



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 314 413**

51 Int. Cl.:
F04D 27/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04744077 .1**

96 Fecha de presentación : **28.07.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1654462**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.05.2006**

54 Título: **Compresor de gas.**

30 Prioridad: **30.07.2003 US 630950**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2009

73 Titular/es: **AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.**
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, Pennsylvania 18195-1501, US

72 Inventor/es: **Lucas, Clifford, E.;**
Brochu, Philip, A. y
Rooney, William, Carl

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 314 413 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).

ES 2 314 413 T3

DESCRIPCIÓN

Compresor de gas.

5 Antecedentes de la invención

La producción de gas natural licuado (LNG) se puede conseguir refrigerando y condensando una corriente de gas de alimentación contra múltiples corrientes refrigerantes proporcionados por sistemas de recirculación de refrigerantes. La refrigeración de la alimentación de gas natural se puede conseguir por medio de varios ciclos de procesos de recirculación, como el bien conocido ciclo en cascada, en el que la refrigeración se consigue por medio de tres bucles diferentes de refrigeración. Uno de dichos ciclos en cascada emplea una secuencia de ciclos de metano, etileno y propano para producir la refrigeración en tres niveles de temperatura diferentes. Otro ciclo de refrigeración bien conocido emplea un ciclo de refrigeración mixto con propano preenfriado (C3MR) en el que una mezcla de refrigerante de varios componentes genera la refrigeración en un rango de temperaturas seleccionado. La mezcla de refrigerantes puede contener hidrocarburos, como el metano, etano, propano y otros hidrocarburos ligeros, y también puede contener nitrógeno. Se emplean versiones de este sistema de refrigeración en muchas plantas de LNG en funcionamiento en todo el mundo.

Estos y otros tipos de procesos de refrigeración para la licuación de gas natural incluyen el uso de compresores de refrigerante accionados por turbinas de gas. En los últimos años, se han utilizado turbinas de gas de único eje con este objetivo. Cuando se produce una descarga debido a un evento de bloqueo del compresor, el refrigerante comprimido se descarga típicamente a un sistema de antorcha, que debe estar dimensionado para manejar los flujos de descarga previstos durante dichos eventos. También existen otros sistemas en la técnica anterior, algunos de los cuales se describen a continuación.

El término “planta LNG de base” empleado en el presente documento pretende hacer referencia a una instalación que produce de manera continua gas natural licuado a partir de la refrigeración de al menos uno de los múltiples ciclos de proceso de refrigeración conocidos en la técnica. La instalación puede estar en una ubicación terrestre, una instalación flotante para la producción, almacenamiento y transporte (FPSO) para extraer gas natural del fondo del mar/océano, o un sistema basado en la gravedad (GBS), una ubicación FPSO anclada al fondo marino en una ubicación particular.

Los expertos en la materia entenderán que la potencia neta disponible de una turbina de gas empleada para accionar un compresor de refrigeración en una planta LNG base es una función de múltiples variables, que incluyen pero no están limitadas a la temperatura ambiente (se consigue la potencia máxima a temperaturas frías), pérdidas en los conductos de entrada/salida, pérdidas por fricción, y los fallos del compresor.

US-A-4,799,359 (Nicoll) describe un compresor de refrigeración criogénico que contiene una válvula de descarga externamente ajustable entre la descarga del compresor y los conductos de succión. Esto permite que el fluido criogénico fluya desde la descarga del compresor hacia el conducto de succión cuando la presión de descarga excede un valor establecido.

US-A-4,566,885 (Haak) describe un proceso de licuación con dos ciclos de refrigeración en bucle cerrado. En cada bucle, los compresores son accionados por una turbina de gas. En momentos de bajo consumo de potencia por los compresores en el primer bucle, la potencia de la turbina es desviada a un generador. El generador complementa la potencia generada por la turbina del segundo bucle.

WO-A-88/06674 describe un proceso, aplicable a FPSO y plataformas estacionarias, para descargar el gas a alta presión hacia el fondo marino. Cualquier gas a media y/o baja presión se descarga a través de una antorcha convencional. Esto reduce el diámetro necesario y la longitud de la antorcha que sobresale de la plataforma.

