del generador 12 de vapor y a los tubos 18 de intercambio de calor en comunicación con la misma. Mientras está en los tubos 18 de intercambio de calor, el refrigerante caliente fluye en relaciones de intercambio térmico con agua fría de alimentación suministrada al generador 12 de vapor mediante medios convencionales (no mostrados). El agua de alimentación es calentada y porciones de la misma se convierten en vapor para su uso en accionamiento de un generador de turbina (no mostrado). A continuación, se hace que el refrigerante, cuya temperatura se ha reducido por el intercambio de calor, vuelva a circular hacia el reactor 16 por medio de la bomba 14 del refrigerante.

La bomba 14 del refrigerante del reactor debe ser capaz de mover grandes volúmenes del refrigerante del reactor a temperaturas y presiones elevadas en el sistema de circuito cerrado. Aunque, después del intercambio de calor, la temperatura del refrigerante que fluye desde el generador 12 de vapor a través de la bomba 14 se ha reducido sustancialmente por debajo de la temperatura del refrigerante que fluye hacia el generador 12 de vapor desde el reactor 16 antes del intercambio de calor, su temperatura sigue siendo relativamente alta, estando típicamente a aproximadamente 288°C. Para mantener el refrigerante en estado líquido a estas temperaturas relativamente elevadas, el sistema es presurizado por medio de bombas de inyección (no mostradas) y opera a presiones que son de aproximadamente 15,51 MPaa.

Según se ve en las Figuras 2 y 3, la bomba 14 de la técnica anterior del refrigerante del reactor incluye generalmente un alojamiento 30 de bomba que termina por un extremo en un alojamiento 32 de los sellos. La bomba también incluye un árbol 34 de bomba que se extiende en el centro del alojamiento 30 de la bomba y que está sellado y montado de forma rotatoria dentro del alojamiento 32 de los sellos. Aunque no se muestra, la porción inferior del árbol 34 de la bomba está conectada a un impulsor, mientras que la porción superior del mismo está conectada a un motor eléctrico de gran potencia de tipo inductivo. Cuando el motor hace girar el árbol 34, el impulsor del interior 36 del alojamiento 30 de la bomba hace que el refrigerante presurizado del reactor fluya por el sistema del refrigerante del reactor. Este refrigerante presurizado aplica una carga hidrostática dirigida hacia arriba sobre el árbol 34, dado que la porción exterior del alojamiento 32 de los sellos está rodeada por la atmósfera del medio ambiente.

Para que el árbol 34 de la bomba pueda rotar libremente dentro del alojamiento 32 de los sellos mientras se mantiene el límite de 15,51 MPaa de presión entre el interior 36 del alojamiento de la bomba y el exterior del alojamiento 32 de la bomba, se proporcionan conjuntos 38, 40, 42 de sellos primario inferior, secundario central y terciario superior, dispuestos en tandem, en las posiciones ilustradas en las Figuras 2 y 3 en torno al árbol 34 de la bomba dentro del alojamiento 32 de los sellos. El conjunto 38 del sello primario inferior, que lleva a cabo la mayor parte del sellado de la presión (aproximadamente 15,17 MPa) es del tipo hidrostático sin contacto, mientras que los conjuntos 40, 42 de sellos secundario central y terciario superior son de tipo mecánico de contacto o rozamiento.

Cada uno de los conjuntos 38, 40, 42 de sellos de la bomba 14 incluye generalmente un respectivo rodete anular 44, 46, 48 que está montado en el árbol 34 de la bomba para su rotación con el mismo y un respectivo anillo de cierre 50, 52, 54 que está montado de forma estacionaria dentro del alojamiento 32 de los sellos. Los respectivos rodetes 44, 46, 48 y los anillos 50, 52, 54 de cierre tienen superficies terminales superior e inferior 56, 58, 60 y 62, 64, 66 que están enfrentadas entre sí. Normalmente, las superficies opuestas 56, 62 del rodete 44 y del anillo 50 de cierre del conjunto 38 de sellado primario inferior no hacen contacto entre sí, sino que, en vez de ello, normalmente fluye entre ellas una película de fluido. Por otra parte, las superficies opuestas 58, 64 y 60, 66 de los rodetes y de los anillos 46, 52 y 48, 54 de cierre de los conjuntos 40 y 42 de sellado secundario central y terciario superior normalmente hacen contacto y se rozan entre sí.

Dado que el conjunto 38 de sellado primario opera normalmente en un modo en el que está montado sobre una película, debe tomarse alguna medida para ocuparse del fluido de refrigeración que "se escapa" al espacio anular entre el alojamiento 32 de los sellos y el árbol 34 montado de forma giratoria en el mismo. En consecuencia, el alojamiento 32 de los sellos incluye una abertura primaria 60 de la tubería de recogida de fugas, mientras que las aberturas 71 de la tubería de recogida de fugas acomodan las tuberías de recogida de fugas de fluido refrigerante de los conjuntos 40, 42 de sellado secundario y terciario.

La Figura 4 es una sección transversal del alojamiento de los sellos en la zona del sello número 1 o primario inferior del tipo ilustrado en las Figuras 2 y 3 y proporciona una mejor comprensión de la operación del sello número 1 y de cómo se relaciona con la presente invención. La estructura mostrada comprende un alojamiento 32 que tiene una pared anular 33 adaptada para formar una cámara 35 de presión dentro del alojamiento 32; un árbol 34 montado de forma rotatoria dentro del alojamiento 32; un conjunto 44 de rodetes de sellado; y un conjunto 50 de anillos de cierre dispuesto dentro del alojamiento 32. Tal como se ha mencionado previamente, el árbol 34 puede ser impulsado por un motor adecuado (no mostrado) y utilizado para accionar el impulsor de una bomba centrífuga (no mostrada) que hacer circular el fluido refrigerante en el sistema presurizado. Puede suministrarse una agua en inyección a la cámara 35 a una presión mayor que la desarrollada por la bomba. El conjunto 44 de rodetes comprende un apoyo anular 70 y una placa anular 72 de cierre. De modo similar, el conjunto 50 de anillos de cierre comprende un apoyo 74 y una placa frontal anular 76.

El apoyo 70 gira con el árbol 34, dado que está montado sobre un soporte anular 78 que engarza con un saliente 80 del árbol 34 y está fijado al árbol por medio de una camisa 82 que está ensamblada sobre el árbol 34 entre el árbol y el tramo 84 del soporte 78 que se extiende hacia arriba, que generalmente tiene una sección transversal con forma de L. Debería apreciarse que, aunque se está describiendo la invención aplicada a una bomba que emplea una camisa sobre el árbol de la bomba, la invención puede ser empleada igualmente también en árboles de bomba que no empleen camisas. Un saliente 86 de apoyo 70 descansa en el extremo superior del tramo 84, y un saliente 88 de la camisa 82 retiene al apoyo 70 sobre el soporte 84. Se empuja un pasador 90 en un entrante 92 de la camisa 82 y engarza con una ranura axial 94 del apoyo 70. Con una tuerca (no mostrada), se ejerce una fuerza de fijación axial sobre la camisa 84 y el soporte, lo que hace que la camisa 82 y el soporte 78 giren con el árbol 34. El pasador 90, a su vez, hace que el apoyo 70 gire con la camisa 82, que rota con el árbol 34. Se proporcionan juntas tóricas 96 y 98 entre el soporte 78 y el árbol 34 y el apoyo 70, respectivamente. También se proporciona una junta tórica 100 en la superficie 102 de contacto entre el apoyo 70 y la placa frontal 72.

La placa frontal 72 está compuesta de un material resistente a la corrosión y la erosión que tiene sustancialmente el mismo coeficiente de dilatación térmica que el material del que está compuesto el apoyo 70, y el apoyo 70 tiene un coeficiente de elasticidad elevado. De forma similar, la placa frontal 76 está compuesta de un material resistente a la corrosión y la erosión que tiene sustancialmente el mismo coeficiente de dilatación térmica que el material del apoyo 74, que tiene un coeficiente de elasticidad elevado. Ejemplos de materiales adecuados son los carburos y las cerámicas. Se proporciona una junta tórica 104 en la superficie 106 de contacto entre el apoyo 74 y la placa frontal 76.

El apoyo 74 está montado de forma amovible en un tramo 108 de un inserto 110 de anillo de cierre que se extiende hacia abajo que generalmente tiene una sección transversal con forma de L. El inserto 110 es retenido en el alojamiento 32 por tornillos 112 de casquete. Se proporciona una junta tórica 114 en la superficie de contacto entre el inserto 110 y el alojamiento 32. De forma similar, se proporciona una junta tórica 118 en la superficie de contacto entre el apoyo 74 y el tramo 108 del inserto 110. Se evita el movimiento rotatorio del apoyo 74 con el pasador 122, que está presionado al interior del inserto 110. El pasador 122 se extiende dentro de un pozo 124 en el apoyo 74 con suficiente holgura entre la pared del pozo 124 y el pasador 122 para permitir el movimiento axial del apoyo 74 pero limitar el movimiento rotativo del apoyo 74.

La placa frontal 76 está unida al apoyo 74 mediante medios 128 de fijación, que incluyen un anillo 130 de retención, un anillo abrazadera 132, un anillo 134 de seguridad, una pluralidad de tornillos 136 de casquete y resortes Belleville 138 montados en los tornillos 136 de casquete entre el anillo 134 de seguridad y el anillo abrazadera 132. Los tornillos 136 de casquete se extienden atravesando el anillo 130 de retención, el anillo abrazadera 132, los resortes Belleville 138 y se enroscan en los anillos 134 de seguridad. La superficie 106 de contacto del apoyo 74 tiene un entrante en 140 para proporcionar un punto anular 142 de apoyo en la superficie de contacto en un diámetro externo que es menor que el diámetro externo de la superficie de contacto de la placa frontal 76. El anillo 130 de retención tiene un reborde que se extiende hacia el interior con una cresta 144 que engarza en la porción 146 de la placa frontal 76 que se extienda más allá del punto 142 de apoyo. El anillo abrazadera 132 tiene un reborde que se extiende hacia el interior con una cresta 148 que engarza en una cara 150 del apoyo 74. Así, cuando los tornillos 136 de casquete son apretados para acercar entre sí el anillo abrazadera 132 y el anillo 130 de retención, se produce una fuerza que ejerce un efecto de voladizo sobre la placa frontal 76 en torno al punto 142 de apoyo. Durante la acción de fijación, los resortes Belleville 138 son comprimidos parcialmente y la placa frontal 76 es deformada por la fuerza de fijación.

La placa frontal 72 está unida al apoyo 70 mediante un medio 150 de fijación de manera similar a la descrita con referencia a la placa frontal 76. Sin embargo, el punto 152 de apoyo en la superficie 102 de contacto del apoyo 70 está situado más cerca del diámetro externo de la placa frontal 72 de lo que lo está el punto 142 de apoyo en el apoyo 74. Así, la fuerza de fijación en la placa frontal 72 no produce tanta deformación de la placa frontal en torno al punto 152 de apoyo como la producida en la placa frontal 76. Si se desea, los puntos 142 y 152 de apoyo pueden ser situados en los mismos emplazamientos con respecto a sus correspondientes placas frontales.