WO-A-97/33131 describe un proceso de gas natural licuado caracterizado porque los compresores del ciclo de refrigeración están mecánicamente interconectados y accionados por una turbina de gas de único eje. También se describe una válvula de derivación entre la entrada y la salida de cada compresor para su uso durante el arranque.

US-A-5,408,840 (Talley) describe un proceso de recuperación de refrigerante. En el evento de una sobrepresión en el circuito de refrigeración, el refrigerante, después de pasar a través de la válvula de alivio de presión, es recogido en un buque en lugar de ser venteadado a la atmósfera.

US-A-5,319,945 (Barlett) describe un proceso donde, en el evento de una sobrepresión, el refrigerante es desviado del ciclo de refrigeración hacia un buque de acumulación. El volumen del buque de acumulación debe ser suficiente como para reducir la sobrepresión antes de alcanzar una determinada presión de alivio.

US-A-3,855,810 (Simon *et al.*) describe la inserción de un volumen de búfer suficiente en el lado de baja presión de un circuito de refrigeración para acomodar la subida de presión cuando el compresor se detiene. Esto elimina la necesidad de quemar refrigerante a través de válvulas de alivio de presión.

ES 2 314 413 T3

Como se ha descrito arriba, la mayoría de compresores de refrigeración empleados en plantas LNG base están accionados por turbinas de gas. En muchas aplicaciones, se emplean turbinas de gas de único eje, montándose la turbina de gas y uno o más compresores o etapas de compresión sobre un único eje. Si se bloquea la descarga del compresor por un evento inesperado del proceso, el refrigerante comprimido típicamente se descarga hacia un sistema de conducción y quemado, que debe estar dimensionado para manejar flujos de alivio previstos durante tales eventos. Es deseable minimizar el tamaño del sistema de conducción y quemado para manejar tales flujos. También puede ser deseable por motivos económicos y ambientales minimizar la cantidad de gas quemado durante las paradas del proceso o durante eventos de descarga por bloqueo del compresor.

Las realizaciones de la presente invención están dirigidas a estas necesidades e incluyen un aparato y procedimiento para minimizar los flujos de alivio en plantas base para la producción de gas natural licuado (LNG), con relación en particular a un aparato y procedimiento que aprovechan las características de frenado de las turbinas de gas de único eje empleadas para accionar compresores de refrigeración para minimizar la carga de alivio durante un evento de descarga por bloqueo del compresor.

Breve compendio de la invención

En un primer aspecto, la presente invención proporciona un sistema de compresión de gas que comprende:

un medio de accionamiento;

un compresor de refrigeración accionado por el medio de accionamiento y que tiene una entrada de gas y una salida de gas;

una válvula de seguridad de alivio de presión que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida del compresor de refrigeración, y una salida y un punto de ajuste; y

una válvula de seguridad de presión de reciclado que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida del compresor de refrigeración, una salida en comunicación fluida con la entrada del compresor de refrigeración, y un punto de ajusta que es menor que el punto de ajuste de la válvula de seguridad de alivio de presión de (c).

En otro aspecto, la presente invención proporciona un método para operar un compresor de refrigeración accionado por una turbina de gas de único eje que comprende:

(a) proporcionar un sistema de compresión que incluye:

(1) un compresor de refrigeración y una turbina de gas de único eje adaptada para accionar el compresor de refrigeración, donde el compresor de refrigeración tiene una entrada y un conducto de descarga que conduce a la salida del compresor;

(2) una válvula de seguridad de alivio de presión que tiene una entrada en comunicación fluida con el conducto de descarga del compresor de refrigeración, una salida y un punto de ajuste; y

(3) una válvula de seguridad de presión de reciclado que tiene una entrada en comunicación fluida con el conducto de descarga del compresor de refrigeración, una salida en comunicación fluida con la entrada del compresor de refrigeración, y un punto de ajuste que es menor que el punto de ajuste de la válvula de seguridad de alivio de presión;

(b) bloquear la salida del compresor;

(c) causar la apertura de la válvula de seguridad de presión de reciclado y permitir que el gas comprimido fluya hacia la entrada del compresor de refrigeración, aumentando así la capacidad del compresor de refrigeración, consumiendo toda la potencia disponible de la turbina de gas, y provocando que la turbina de gas se frene; y

(d) causar que la turbina de gas se desconecte a baja velocidad.

En una realización preferida, la presente invención proporciona un procedimiento para limitar la carga de la antorcha durante un evento de descarga por bloqueo del compresor en una planta LNG base que comprende un compresor de gas que tiene una entrada de gas y una salida de gas y un medio de accionamiento que acciona el compresor de gas, disminuyendo la velocidad del medio de accionamiento cuando el requerimiento de potencia del compresor de gas excede la máxima potencia del medio de accionamiento y que tiene un disparo por baja velocidad, donde, cuando la presión de descarga del gas comprimido de la salida de gas alcanza una presión designada menor que la presión a la que se produce el apagado de la antorcha, al menos una porción del gas comprimido es reciclado a la entrada de gas, aumentando así el flujo másico a través del compresor y reduciendo la velocidad del medio de accionamiento.

El sistema preferiblemente regula el medio de accionamiento que acciona un compresor de gas que tiene una entrada de gas y una salida de gas, teniendo el medio de accionamiento una potencia máxima, incluye dos elementos. El primer elemento es una válvula de seguridad de presión de reciclado en comunicación fluida con la salida de gas,

ES 2 314 413 T3

estando adaptada la válvula de seguridad de presión de reciclado para recibir una corriente de gas comprimido que tiene una presión de descarga desde la salida de gas. El segundo elemento es un conducto en comunicación fluida con la entrada de gas, mediante el cual la entrada de gas recibe al menos una porción de la corriente del gas comprimido transmitido al conducto desde la válvula de seguridad de presión de reciclado cuando la presión de descarga alcanza una presión designada.

El medio de accionamiento puede ser una turbina de gas y al menos una porción del gas comprimido es un refrigerante. Preferiblemente, el medio de accionamiento es una turbina de gas de único eje y el compresor es un compresor de refrigeración.

Una segunda realización del sistema es similar a la primera realización pero incluye un recipiente en comunicación fluida con el conducto y la entrada de gas. Una tercera realización del sistema es similar a la primera realización pero incluye al menos una válvula de seguridad de presión de reciclado adicional en comunicación fluida con la salida de gas, estando adaptada la válvula de seguridad de presión de reciclado adicional para recibir una corriente adicional del gas comprimido de la salida de gas. La al menos una porción de la corriente del gas comprimido puede ser transmitida al conducto desde la válvula de seguridad de presión de reciclado cuando el medio de accionamiento alcanza un primer porcentaje designado de la máxima potencia, y al menos una porción de la corriente adicional del gas comprimido transmitido al conducto desde la válvula de seguridad de presión de reciclado adicional cuando el medio de accionamiento alcanza un segundo porcentaje designado de la máxima potencia.

En una cuarta realización, el sistema para regular al menos un medio de accionamiento que acciona al menos un compresor de gas multi-etapa que tiene una pluralidad de etapas, una entrada de gas para cada etapa, y una salida de gas para cada etapa, incluye dos elementos. El primer elemento es al menos una válvula de seguridad de presión de reciclado en comunicación fluida con cada salida de gas, estando adaptada la válvula de seguridad de presión de reciclado para recibir al menos una corriente de un gas comprimido que tiene una presión de descarga de la salida de gas. El segundo elemento es al menos un conducto en comunicación fluida con al menos una entrada de gas, por el cual al menos una entrada de gas recibe al menos una porción de la al menos una corriente del gas comprimido transmitido al al menos un conducto desde la válvula de seguridad de reciclado cuando la presión de descarga alcanza una presión designada. En común con las otras realizaciones, es preferible que el medio de accionamiento sea una turbina de gas de único eje, y el compresor sea un compresor de refrigeración.

Una quinta realización del aparato es similar a la cuarta realización, pero incluye al menos un recipiente en comunicación fluida con el al menos un conducto y al menos una entrada de gas.