Según se ha descrito previamente, el conjunto 50 de anillos de cierre está montado para permitir un movimiento axial limitado con respecto al árbol 34 y al conjunto 44 de rodetes de sellado. Además, el movimiento rotativo del

conjunto 50 de anillos de cierre está limitado por el pasador 122 antirrotación, que encaja con holgura en el pozo 124 en el apoyo 74 del anillo de cierre. Una cara 154 del sello sobre la placa frontal 76 es empujada por gravedad hacia la cara 156 del sello opuesta sobre la placa frontal 72.

En la operación de la bomba accionada por el árbol 34, las superficies 158 y 160 del apoyo 74 del anillo de cierre están sometidas a toda la presión de la cámara 35 de alta presión. Resulta deseable proporcionar una barrera de presión entre la cámara 35 de alta presión y una región anular 162 de baja presión adyacente a la camisa 82. El conjunto 50 de anillos de cierre es utilizado como el medio de barrera de presión, pero permite una cantidad controlada de flujo de fuga de fluido a la región 162 desde la cámara 35 de presión a través de un intersticio 164 de cierre proporcionado entre las superficies opuestas 154 y 156 de cierre de las placas 76 y 72 de cierre, respectivamente.

Durante la operación, se mantiene una posición de centrado o equilibrio del conjunto 50 axialmente amovible de anillos de cierre según la presión de las caras opuestas del conjunto de anillos de cierre. El espesor del fluido en el intersticio 164 y, en consecuencia, la cantidad de fluido de fuga a través del intersticio 164 están determinados por la configuración del intersticio 164.

Para lograr una recuperación automática de la posición relativa del conjunto 50 de anillos de cierre y del conjunto 44 de rodetes de sellado tras una variación en el intersticio 164 de cierre, se proporciona un circuito hidráulico de fluido de grosor decreciente desde un borde o extremidad 166 de alta presión hasta una posición entre los extremos de las caras de los sellos. Más específicamente, en la estructura ilustrada, el circuito hidráulico de fluido de grosor decreciente se extiende entre el borde exterior 166 y un círculo concéntrico intermedio situado en 168 sobre la cara 154 del sello.

Tal como se muestra en la presente estructura, el grosor decreciente del circuito hidráulico está formado por el ahusamiento de la superficie 154 alejándose ligeramente de la superficie opuesta 156 de la placa frontal 72 entre el círculo 168 y el borde exterior 166 de la placa frontal 76. El ángulo entre las superficies 154 y 156 mostrado en el dibujo es exagerado. Esta configuración o estructura se denomina sello de caras ahusadas. La patente estadounidense 3.347.552, de Erling Frisch, expedida el 17 de octubre 1967, describe por completo la operación de un sello de este tipo.

Sello de parada de la presente invención

Según la presente invención, tal como se muestra en las Figuras 5 y 7-9, se proporciona ventajosamente un sello adicional 170 en la bomba 14 como seguridad de emergencia o dispositivo de parada que es accionable para evitar una fuga excesiva a lo largo del árbol 34 entre él y los conjuntos 38, 40, 42 de sellos de la bomba en caso de una pérdida de refrigeración de los sellos. Tal como se muestra en la Figura 5, el sello 170 de parada está situado en un surco mecanizado en la abertura anular en el inserto 110 del sello primario 38 número 1. El sello de parada se caracteriza por un "anillo partido" 172 que está diseñado para (i) rodear el árbol 34 con una zona anular 174 entre ambos durante la operación normal y para (ii) contraerse contra el árbol 34 cuando el árbol disminuye su velocidad significativamente o deja de girar después de una pérdida de refrigeración del sello. El anillo partido 172 es un miembro de anillo discontinuo de una sola pieza que está partido axialmente y los extremos opuestos son mantenidos en una relación separada por medio de un separador 176 durante la operación normal de la bomba. En la Figura 5, los extremos opuestos del anillo partido 172 están mecanizados en una configuración machihembrada para que la parte macho pueda montarse en la parte hembra cuando los extremos del anillo partido se solapen. En otra realización los extremos opuestos pueden terminar con forma de topes o tener una junta con inglete a medio hierro para que los extremos se solapen. Se muestra el separador 176 en el intersticio para evitar que los extremos opuestos del separador 176 se ciernen contra el árbol 34 para mantener la zona anular 174 abierta para una fuga controlada durante la operación. Según la presente invención, el sello de parada se activa cuando la temperatura del sello se eleva como consecuencia de la pérdida de refrigeración del sello y, preferentemente, cuando la rotación del sello de la bomba disminuye o se detiene. El separador es sensible al aumento de temperatura (ya sea porque el árbol ha disminuido significativamente su velocidad o ha dejado de girar o por cualquier otra razón) para ser extraído de los extremos opuestos del anillo partido 172. Esto hace que los extremos opuestos del anillo partido se contraigan contra el árbol 34 al aproximarse entre sí los extremos opuestos del anillo partido, lo que obstruye la fuga de refrigerante a través de la zona anular 174 de flujo. Preferentemente, el anillo partido y el árbol (o la camisa del árbol cuando se emplea una camisa sobre el árbol) están construidos de materiales resistentes al roce para que, si se acciona sobre un árbol en rotación, no se creen bolas de rozadura que, en caso contrario, harían de cuña para abrir una vía de fuga entre la superficie de contacto del sello. Se ha demostrado que funcionan bien materiales tales como acero inoxidable 17-4 tanto para el anillo partido como para el árbol. En una realización, el separador está formado a partir de un material descomponible, por ejemplo fundible, que es sensible al aumento de temperatura, disolviéndose o perdiendo significativamente su fuerza compresiva. En una segunda realización, el separador es traccionado del anillo partido 172 por medio de un dispositivo accionado de forma pasiva. En cualquiera de las dos realizaciones, se sitúa un anillo polimérico flexible 178 de cierre en torno al árbol 34 contra el anillo partido 172 entre el anillo partido y un anillo resistente 180 de cierre de retención. El anillo polimérico flexible 178 de cierre es empujado contra el árbol por un aumento de presión en el alojamiento cuando el anillo partido restringe la fuga del refrigerante a través de la zona anular 174, formando así un cierre estanco.

La Figura 5 representa un sello 170 de parada según la primera realización de la presente invención instalado en la bomba del refrigerante del reactor de la Figura 4. El sello de parada de la Figura 5 está diseñado para activarse después de una pérdida de la refrigeración de los sellos y sellar de forma estanca la fuga cuando el árbol 34 de la bomba disminuye su velocidad o deja de girar. El sello de parada está situado dentro del alojamiento de la bomba rodeando el árbol 34. En el caso del tipo de bomba del refrigerante del reactor ilustrada en las Figuras 2-4, el inserto del sello nº 1 puede ser modificado rebajando por mecanizado una porción del diámetro interno en el reborde superior. Hasta su activación, el sello 170 de parada está contenido sustancialmente por completo dentro del espacio una vez acaparado por el inserto nº 1 antes de la modificación, dejando así sustancialmente sin alteración la zona anular 174 entre él y el árbol 34. De esta manera, el flujo de refrigerante a través de la zona anular 174 a lo largo del árbol 34 no se ve sustancialmente impedido durante la operación normal del equipo en rotación.

La porción de activación del sello 170 de parada de la Figura 5 está constituida por un separador 176 con temperatura de fusión reducida que mantiene abiertos los extremos opuestos de un anillo partido 172. Por ejemplo, en una bomba de refrigerante de reactor puede usarse con ventaja un polietileno lineal de baja densidad con un índice de fusión de al menos 25 g/10 min a 190°C con 2,16 kg (usando el ensayo ASTM D1238) y con un punto de transición vítreo de aproximadamente 103°C y una temperatura de fusión de aproximadamente 124°C. Este polímero garantizará que el sello 170 de parada no actuará durante la operación normal. Cuando el separador 176 se ablande, el anillo partido 172 empezará a cerrarse, contrayéndose en torno al árbol 34, mientras que también permanece retenido en el inserto modificado del sello nº 1. La caída de presión creada en el sello por la interrupción por parte del anillo partido 172 del flujo de refrigerante que atraviesa la zona anular 174 da como resultado que la presión del sistema actúe sobre el anillo partido 172, que se cierra aún más hasta que el separador es extrudido de entre los extremos opuestos del anillo partido 172. Con el separador 176 eliminado, el anillo partido 172 puede cerrarse lo bastante como para hacer que el anillo primario 178 de cierre empiece a cerrarse. El anillo partido 172 se asienta sobre un resorte ondulado 182 que fuerza al anillo partido 172 hacia arriba contra el anillo primario 178 de cierre para garantizar un contacto inicial de sellado para que la caída de presión en el anillo partido 172 actúe 25 también sobre el anillo primario 178 de cierre. El resorte ondulado, que es una tira ondulada resiliente de metal, mantiene la fuerza de compresión incluso cuando el sello de parada actúa sobre un árbol en rotación. El resorte ondulado puede girar con el anillo partido o se puede hacer que el anillo partido gire sobre su cara sin romperse. El resorte ondulado proporcionará suficiente fuerza de resorte después de que el árbol se detenga para permitir que se establezca un cierre estanco aunque el anillo partido o el anillo polimérico estuvieran gastados. El anillo primario 178 de cierre es un anillo resistente de un material polimérico flexible que, cuando sufre la acción de una caída de presión muy grande inducida por el anillo partido 172, se contrae en torno al árbol 34 y hacia arriba contra un anillo 180 de retención. Al contraerse el anillo primario 178 de cierre, crea una mayor caída de presión, la cual, a su vez, contrae adicionalmente al anillo 178 de forma más apretada en torno al árbol 34 y hacia arriba contra el anillo 180 de retención. Esta caída de presión también empuja al anillo partido 172 y al anillo 180 de retención hacia arriba, 30 garantizando un cierre estanco entre todas las superficies de sellado. Se ha establecido que, preferentemente, el diámetro interno del anillo 180 de retención está limitado aproximadamente al que forma un máximo de un intersticio de extrusión de 0,17 cm entre el anillo de retención y la camisa y un mínimo de un intersticio de extrusión de 0,008 cm con base en una camisa de 21,5 cm de diámetro usando un anillo polimérico 178 de PEEK de cierre, tal como se describe posteriormente en el presente documento, y limitando la caída de presión en el anillo polimérico a 35 aproximadamente 1,38 kPaa. Este intersticio mínimo establece el menor tamaño de materias extrañas que pudieran atravesar el sello. De manera deseable, la parte inferior del anillo de retención que hace contacto con el árbol tiene un coeficiente de fricción de aproximadamente 0,2 o menos, y preferentemente entre 0,12 y 0,2.

Un diseño alternativo sin el uso del anillo polimérico 178, usando únicamente el anillo partido 172 para cerrarse contra el árbol 34, produce un sello con menor adaptabilidad y, por lo tanto, mayor fuga. El anillo polimérico 178 puede adaptarse a la pérdida de redondez, a arañazos, mellas, suciedad, aspereza y otras anomalías de la superficie a las que no podría adaptarse un anillo partido 172. Con el cierre estanco a las fugas proporcionado por el anillo polimérico 178, no hay riesgo alguno de corte de alambres por una fuga de vapor, lo que podrían acabar arruinando las superficies de cierre y provocar una fuga significativa. Otra ventaja del polímero es su capacidad de deslizarse axialmente por el árbol y de desplazarse con él radialmente y seguir manteniendo un cierre estanco. Esto se debe al bajo coeficiente de fricción y al hecho de que es un anillo continuo. Una vez que inicia el cierre, ya no hace falta el anillo partido 172 para que el anillo polimérico 178 se cierre.