En una sexta realización, un sistema para regular una turbina de gas de único eje que acciona un compresor de refrigeración que tiene una entrada de gas y una salida de gas, la entrada de gas estando opcionalmente en comunicación fluida con al menos un recipiente, incluye dos elementos. El primer elemento es al menos una válvula de seguridad de presión de reciclado en comunicación fluida con la salida de gas del compresor de refrigeración, estando adaptada cada válvula de seguridad de presión de reciclado para recibir una corriente separada de un gas comprimido que tiene una presión de descarga de la salida de gas del compresor de refrigeración. El segundo elemento es al menos un conducto en comunicación fluida con la entrada de gas y opcionalmente con el al menos un recipiente, por lo cual la entrada de gas, y opcionalmente cada recipiente, recibe al menos una porción de la corriente del gas comprimido transmitido al al menos un conducto desde la válvula de seguridad de presión de reciclado cuando la presión de descarga alcanza una presión designada.

En realizaciones preferidas de la invención, una planta LNG base utiliza un sistema como en cualquiera de las realizaciones y variaciones del mismo del sistema descrito en el presente documento.

Una primera realización de un procedimiento para regular un medio de accionamiento que acciona un compresor de gas que tiene una entrada de gas y una salida de gas, teniendo el medio de accionamiento una potencia máxima, incluye proporcionar una válvula de seguridad de presión de reciclado en comunicación fluida con la salida de gas, estando adaptada la válvula de seguridad de presión de reciclado para recibir una corriente de un gas comprimido que tiene una presión de descarga de la salida de gas. Se establece una presión designada para la presión de descarga, se proporciona un conducto en comunicación fluida con la entrada de gas, y se transmite al menos una porción de la corriente de gas comprimido al conducto desde la válvula de seguridad de presión de reciclado cuando la presión de descarga alcanza la presión designada.

Existen múltiples variaciones de la primera reivindicación de procedimiento. En una variación, el medio de accionamiento es una turbina de gas y al menos una porción del gas comprimido es un refrigerante. En otra variación, el medio de accionamiento es una turbina de gas de único eje y el compresor es un compresor de refrigeración.

Una segunda reivindicación de procedimiento es similar a la primera reivindicación de procedimiento e incluye además proporcionar un recipiente en comunicación fluida con el conducto y la entrada de gas y transmitir al menos una porción de la al menos una porción de la corriente del gas comprimido desde el conducto al recipiente.

Una tercera reivindicación de procedimiento es similar a la primera reivindicación de procedimiento e incluye además proporcionar al menos una válvula de seguridad de presión de reciclado adicional en comunicación fluida con la salida de gas, estando adaptada la válvula de seguridad de presión de reciclado adicional para recibir una corriente

ES 2 314 413 T3

adicional del gas comprimido desde la salida de gas. Al menos una porción de la corriente adicional del gas comprimido es transmitida al conducto cuando la presión de descarga alcanza la presión designada. En una variación de la tercera reivindicación de procedimiento, la al menos una porción de la corriente del gas comprimido es transmitido al conducto desde la válvula de seguridad de reciclado de presión cuando el medio de accionamiento alcanza un primer porcentaje designado de la máxima potencia, y al menos una porción de la otra corriente del gas comprimido es transmitido al conducto desde la válvula de seguridad de presión de reciclado adicional cuando el medio de accionamiento alcanza un segundo porcentaje designado de la máxima potencia.

Una cuarta reivindicación de procedimiento para regular al menos un medio de accionamiento que acciona al menos un compresor de gas multi-etapa que tiene una pluralidad de etapas, una entrada de gas para cada etapa, y una salida de gas para cada etapa. El procedimiento incluye proporcionar al menos una válvula de seguridad de presión de reciclado en comunicación fluida con cada salida de gas, estando adaptada la válvula de seguridad de presión de reciclado para recibir al menos una corriente de un gas comprimido que tiene una presión de gas de la salida de gas. Se establece una presión designada para la presión de descarga, se proporciona al menos un conducto en comunicación fluida con al menos una entrada de gas, y se transmite al menos una porción de la al menos una corriente del gas comprimido al al menos un conducto desde la válvula de seguridad de reciclado cuando la presión de descarga alcanza la presión designada, por lo cual la al menos una entrada de gas recibe al menos una parte de la al menos una porción de la al menos una corriente del gas comprimido. En común con otras realizaciones de procedimiento, es preferible que el medio de accionamiento sea una turbina de gas de eje único y el compresor sea un compresor de refrigeración.

Una quinta realización de procedimiento es similar a la cuarta realización de procedimiento e incluye proporcionar un recipiente en comunicación fluida con el al menos un conducto y la entrada de gas y transmitir al menos una porción de la al menos una porción de la corriente del gas comprimido desde el al menos un conducto al recipiente.

Una sexta realización de procedimiento es un procedimiento para regular una turbina de gas de único eje que acciona un compresor de refrigeración que tiene una entrada de gas y una salida de gas, estando la entrada de gas opcionalmente en comunicación fluida con al menos un recipiente. El procedimiento incluye proporcionar al menos una válvula de seguridad de presión de reciclado en comunicación fluida con la salida de gas del compresor de refrigeración, estando adaptada cada válvula de seguridad de presión de reciclado para recibir una corriente separada de un gas comprimido que tiene una presión de descarga desde la salida de gas del compresor de refrigerante. Se establece una presión designada para la presión de descarga y se proporciona al menos un conducto en comunicación fluida con la entrada de gas y opcionalmente con el al menos un recipiente. Al menos una porción de la corriente del gas comprimido es transmitida al conducto desde la válvula de seguridad de presión de reciclado cuando la presión de descarga alcanza la presión designada, por lo cual la entrada de gas, y opcionalmente cada recipiente, recibe al menos una porción de la corriente del gas comprimido transmitido a el al menos un conducto desde la válvula de seguridad de presión de reciclado cuando la presión de descarga alcanza la presión designada.

Breve descripción de varias vistas de los dibujos

A continuación se presenta una descripción únicamente a modo de ejemplo y haciendo referencia a los dibujos adjuntos de realizaciones actualmente preferidas de la invención. En los dibujos:

La Figura 1 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra una realización de la presente invención;

La Figura 2 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra otra realización de la presente invención;

La Figura 3 es un gráfico que ilustra un resultado de una simulación de frenado de una turbina de gas de una única etapa; y

La Figura 4 es un gráfico que ilustra la presión de descarga desde un compresor durante un evento de descarga por bloqueo en un sistema que emplea la presente invención.

Descripción detallada de la invención

Realizaciones de la presente invención se refieren a un aparato y procedimiento para provocar intencionadamente que un compresor de refrigeración utilizado en la producción de LNG consuma toda la potencia disponible de una turbina de gas de único eje (SSGT) que acciona el compresor de refrigeración durante un evento de descarga debido a un bloqueo. El objetivo es frenar el SSGT y hacer que salte una alarma de baja velocidad antes de que se alcance la presión de diseño mecánico (ajuste de alivio de antorcha).

La primera ventaja de la invención es reducir los costes de la planta de LNG. Por ejemplo, se puede reducir el diámetro y longitud de los conductos criogénicos empleados en el sistema de antorcha de la planta LNG, y se puede reducir la altura de la chimenea de la antorcha. Además, la cantidad de gas quemado se puede reducir, consiguiéndose así beneficios económicos y medioambientales.

Las turbinas de único eje (SSGT) (por ejemplo, GE Frame 7EA) se están utilizando para accionar compresores de refrigeración en plantas LNG existentes, y se están considerando para plantas futuras. Una característica del SSGT es que disminuye su velocidad o se frena en respuesta a un desequilibrio de potencia entre la potencia disponible de la

ES 2 314 413 T3

unidad y la potencia requerida por el proceso. El frenado de un SSGT es único porque es un evento que se realimenta positivamente. Cuando la máquina comienza a frenarse, el compresor de aire que suministra aire de combustión a la turbina de gas también disminuye su velocidad, ya que está en el mismo eje. Por tanto, hay menos aire de combustión disponible para la turbina de gas, lo cual conduce a un menor suministro de potencia, y el evento se propaga hasta que la turbina de gas salta por baja velocidad.

En vista de esta característica de frenado, el sistema de reciclaje de alivio de la presente invención puede eliminar una descarga de un compresor bloqueado como el evento de control que tradicionalmente dimensiona la cabecera de la antorcha para una planta de licuado de gas natural. Esto se estima frecuentemente como el máximo flujo de refrigerante en el sistema o la máxima capacidad del compresor (el punto de obstrucción). El flujo de gas de derivación/reciclaje mueve el punto de funcionamiento del compresor hacia la derecha, disminuyendo la relación de compresión. La presión de succión y flujo másico pueden aumentarse hasta que el compresor está funcionando cerca del punto de obstrucción.