El anillo polimérico 178 para la bomba del refrigerante del reactor de las Figuras 2-4 está formado, preferentemente, de un polímero de PEEK (poliéster-éter-cetona) que proporcione un cierre estanco a las fugas a presiones y temperaturas de la bomba del refrigerante del reactor, con la condición de que el anillo partido pueda proporcionar una caída mínima de presión de 2,41 MPa a 149°C. El PEEK tiene una temperatura de transición vítreo de 149°C, la temperatura ideal de funcionamiento para proteger los sellos de la bomba del refrigerante del reactor contra condiciones adversas que no solo pueden aumentar la tasa de fuga, sino que pueden deteriorar los sellos. Que tenga una temperatura de transición vítreo de 149°C significa que el polímero será lo suficientemente flexible para adaptarse en torno al árbol, pero que, pese a ello, seguirá reteniendo la fuerza para resistir las fuerzas de cizalladura que intenten extrudirlo a través de la zona anular. El PEEK también es ideal, porque su temperatura de fusión es superior a 316°C, por ejemplo 342°C, garantizando que el sello mantenga su integridad hasta la máxima temperatura del sistema del refrigerante del reactor a la que es probable que sea expuesta alguna vez el sello (293°C). Además, el PEEK no es notablemente higroscópico, de modo que no se hinchará ni cerrará la zona anular

durante la operación normal. Despues de 9 años de la radiación prevista, el PEEK no se reticulará hasta el extremo de que cambie sus propiedades (temperatura de transición vítreo, temperatura de fusión o resistencia). Con la zona anular estrecha en un sello de la bomba del refrigerante del reactor entre el árbol y el inserto nº 1, un anillo de PEEK de 6,35 mm de grosor puede soportar la totalidad de la presión del sistema del refrigerante del reactor de 16,20 MPa que pudiera verse en el mismo, a 299°C, durante al menos 72 horas y durante al menos 44 horas adicionales en las condiciones de eliminación del calor residual de 177°C y 2,59 MPa. Dado que se requiere una cantidad tan pequeña de PEEK, el anillo primario 178 de cierre y los otros dos anillos 172, 180 que constituyen el sello de parada pueden caber en el volumen permisible para la eliminación del inserto nº 1 dentro del diámetro sin problemas de integridad estructural para el inserto nº 1. Fluidos, temperaturas, presiones y holguras diferentes pueden requerir diferentes polímeros.

En la realización mostrada en la Figura 5, el anillo partido 172 tiene extremos solapados con una junta en inglete. Se proporciona un intersticio suficiente entre los dos extremos como para permitir que los extremos del anillo partido 172 se deslicen mutuamente entre sí para que el anillo 172 se ajuste a diámetros ligeramente diferentes del árbol de la bomba en todos los posibles intervalos de temperatura a los que será expuesto. Con independencia del perfil escogido para los extremos opuestos del anillo partido, debería proporcionarse un intersticio suficiente entre los extremos directamente opuestos del anillo partido para que no se toquen entre sí cuando rodeen el árbol a la temperatura de activación. Sin embargo, el intersticio no debería ser tan grande como para impedir que se genere una presión diferencial significativa cuando se elimine el separador. Este intersticio debe compensar el calentamiento diferencial del anillo partido y del árbol. Así, el anillo partido 172 no sería sensible a las tolerancias del árbol ni a la dilatación térmica. Preferentemente, el diámetro interno del anillo partido 172 es de hasta 0,025 mm del diámetro del árbol que ha de sellarse a la temperatura de accionamiento. Las superficies superior, inferior y el diámetro interno del anillo partido 172 tienen, al menos, un acabado superficial de 16 RMS, siendo RMS una medida de la aspereza del acabado.

Una ventaja de usar un polímero de PEEK es que cuando se elimina la presión del sistema después de la actuación, el polímero de PEEK se retrae del árbol después de hasta ocho horas de cierre estanco a las figuras y puede ser retirado fácilmente por los técnicos. Ventajosamente, el polímero de PEEK no requiere corte ni mecanizado para su eliminación, eliminando con ello la preocupación de residuos de materias extrañas. Si el polímero sella durante más tiempo, permanece contraído, pero es fácilmente eliminado cuando es golpeado ligeramente con un martillo.

La parte superior del anillo 180 de retención puede estar recubierta de un polímero de PEEK para garantizar un cierre que no sea sensible a las tolerancias del alojamiento de los sellos ni a condiciones de las superficies. El anillo 180 de retención puede ser de acero inoxidable de tipo 410 para una aplicación de sello de parada de la bomba del refrigerante del reactor. Los componentes del sello de parada deberían tener los mismos coeficientes de dilatación térmica, o similares, que el inserto nº 1 en el que el anillo 180 de retención es encajado por contracción (el encaje por contracción garantiza que todos los anillos y el resorte permanezcan capturados en el inserto nº 1). Cuando la temperatura se eleva hasta 293°C, con coeficientes de dilatación térmica distintos, el anillo de retención se deformación y no soportaría el anillo 178 de PEEK de forma uniforme, permitiéndole que posiblemente se extrudiera y se rompiera. Preferentemente, la superficie del anillo 180 de retención tiene un acabado de la superficie de 32 RMS y, después de que se instala el sello de parada, está a ras o a nivel con la superficie anular del reborde del inserto nº 1. La Figura 6 representa datos tomados durante un ensayo de parada usando un prototipo de sello de parada de la presente invención en un entorno que simula un reactor nuclear de agua a presión.

La Figura 7 representa una segunda realización preferente del sello 170 de parada de la presente invención que usa un pistón de disparo térmico para traccionar el separador hasta una posición retraída para cerrar el anillo partido en torno al árbol de la bomba. El sello de parada de la Figura 7 está diseñado para activarse después de la pérdida de la refrigeración del sello y cerrarse de forma estanca cuando el árbol 34 de la bomba disminuye de velocidad o deja de rotar. El sello de parada está situado dentro del alojamiento de la bomba, rodeando el árbol 34. En el caso del tipo de bomba del refrigerante del reactor ilustrada en las Figuras 2-4, el inserto 110 del sello nº 1 puede ser modificado rebajando por mecanizado una porción del diámetro interno en el reborde superior. Hasta su activación, el sello 170 de parada está contenido por completo dentro del espacio una vez acaparado por el inserto nº 1 antes de la modificación, dejando así sustancialmente sin alteración la zona anular 174 entre el sello 170 y el árbol 34. Así, el flujo de refrigerante a través de la zona anular a lo largo del árbol no se ve sustancialmente impedido durante la operación normal del equipo en rotación.

La porción de activación del sello 170 de parada de esta realización preferente está constituida por un separador retraible 176 que mantiene abiertos los extremos opuestos de un anillo partido 172. El separador retraible 176 es activado por un dispositivo mecánico 184 sensible al calor, tal como el pistón 186 descrito en el presente documento. Cuando el separador 176 se retrae de los extremos del anillo partido 172, el anillo partido 172 se cierra de golpe, contrayéndose en torno al árbol 34, mientras que también permanece retenido en el inserto modificado 110 del sello nº 1. El anillo partido 172 se asienta sobre un resorte ondulado 182 que fuerza al anillo partido 172 hacia arriba contra el anillo primario 178 de cierre, que empuja contra el anillo 180 de retención. La caída de presión causada por la interrupción del flujo que atraviesa la zona anular 174 también fuerza al anillo partido 172 y al anillo 178 de cierre hacia arriba, garantizando un cierre estanco entre todas las superficies de sellado.

Con la zona anular estrecha 174 en un sello de la bomba del refrigerante del reactor entre el árbol 34 y el inserto 110 nº 1, un anillo partido 172 de 6,35 mm de grosor puede soportar la totalidad de la presión del sistema del refrigerante del reactor de 16,20 MPa que pudiera experimentarse en el mismo, a 289°C y a 299°C, durante al menos 28 horas y durante al menos 44 horas adicionales en las condiciones de eliminación del calor residual de 177°C y 2,59 MPa.

- 5 Dado que es suficiente un anillo partido 172 tan pequeño, el anillo partido 172, el anillo 178 de cierre y el anillo 180 de retención que constituyen el sello 170 de parada pueden caber en el volumen permisible para la eliminación del inserto nº 1 dentro del diámetro sin problemas de integridad estructural para el inserto 110 nº 1. El separador retraíble 176 es retraído de los extremos del anillo partido 172 mediante un dispositivo mecánico (o accionador) 184 sensible al calor. Las Figuras 7 y 8 representan las posiciones relativas del separador 176 y el accionador 184 durante la operación normal. Preferentemente, el eje del accionador 184 está situado de forma perpendicular con respecto al del árbol 34 y está adentrado en el alojamiento de la bomba. Para una bomba de refrigerante del reactor, el accionador 184 está situado en un orificio practicado en el reborde del inserto 110 nº 1 en el que una porción del diámetro interior ha sido eliminada para los anillos de sellado de parada.

15 La Figura 9 representa el separador 176 y el conjunto del accionador 184 antes un incidente de accionamiento. El accionador 184, tal como se muestra en las Figuras 7, 8 y 9, comprende un pistón envasado 186 para contener un separador 176 cargado por resorte. Dentro del envase hay una cera 188 que cambia de fase a la temperatura deseada de activación, por ejemplo 138°C para las bombas de refrigerante de reactor, tal como se explica adicionalmente en el presente documento. Este cambio de fase da como resultado un aumento sustancial en el volumen de la cera 188. Por ejemplo, una cera como el octacosano aumentará su volumen en aproximadamente un 17%. Cuando la cera 188 cambia de fase y se expande, empuja una cabeza 190 de pistón alejándola del árbol 34 de la bomba. Cuando la cabeza 190 del pistón se mueve, las bolas 192, que fueron mantenidas una vez en su sitio por la cabeza 190, se quitarán del medio y permitirán que se expanda un muelle comprimido 194 que vuelve a empujar al émbolo 196 que está conectado con el separador 176. Cuando el muelle 194 se expande, empuja al émbolo 196, que tracciona consigo al separador 176, retrayendo así al separador 176 de entre los extremos del anillo partido. El separador 176 puede estar recubierto de carburo de cromo para garantizar que los productos de la corrosión no aumentan la fuerza de rozamiento que el muelle 194 debe superar para retraer el separador 176 del anillo partido 172. La cera 188 del accionador térmico puede ser formulada para que cambie de estado a 129-138°C para activar el sello de parada. Por encima de 139°C, el sello de la bomba del refrigerante del reactor experimenta un flujo mixto (vapor y agua) que puede ser muy inestable e impredecible. La temperatura de alarma para la tubería de recogida de fugas de los sellos es de 82-88°C y la temperatura de parada es de 107-113°C. Usando una temperatura de activación entre 127 y 138°C, se proporciona la máxima cantidad de margen mientras se protege de condiciones potencialmente inestables.

35 El diseño del sello de parada, aunque diseñado para cerrar las fugas de manera estanca en un árbol parado, también es capaz de cerrar las fugas de manera estanca a una velocidad de giro de 20 rpm durante un periodo de tiempo que supere el periodo que se requiere para que el árbol se detenga incluso con un sello nº 1 que no cierre en absoluto (la consecuencia de un sello nº 1 que no cierre se expone más adelante en el presente documento). Veinte RPM es la velocidad aproximada en la que la cuña de aceite de los rodamientos del motor de la bomba del refrigerante del reactor se avería, lo que hace que el árbol de la bomba del refrigerante del reactor se detenga de inmediato. En este intervalo de velocidades, el árbol gira más tiempo, debido a la deceleración asintótica de la bomba del refrigerante del reactor mientras los rodamientos del motor proporcionan una resistencia por fricción muy baja. El par aplicado por el sello de parada al árbol es suficiente para detener la bomba del refrigerante del reactor muy antes de que un deterioro significativo del sello de parada provoque que se rompa el cierre estanco a las fugas.

45 Este diseño del sello de parada también es capaz de controlar la fuga a una tasa media de 3,785 lpm cuando se acciona sobre un árbol que gira a 50 RPM. Cincuenta RPM es la velocidad aproximada a la que estará girando el árbol si el motor de la bomba del refrigerante del reactor tarda un minuto más de la cuenta en dispararse. El sello de parada puede soportar esta rotación durante un periodo de tiempo que supera el que se requeriría para que el árbol se detuviera, incluso con un sello nº 1 que no cierre en absoluto. Así, el diseño del sello de parada proporciona margen para que operador reaccione a un incidente de pérdida de toda la refrigeración del sello.

50 Aunque están optimizados para sellarse (cerrarse de forma estanca) sobre un árbol estacionario, varios de los componentes del sello de parada en unión con el sello nº 1 de la bomba del refrigerante del reactor tienen propiedades que favorecen que el sello de parada se cierre cuando debería y que no se cierre cuando no debería. No solo cerrará, sino que no trastornará el sellado de la bomba del refrigerante del reactor ni deteriorará los componentes. Estas propiedades permiten que el sello de parada soporte la activación sobre un árbol que gire hasta a plena velocidad y que aguante durante un periodo de tiempo lo bastante largo para que un operador de la central emprenda una actuación para detener con seguridad la bomba del refrigerante del reactor. En algunas circunstancias, el sello de parada puede soportar indefinidamente el sellado sobre un árbol a plena velocidad, de modo que la bomba del refrigerante del reactor o la central no requieran ser paradas en absoluto. Cuando el árbol se detiene por fin en estas circunstancias, se ha demostrado que el sello de parada es capaz de sellar, por ejemplo, <3,785 lpm, en un incidente de pérdida de toda la refrigeración de los sellos.

60 El diseño del sello de parada aprovecha las propiedades del sello nº 1 que no solo protegen el sello de parada evitando su deterioro, sino que lo obligan a cerrarse en un incidente de pérdida de toda la refrigeración de los sellos.

- La propiedad protectora del sello nº 1 es consecuencia de los ángulos de ahusamiento convergente en su placa frontal, que vuelven a la tubería de recogida de fugas de los sellos insensible a la presión diferencial. Como tal, es capaz de compartir presiones con un sello de parada accionado por descuido mientras sigue en su intervalo operativo normal. El sello de parada debe inducir un 80% de la presión diferencial del sistema antes de que el rendimiento del sello nº 1 se degrade hasta tal punto que requiera que se dispare la bomba del refrigerante del reactor.
- Aunque un sello de parada fuera capaz de desarrollar el 100% de la presión diferencial del sistema sobre el mismo, el sello nº 1 es capaz de soportar el rozamiento momentáneo de su placa frontal. Con el 100% de la presión diferencial del sistema sobre el sello de parada, el sello nº 1 solo debe enfrentarse con que su propio peso proporcione la fuerza de contacto. Incluso en este caso más extremo en el que el sello nº 1 no proporcione ningún cierre, el sello de parada solo puede proporcionar esta cantidad de presión diferencial durante aproximadamente 12 segundos, después de los cuales se desgasta hasta el extremo de que se soltará lo suficiente del árbol como para empezar a compartir la presión, lo que limita la presión disponible para causar un desgaste adicional.
- Cuando el sello de parada actúa sobre un árbol en rotación, el deterioro es autolimitado. El anillo partido solo puede desgastar el árbol hasta un punto en el que su circunferencia se reduzca a la del anillo partido cuando sus extremos lindan entre sí. El intersticio entre los extremos del anillo partido está diseñado para tener en cuenta la dilatación térmica del anillo y para que no permita que los extremos colinden. Así, el intersticio es muy pequeño. La reducción circumferencial es tres veces la reducción en el diámetro del árbol debida al desgaste. La cantidad de desgaste al que está limitado el árbol es casi indetectable al tacto de un ser humano. Este límite en el desgaste es independiente de las RPM o de la duración de la rotación.
- No solo protege el desgaste autolimitante al árbol y al anillo partido de un desgaste apreciable, sino que también protege al anillo polimérico y a otros componentes. Una vez que se ha producido el máximo desgaste, el sello de parada ya no cierra lo suficientemente bien como para hacer que el anillo polimérico se contraiga en torno al árbol. Por lo tanto, si desgaste también se detiene. Recuperando el sello nº 1 cada vez más presión diferencial a medida que el sello de parada se abre, hay presentes fuerzas cada vez menores que hagan que el sello de parada se desgaste.
- El anillo de retención está optimizado para soportar el accionamiento sobre un árbol en rotación a plena velocidad y proteger los componentes corriente abajo. De cara a la resistencia, su superficie inferior está recubierta con un revestimiento resistente al desgaste cuya superficie es tratada después para reducir la fricción entre ella y el anillo polimérico. El anillo de retención protege el sistema y los componentes corriente abajo limitando el tamaño de las partículas de desgaste capaces de atravesar la zona anular que forma con el árbol. Aunque el anillo de parada se rompiera de forma catastrófica, los restos se contendrían en la zona del sello de parada a no ser que fuesen pequeños y, por lo tanto, lo bastante seguros como para pasar.
- Protege al resorte del desgaste el hecho de que, a medida que el anillo polimérico se desgasta, el resorte se descarga cada vez más. Cuanto menor sea la carga, menor será la tasa de desgaste.
- No solo no se deteriorará gravemente el sello de parada ni deteriorará el sello nº 1 cuando sea accionado por descuido, sino que es probable que el sello de parada se cierre si el árbol se detiene en un incidente de pérdida de toda la refrigeración del sello. Un incidente de pérdida de toda la refrigeración del sello conlleva temperaturas por encima de 288°C. El diseño del sello de parada se aprovecha de esto y de los efectos concurrentes que tiene la temperatura sobre el sistema. La respuesta del sello nº 1 al marcado incremento en la temperatura es hacer que sus ángulos de ahusamiento se inviertan, lo que abre el sello y crea una fuga mayor. A 288°C, el sello nº 1 deja escapar 83 lpm. El diseño del sello de parada aprovecha este aumento en el flujo y la temperatura de dos maneras. El mayor flujo genera una presión diferencial significativamente mayor a través de la zona autolimitada anular entre el anillo partido y el árbol. Esta presión diferencial induce entonces que el anillo polimérico se cierre. Una ayuda adicional para que el anillo polimérico se cierre está en el hecho de que, a medida que aumenta la temperatura, se reducen las propiedades mecánicas del polímero. Así, cuando aumenta la temperatura, se requiere cada vez menos presión diferencial para contraer el anillo polimérico, mientras que el anillo partido genera cada vez más presión diferencial. A 288°C, la zona anular creará aproximadamente 6,21 MPad, mientras que el anillo polimérico solo requerirá 689 kPad para cerrarse.
- Aunque se desgaste completamente todo el anillo polimérico y el árbol se desgaste hasta su dimensión autolimitada, el sello de parada sigue funcionando como dispositivo limitador del flujo en un incidente de pérdida de toda la refrigeración del sello. La zona anular estrecha restringe el flujo a menos que el del escenario más favorable del sello nº 1 por sí solo.
- El anillo polimérico se protege solo, por cuanto sus propiedades físicas son mucho mayores por debajo de las temperaturas en las que el sello de parada está diseñado para accionarse. Así, resiste su apriete sobre el árbol a temperaturas por debajo de la temperatura de diseño. Esto protege y conserva la integridad del anillo polimérico hasta que se aproxima a la temperatura de diseño.

- El anillo polimérico puede terminar con forma de topes en vez de tener una junta en inglete si el árbol está equipado de una camisa extraíble sobre la que se cierre el anillo partido. Si el diámetro de esta camisa y su acabado superficial están estrechamente controlados, puede emplearse el diseño más simple del anillo partido. Sin embargo, este anillo partido debe estar dimensionado para permitir la dilatación normal desde la temperatura del recinto hasta la temperatura de activación. Un diámetro de anillo demasiado grande es igual de probable que tenga fugas que uno demasiado pequeño. Si es demasiado grande, los extremos del anillo colindarán y no permitirá que toda la circunferencia haga contacto con la camisa. Si es demasiado pequeño, habrá un intersticio entre los extremos, a través del cual puede escapar el flujo sin generar suficiente presión diferencial para reducir el flujo o inducir que el anillo polimérico se contraiga.
- La fuerza de cierre del anillo partido debe ser controlada dentro de dos limitaciones. En primer lugar, no debe ser tan intensa como para impedir que el separador del accionador de retracción sea traccionado de entre los extremos del anillo partido. En segundo lugar, la fuerza de cierre debe ser suficientemente grande como para proporcionar un contacto suficiente en torno al árbol para causar máxima presión diferencial.
- A diferencia de la respuesta típica a un aumento de temperatura, el PEEK en esta aplicación cobra resistencia y cristaliza para resistir su extrusión a través de la zona anular. Este fenómeno es debido a la aplicación simultánea de tensiones compresivas sustanciales sobre el anillo polimérico por medio de la elevadísima presión diferencial sobre el anillo polimérico, mientras también se aplica una gran tensión térmica debido al gran incremento de temperatura que se experimenta en la activación del sello de parada. La compresión no permite que el anillo primario 178 de cierre se deforme radialmente, como haría normalmente por la dilatación térmica. Por ello, en vez de dilatar, la energía térmica que se añade al material da como resultado cambios moleculares dentro del material.
- Cuando el polímero atraviesa su temperatura de transición vítrea, las moléculas adquieren el nivel de energía requerido para reordenarse. Típicamente, esto lleva a que el polímero se vuelva más amorfó y a que las propiedades, especialmente las propiedades de tracción y flexión, empiecen a decaer. Las propiedades compresivas no decaen a la misma velocidad, ya que debe considerarse la naturaleza viscosa del material. El calentamiento de un material contenido general tensión interna si el material no puede deformarse. Si no puede deformarse, la energía debe ser "absorbida" por la estructura molecular del material de otras maneras. En el caso del anillo polimérico en el sello de parada, debido a que se pone tanta energía en la vibración de su cadena molecular, pasa a un estado de "baja energía" de soporte mutuo. Para un material polimérico semicristalino como el PEEK, el paso a un estado de soporte mutuo es cristalizarse. Esto aumenta la densidad molecular del material (de 1,26 g/cm³ a 1,35 g/cm³). Ocurriendo la escisión de la cadena también en el polímero, la libertad molecular extra contribuye a permitir mayor realineamiento molecular, permitiendo que las estructuras moleculares se teselen entre sí y cristalicen más.
- El resultado final de esto es que las propiedades mecánicas del anillo de PEEK aumenten sustancialmente al aplicarse la presión y la temperatura simultáneas del sistema de refrigeración del reactor. En otras palabras, inicialmente el aumento de temperatura reduce las propiedades mecánicas del PEEK, permitiéndole contraerse y empezar a cerrarse. A medida que el anillo comienza a cerrarse, las fuerzas de compresión aumentan y se combinan con las tensiones térmicas. La resistencia a la extrusión aumenta rápidamente hasta tal punto que cualquier extrusión adicional se detiene por completo. En la aplicación del sello de parada, el volumen de PEEK extrudido al interior de la zona anular formada por el anillo de retención en el árbol está limitado a aproximadamente el 2% del volumen total del anillo. Esto es independiente de la duración de la exposición a los 299°C y 16,20 MPad, más allá de ocho horas. Con tiempos de exposición menores de ocho horas, el anillo no se deforma permanentemente. Por ello, cuando se eliminan la presión y la temperatura, el anillo vuelve a sus dimensiones originales y se restaura la vía de fuga del sello nº 1 (sin embargo, el anillo partido permanece contraído). Sin embargo, con exposiciones de al menos ocho horas, el PEEK cristalizará irreversiblemente y tendrá un volumen ligeramente menor (~7% menor). Por lo tanto, el anillo "encogerá" en su diámetro interno y seguirá abrazado firmemente al árbol o a la camisa.
- La Figura 10 representa datos tomados durante un ensayo de parada usando un prototipo de sello de parada de la realización preferente de la presente invención en un entorno que simula un reactor nuclear de agua a presión. La Figura 10 demuestra que el prototipo de sello detiene de forma efectiva el flujo de refrigerante en menos de aproximadamente 45 segundos después de que se alcance la temperatura de activación.
- La Figura 11 ilustra otra mejora del anillo partido 172 del sello de parada de la presente invención para garantizar que el anillo partido no sobresalga al interior de la zona anular 174 entre el árbol 34 y el inserto 110 número uno mientras está en la posición abierta contenida. Se refuerza un segmento corto 198, por ejemplo entre 2-5 y preferentemente de 3 grados de la circunferencia, del anillo partido 172 a 180 grados frente a la abertura 200 del anillo partido. Sin el segmento radial 198 más ancho, el anillo partido se dilata, preferentemente, 90 grados hasta el intersticio 200, lo que lo distorsiona hasta que adquiere una forma de huevo cuando se concentra a 180 grados de la abertura 200. Reforzando la región 198, las tensiones están distribuidas de forma más homogénea y se forma un diámetro interno más circular. De esta manera, el diámetro interno del anillo partido 172 se ajusta mejor a la forma del diámetro interno del inserto 110 número uno, con el que debe permanecer concéntrico para evitar trastornar el flujo de vapor en la zona anular 174.