Una primera realización de la invención se ilustra en la Figura 1. En cada etapa, una válvula de seguridad de presión (PSV) (102, 202, 302) de reciclado fija, que puede estar situada en la descarga del compresor (104, 204, 304) o corriente abajo del enfriador de salida (106, 206, 306), conduce a través de una tubería gas hacia un tambor de succión (108, 208, 308) opcional. En la Figura 1, un PSV de reciclaje está situado corriente abajo del enfriador de salida en cada etapa, y el refrigerante comprimido se transmite al tambor de succión opcional. Cada PSV tiene un punto de ajuste menor que el PSV (110, 210, 310) de alivio, que está abierta durante un evento de descarga por bloqueo.

Las realizaciones de la presente invención pueden emplear una o más etapas, aunque se ilustran realizaciones que tienen tres etapas en las Figuras 1 y 2. También, algunos de los elementos de las realizaciones mostradas en las Figuras 1 y 2 son opcionales, incluyendo el enfriador de salida (106, 206, 306), el tambor de succión (108, 208, 308), la válvula PSV de alivio (110, 210, 310) en la Figura 1 y las segunda o subsiguientes válvulas de alivio de presión de reciclado (122, 222, 322) en la Figura 2. Por ejemplo, en una variación donde no hay tambor de succión, el PSV (102, 203, 302) de reciclado conduce material directamente de vuelta a la entrada del compresor (104, 204, 304).

Durante un evento de descarga por bloqueo, el flujo másico de refrigerante a través del compresor (104, 204, 304) aumenta, consumiendo así más potencia. Cuando la potencia requerida por los compresores de refrigeración excede la potencia disponible de la turbina de gas y la turbina de vapor/motor de ayuda adicional (no mostrado), la turbina de gas comenzará a frenarse. El PSV (102, 202, 302) de reciclado de cada etapa se dimensiona de forma que la turbina de gas se frena y salta por baja velocidad antes de que se alcance la presión de ajuste del sistema de antorcha (112, 212, 312). Esto elimina la necesidad de dimensionar el sistema de antorcha en respuesta a un evento de bloqueo del compresor de refrigeración. El PSV de reciclaje en cada etapa también puede servir como apoyo a las válvulas (114, 214, 314) anti-sobrecarga.

Existen múltiples modos para conseguir una presión designada para la presión de descarga a la cual se abre la PSV (102, 202, 302) de reciclado y se transmite el gas comprimido hacia la entrada de gas del compresor (104, 204, 304). Por ejemplo, durante un evento de descarga por bloqueo, el PSV de descarga se puede abrir justo cuando el compresor entra en sobrecarga. En el punto de sobrecarga, el sistema tendrá una cierta presión que es una función de múltiples variables, que serán diferentes en cada planta LNG. Las variables clave son las curvas de rendimiento del compresor, el volumen del sistema, y restricciones de seguridad. Alternativamente, la válvula de reciclado puede abrirse a una presión que no está correlacionada con el punto de sobrecarga del compresor. Esto puede ser necesario para asegurar que la turbina de gas salta por baja velocidad antes de que se alcance una restricción de seguridad. Dicha restricción de seguridad puede ser, por ejemplo, que la presión máxima conseguida durante el evento no puede exceder del 92% de la presión de diseño mecánico de alivio de antorcha. La restricción o restricciones de seguridad seleccionadas serán diferentes caso por caso. Por ejemplo, en el ejemplo descrito más abajo, existe una restricción de seguridad de que la presión final del circuito debe ser menor que el 95% de la presión de alivio de antorcha, como se muestra en la Figura 4.

Las válvulas anti-sobrecarga existentes pueden no ser adecuadas para aplicaciones de reciclado de alivio, debido a que las válvulas anti-sobrecarga están dimensionadas específicamente para manejar flujos necesarios para mantener el compresor lejos del límite de sobrecarga (flujo bajo). Similarmente, los controladores anti-sobrecarga se ajustan frecuentemente para mantener el compresor lejos de la sobrecarga, y no necesariamente para frenar la máquina.