En consecuencia, estas realizaciones están diseñadas para sellar una bomba de refrigerante de reactor en el caso de una pérdida de toda la refrigeración del sello, causada, por ejemplo, por una pérdida completa de suministro de corriente alterna debida, por ejemplo, a la pérdida de toda la energía de C/A. Estos sellos de parada satisfarán los requisitos de la Comisión de Regulación Nuclear de EE. UU. sobre la pérdida completa de suministro de corriente alterna (proteger el núcleo durante un periodo obligatorio de atención de la emergencia de 4-8 horas), sus requisitos del Apéndice R (garantizar un volumen adecuado de refrigerante para mantener el control del presurizador para llevar la planta a una parada en frío en menos de 72 horas durante un incendio) y las normativas del Estándar 805 de la Asociación Nacional para la Protección contra Incendios (evitar que los sellos tengan fugas de 693 lpm a 288°C). Además, el sello de parada mejorará significativamente los márgenes del Índice de Rendimiento de Sistemas Mitigadores para los servicios públicos.

Aunque se han descrito con detalle realizaciones específicas de la invención, los expertos en la técnica apreciarán que podrían desarrollarse diversas modificaciones y alternativas a esos detalles teniendo en cuenta las enseñanzas globales de la divulgación. En consecuencia, las realizaciones particulares dadas a conocer están pensadas para que sean únicamente ilustrativas y no limitantes en cuanto al alcance de la invención, a la que ha de darse toda la amplitud de las reivindicaciones adjuntas y cualquier equivalente de las mismas y todos ellos.

REIVINDICACIONES

1. Un sello de parada para rodear un árbol rotatorio (34) y evitar que un fluido en una zona anular (174) que rodea al árbol (34) se salga del sello de parada después de que la rotación del árbol haya disminuido o de que el árbol (34) deje de girar, que comprende:
 - 5 un anillo partido contraíble (172) que rodea el árbol (34), teniendo el anillo partido (172) extremos opuestos, pudiendo el anillo partido (172) contraerse para estrechar o cerrar sustancialmente una porción de la zona anular (174) y
 - 10 un anillo (180) de retención generalmente rígido que rodea el árbol (34) y está separado del mismo corriente arriba, en la dirección del flujo del líquido, desde el anillo partido (172), teniendo el anillo (180) de retención un diámetro interno separado del árbol (34), definiendo el diámetro interno una porción de la zona anular (174),
caracterizada porque
 dicho anillo partido (172) tiene un diámetro interno separado del árbol (34) cuando el árbol está rotando, definiendo el diámetro interno una porción de la zona anular (174),
 - 15 **porque**, además, hay dispuesto un separador (176) entre los extremos opuestos del anillo partido (172) para mantener el espacio anular entre los extremos opuestos durante la operación normal del árbol (34), siendo operable el separador (176) para ser extraído de entre los extremos opuestos cuando el líquido se eleva por encima de una temperatura preseleccionada para que el anillo partido (172) pueda contraerse, y
 - 20 **porque** un anillo polimérico flexible (178) rodea el árbol (34) y está colocado entre el anillo partido (172) y el anillo (180) de retención, teniendo el anillo polimérico (178) un diámetro interno separado del árbol (34) cuando el árbol gira, definiendo el diámetro interno una porción de la zona anular (174), siendo empujado hacia el árbol (34) el anillo polimérico flexible (178) por un diferencial de presión en el anillo polimérico cuando el anillo partido (172) se contrae y se mueve dentro de la zona anular (174) hacia el árbol (34).
2. El sello de parada de la reivindicación 1 en el que el polímero del anillo polimérico (178) es un polímero de PEEK y/o tiene una temperatura de transición vítrea cercana a la temperatura preseleccionada.
3. El sello de parada de la reivindicación 1 en el que la temperatura preseleccionada es de aproximadamente 149°C o mayor.
4. El sello de parada de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en el que el separador (176) comprende un polietileno lineal de baja densidad con un índice de fusión de al menos 25 g/10 min a 190°C con 2,16 k g y con un punto de transición vítrea de aproximadamente 103°C y una temperatura de fusión de aproximadamente 124°C.
5. El sello de parada de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 que incluye un resorte (182) colocado para empujar el anillo partido (172) contra el anillo polimérico flexible (178) sustancialmente en la dirección del eje longitudinal del árbol (34).
- 35 6. El sello de parada de la reivindicación 5 en el que el resorte (182) es un resorte ondulado.
7. El sello de parada de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 en el que el anillo polimérico (178) tiene un grosor de aproximadamente 6,2 mm.
8. El sello de parada de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 en el que el diámetro interno del anillo partido (172) es hasta 0,025 mm mayor que el diámetro exterior adyacente del árbol (34).
- 40 9. El sello de parada de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 que incluye un accionador (184) sensible al calor unido al separador (176), que es sensible a un aumento en la temperatura del líquido dentro de la zona anular (174) hasta la temperatura preseleccionada o por encima de ella para traccionar el separador (176) de entre los extremos opuestos del anillo partido (172).
- 45 10. El sello de parada de la reivindicación 9 en el que el accionador (184) sensible al calor comprende un pistón (186) amovible dentro de un cilindro que es sensible a un cambio de estado del material dentro del cilindro, a la temperatura preseleccionada, para moverse en la dirección para traccionar el separador (176) de entre los extremos opuestos del anillo partido (172).
11. El sello de parada de la reivindicación 10 en el que el material es octacosano o cualquier otra cera.
- 50 12. El sello de parada de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 en el que el anillo (180) de retención está recubierto, al menos parcialmente, con un polímero.
13. El sello de parada de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 en el que el anillo partido (172) tiene una porción circumferencial (198) engrosada radialmente aproximadamente a 180 grados desde los extremos opuestos del anillo partido (172).

14. El sello de parada de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 en el que el diámetro interno del anillo (180) de retención forma un intersticio de extrusión entre el anillo de retención y el árbol (34) de aproximadamente entre 0,08 mm y 1,7 mm.
15. El sello de parada de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 en el que la parte inferior del anillo (180) de retención que hace contacto con el árbol (34) tiene un coeficiente de fricción de aproximadamente 0,2 o menor.

5

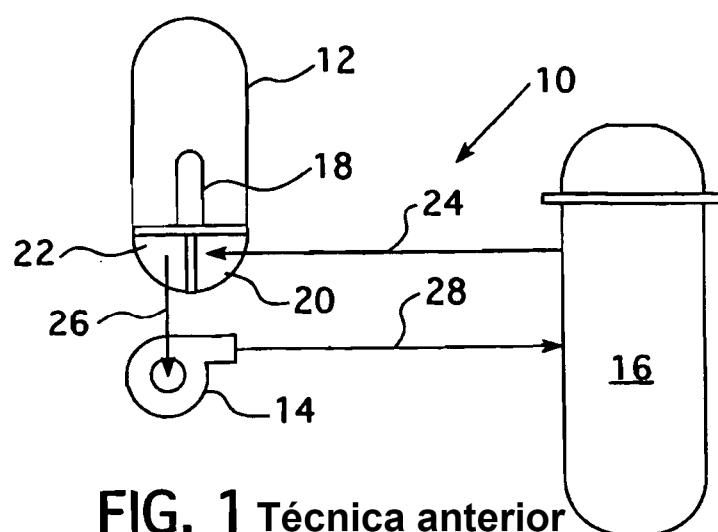


FIG. 1 Técnica anterior

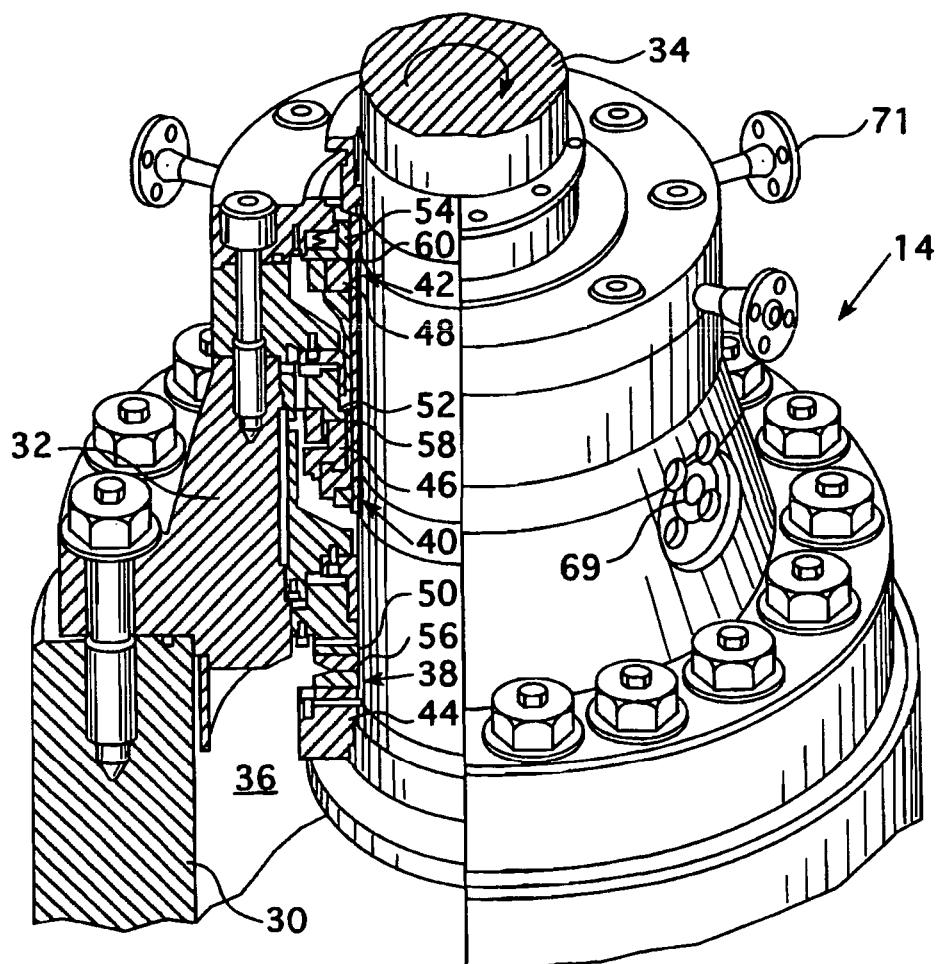


FIG. 2 Técnica anterior

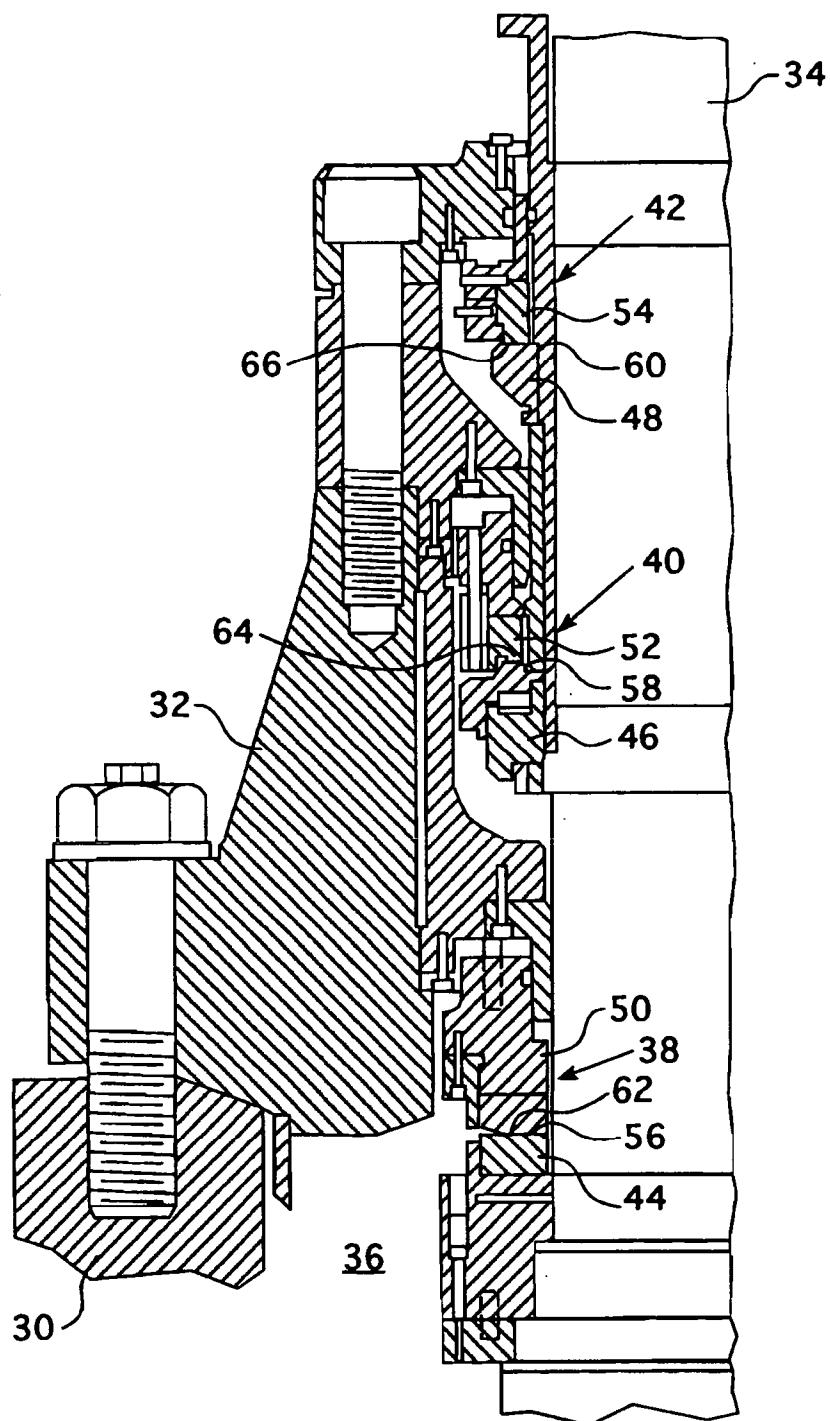