En una variación de la primera realización, cada PSV (102, 202, 302) de reciclado puede sustituirse por una válvula de control (CV) manual o automática dimensionada para la misma función que cada PSV de reciclado mostrada en la primera realización.

Otra realización de la invención se ilustra en la Figura 2. Como se muestra, se puede emplear una serie de válvulas (122, 222, 322) (PSV, CV o una combinación de ambas) de alivio de presión de reciclado en paralelo en lugar de una única válvula. Esta serie de válvulas puede estar escalonada para abrir porcentajes establecidos de la máxima potencia de la turbina de gas disponible (por ejemplo, el valor de diseño) y/o porcentajes de la presión de alivio de la antorcha. Por ejemplo, la primera válvula de alivio de presión de reciclado puede abrirse cuando la turbina de gas alcanza el 75% de la máxima potencia; la segunda válvula de alivio de presión de reciclado puede abrirse cuando la turbina de gas alcanza el 85% de la potencia máxima; y la tercera válvula de alivio de presión de reciclado puede

ES 2 314 413 T3

abrirse cuando la turbina de gas alcanza el 95% de la potencia máxima. Múltiples válvulas de alivio de presión de reciclado escalonadas permiten un grado extra de flexibilidad y seguridad para asegurar que, durante una descarga de un compresor bloqueado, la turbina de gas se frenará efectivamente y saltará por baja velocidad antes de que se abra la válvula de alivio de antorcha.

5

En otra realización más de la invención, se instalan elementos de enfriamiento en cada línea de reciclado para aumentar la densidad del fluido. Esto aumenta el flujo másico a través del compresor, consumiendo así la potencia disponible más rápidamente.

10 La presente invención también puede ser beneficiosa cuando una planta LNG está funcionando con bajas cargas. Si se produce un evento de descarga por un compresor bloqueado a niveles de producción más bajos, la invención provocará el comienzo de una situación de alivio menos severa, como, por ejemplo, una situación de alivio que se produce cuando la salida del intercambiador de calor principal del LNG está bloqueado.

15 La presente invención también se puede utilizar con un compresor multi-etapa. Para un compresor de n etapas alojado dentro de una única carcasa (por ejemplo, un compresor de propano en un ciclo de licuación C3MR), la válvula de alivio de presión de reciclado corriente abajo del compresor puede conducir el gas de descarga e vuelta a cualquiera de los tambores de succión, individualmente o en combinación. Es preferible reciclar el gas de descarga al tambor de succión de la primera etapa, de forma que el gas debe viajar a través de todo el compresor de n etapas, consumiendo así más potencia.

20

La presente invención también puede reducir la severidad de la situación de alivio cuando el agua de refrigeración se pierde por el super-calentador de propano del ciclo de licuación C3MR.

25 **Ejemplo**

Una realización de la invención que funciona de acuerdo con la Figura 1 se ilustra para una situación en la que deja de funcionar una válvula 114 anti-sobrecarga. Se producen las siguientes operaciones:

30

(1) En $t=0,0005$ horas, se simula un bloqueo de la descarga del compresor 104.

(2) En $t=0,0041$ horas, el compresor 104 está a punto de entrar en sobrecarga. La PSV 102 de reciclado se abre y el gas comprimido fluye de vuelta al tambor 108 de succión.

35

(3) En $t=0,0061$ horas, el material refrigerante de reciclado que fluye de vuelta al tambor de succión y el incremento de la capacidad del compresor 104 consume toda la potencia disponible de la turbina de gas. La turbina de gas comienza a frenarse.

40

(4) En $t=0,0083$ horas, la turbina de gas alcanza la velocidad a la que se produce un disparo por alarma de baja velocidad y la simulación se detiene. La turbina de gas salta por baja velocidad antes de que se alcance la presión de alivio de antorcha, y por lo tanto la PSV 110 de alivio no se abre.

La Figura 3, que es un resultado de la simulación del frenado de una SSGT, muestra la potencia consumida por los compresores 104 y 204 durante la simulación, la potencia de la turbina de gas y la velocidad de la turbina de gas. Como se muestra en la Figura 3, la velocidad cae muy rápidamente cuando toda la potencia disponible de la turbina de gas se ha consumido. Los datos terminan en el punto en que la turbina de gas alcanza su velocidad de salto por baja velocidad, provocando el comienzo de la parada de la turbina. Para conseguir este resultado, la PSV de reciclado dedicada se debe dimensionar adecuadamente.