FIG. 3 Técnica anterior

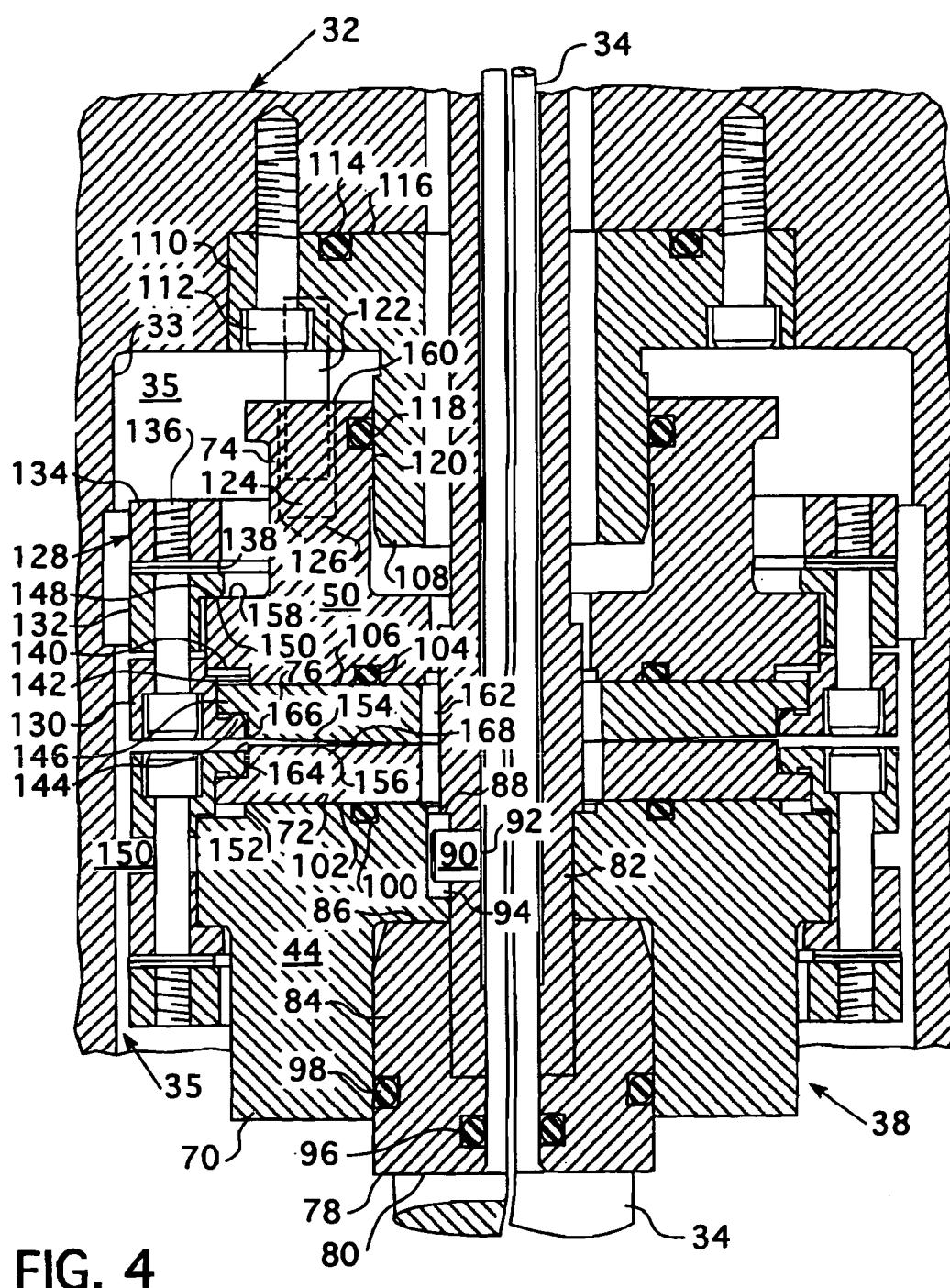


FIG. 4

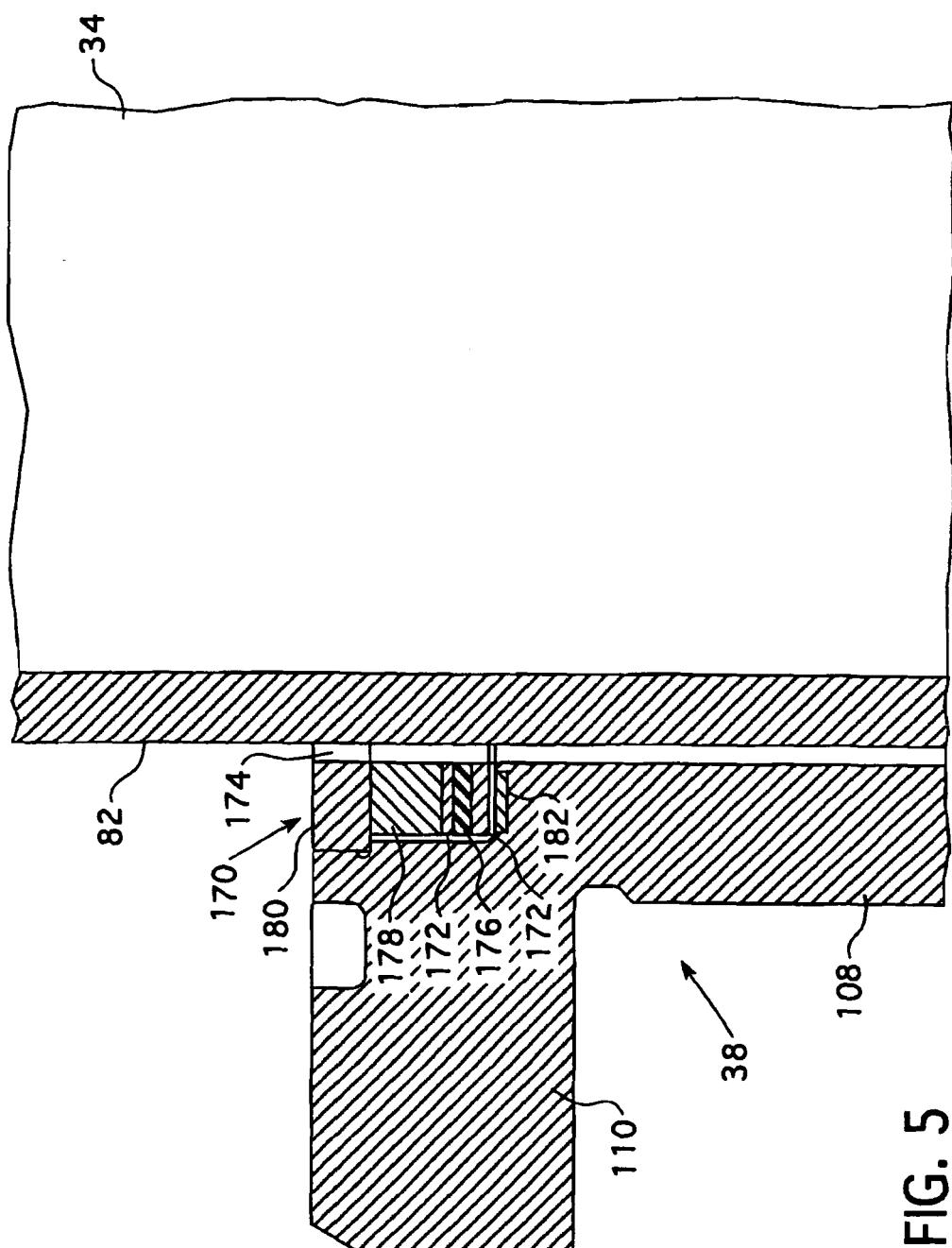
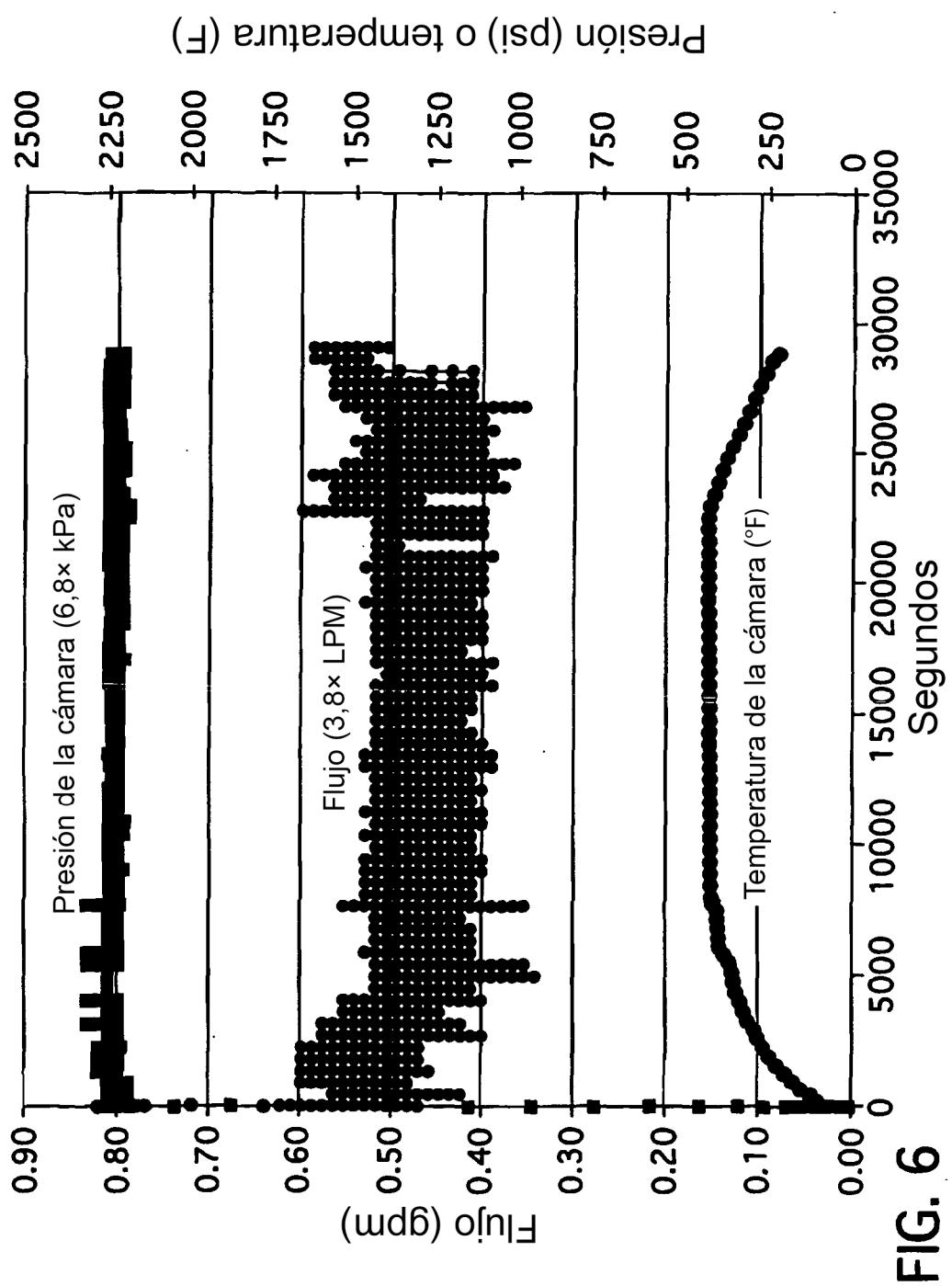


FIG. 5



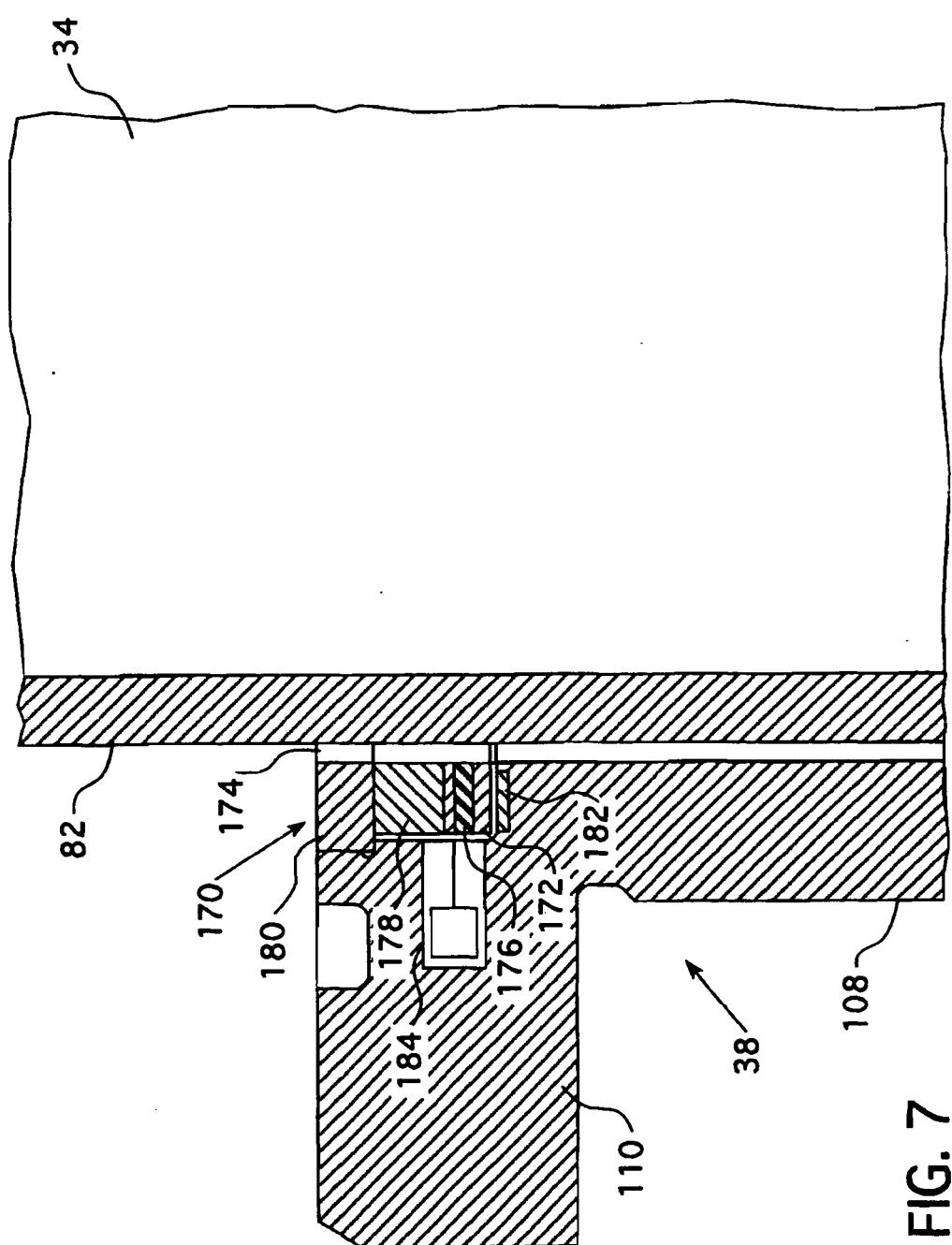


FIG. 7

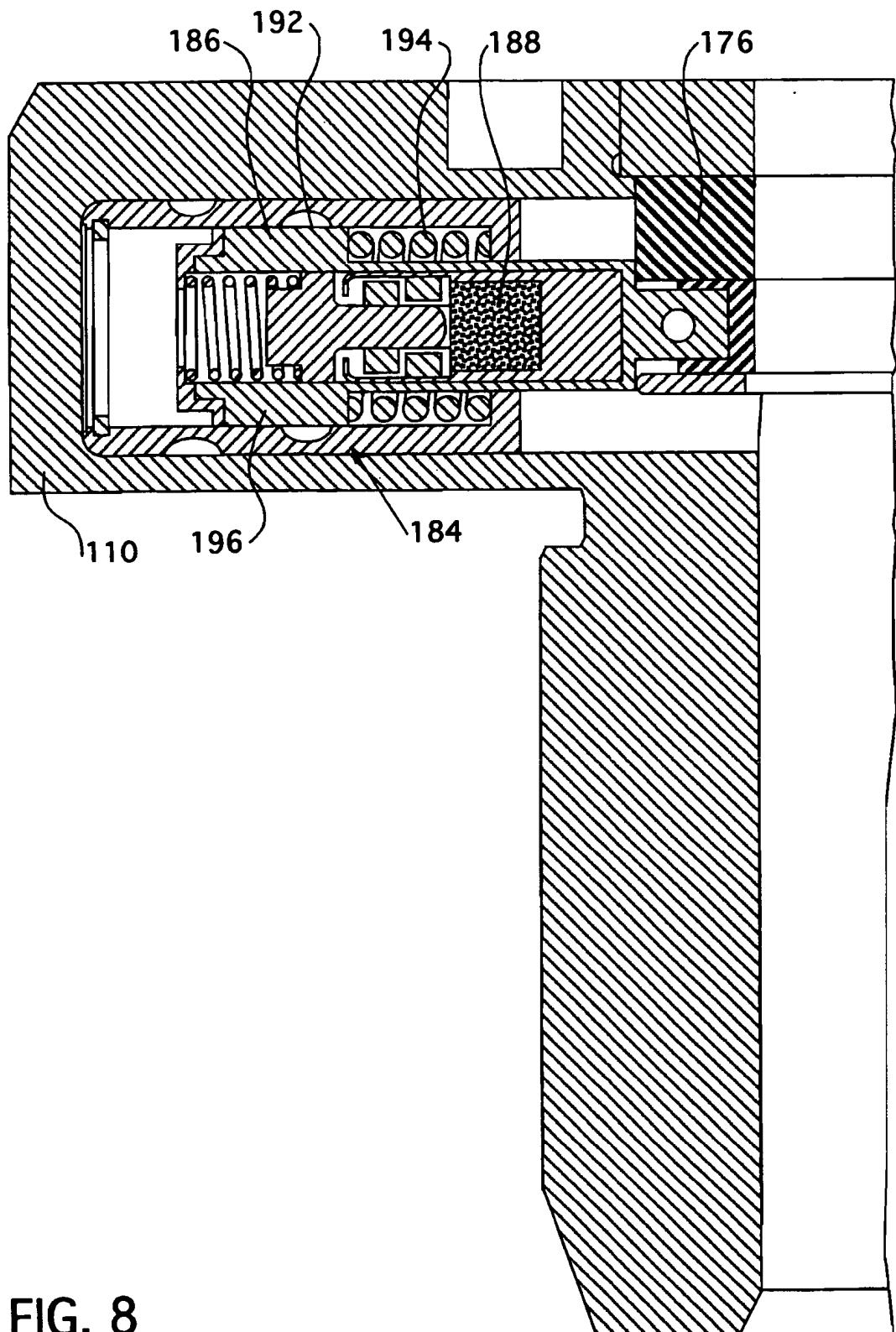
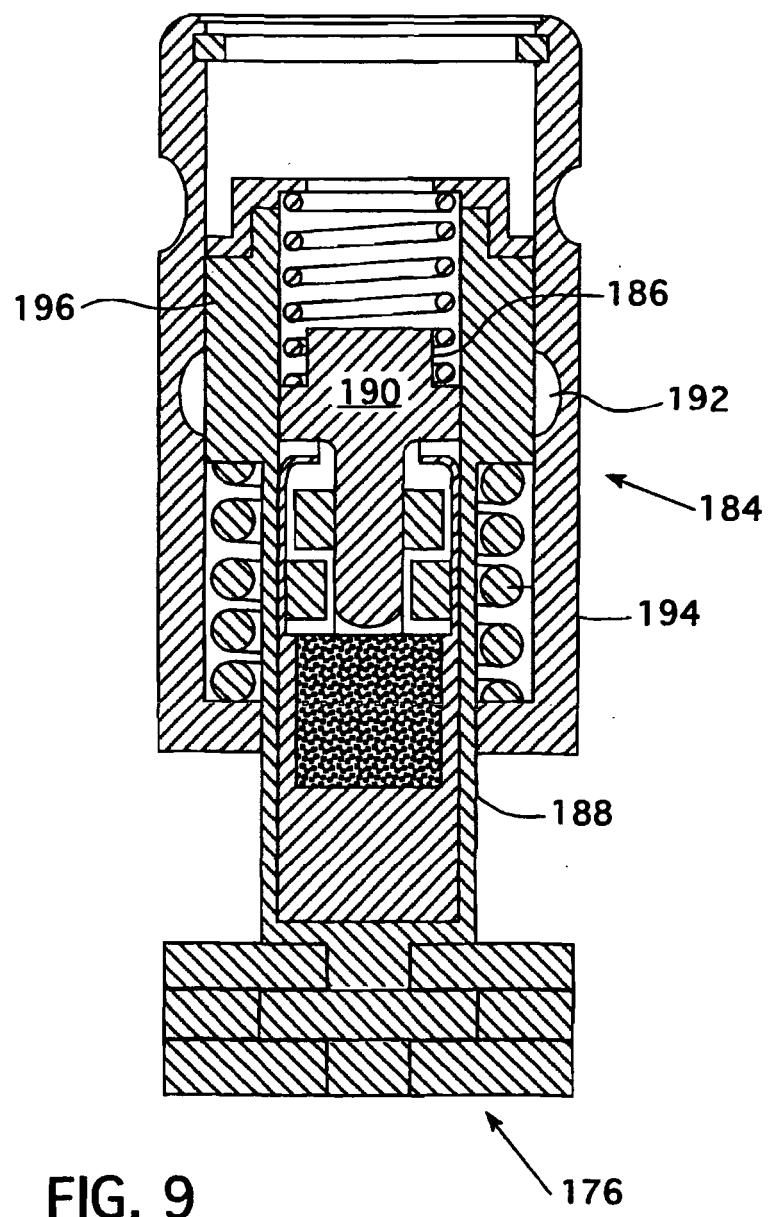
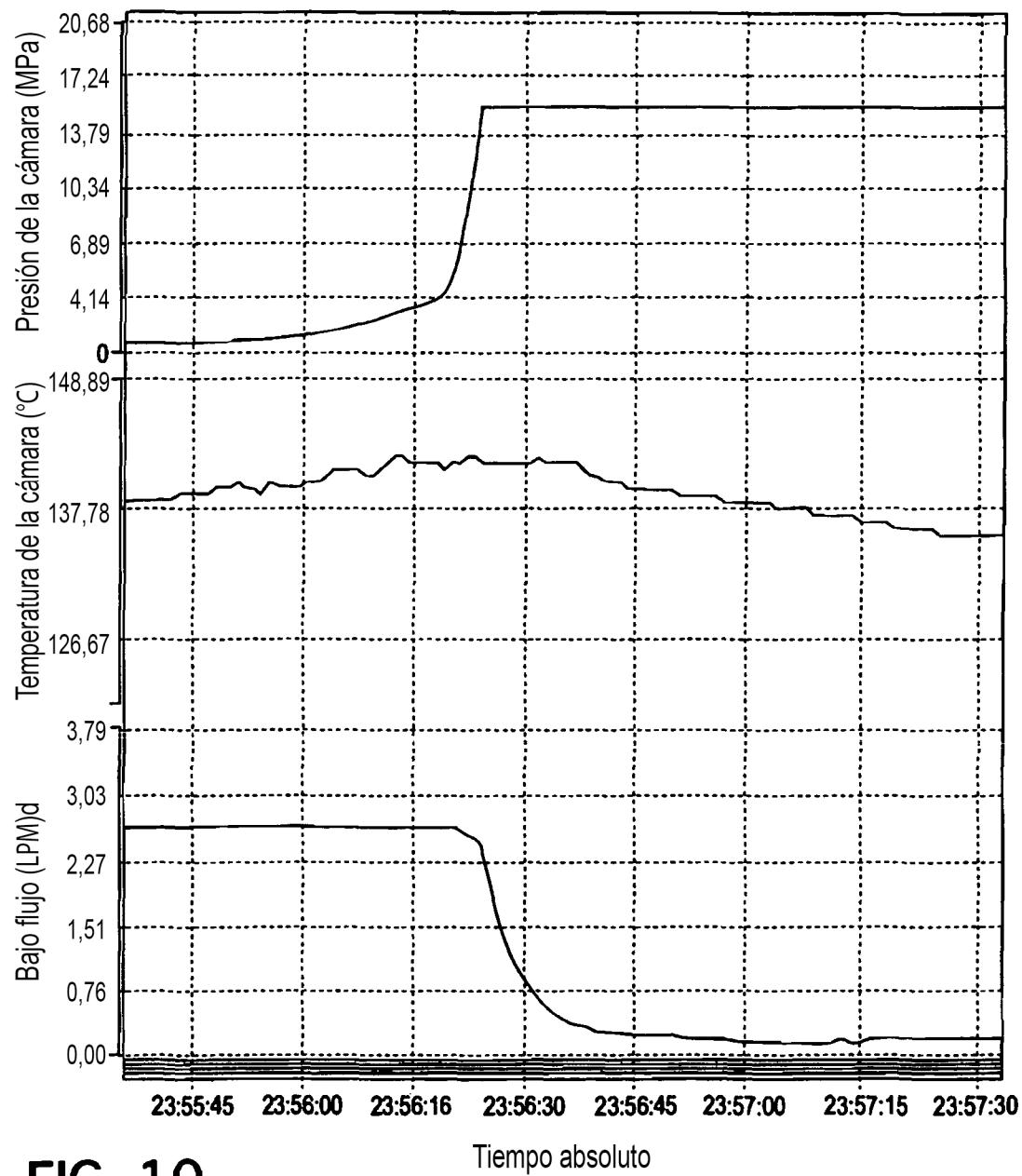


FIG. 8



**FIG. 10**

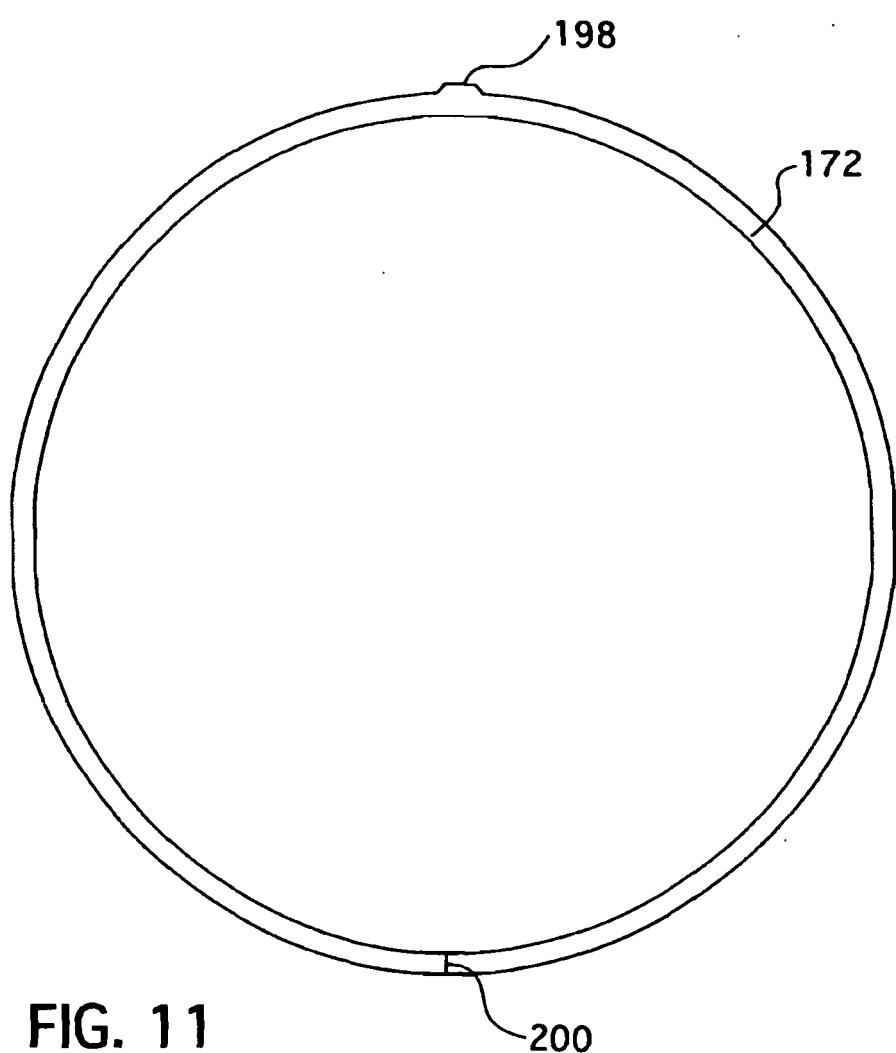


FIG. 11