45

La Figura 4 muestra la presión de descarga del compresor 104 durante un evento de descarga por bloqueo. Sin el uso de la presente invención, la presión hubiese continuado subiendo en $t=0,0045$ horas hacia la presión de alivio para comenzar el quemado a una presión representada por la línea discontinua de la Figura 4, requiriendo así la apertura de la PSV 110. En esta situación, el sistema de antorcha tendría que estar dimensionado para manejar todo el flujo de descarga del compresor. Empleando la presente invención, sin embargo, es posible forzar la parada de la turbina de gas antes de que se alcance la presión de alivio de antorcha y se abra la PSV 110. La Figura 4 muestra cómo la presión inicialmente crece y luego decrece cuando se abre la PSV 102 de reciclado, y la presión vuelve a crecer de nuevo con el tiempo. Sin embargo, cuando la presión vuelve a crecer en el circuito, se produce el frenado y la turbina de gas alcanza su ajuste de baja velocidad sin que se haya abierto la PSV 110 de alivio hacia el sistema 112 de antorcha.

55

Aunque la presente invención se ha ilustrado y descrito en el presente documento con referencia a ciertas realizaciones específicas, sin embargo no se pretende que esté limitada a los detalles mostrados. Al contrario, se pueden realizar múltiples modificaciones sin salirse del ámbito de la invención según se define en las siguientes reivindicaciones.

65

ES 2 314 413 T3

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de compresión de gas, que comprende

(a) un medio de accionamiento;

(b) un compresor de refrigeración (104; 204; 304) accionado por el medio de accionamiento y que tiene una entrada y una salida;

(c) una válvula (110; 210; 310) de seguridad de presión de alivio que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida del compresor de refrigeración, una salida (112; 212; 312) y un punto de ajuste; y

(d) una válvula (102; 202; 302; 122; 222; 322) de seguridad de presión de reciclado que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida del compresor de refrigeración, una salida en comunicación fluida con la entrada del compresor de refrigeración, y un punto de ajuste que es menor que el punto de ajuste de la válvula de seguridad de presión de alivio de (c).

2. Un sistema de compresión de gas de acuerdo con la reivindicación 1, que además comprende:

(e) un compresor (110; 210; 310) adicional accionado por el medio de accionamiento y que tiene una entrada y una salida, donde la entrada está adaptada para recibir gas de la salida del compresor de refrigeración (110; 210; 310);

(f) una válvula (110; 210; 310) de seguridad de presión de alivio que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida del compresor adicional, y una salida (112; 212; 312) y un punto de ajuste; y

(g) una válvula (102; 202; 302; 122; 222; 322) de seguridad de presión de reciclado que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida del compresor adicional, y una salida en comunicación fluida con la entrada del compresor adicional, y un punto de ajuste que es menor que el punto de ajuste de la válvula de seguridad de presión de alivio de (f).

3. Un sistema de compresión de gas de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que además comprende una válvula (122; 222; 322) de seguridad de presión de reciclado que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida del compresor de refrigeración, una salida en comunicación fluida con la entrada del compresor de refrigeración, y un punto de ajuste que es menor que el punto de ajuste de la válvula de seguridad de presión de alivio de (c), donde el medio de accionamiento es una turbina de gas que tiene una potencia máxima, donde la válvula de seguridad de presión de reciclado de (d) está adaptada para abrirse cuando la turbina de gas alcanza un primer porcentaje de su potencia máxima, y donde la válvula de seguridad de presión de reciclado adicional está adaptada para abrirse cuando la turbina de gas alcanza un segundo porcentaje de su máxima potencia que es mayor que el primer porcentaje de su máxima potencia.

4. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el medio de accionamiento es una turbina de gas.

5. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 4, donde el medio de accionamiento es una turbina de gas de único eje.

6. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la(s) válvula(s) de seguridad de presión de reciclado se abre(n) cuando el medio de accionamiento alcanza un porcentaje designado respectivo de la máxima potencia del medio de accionamiento.

7. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende medios de conducto en comunicación fluida entre la entrada de gas y la válvula de seguridad de presión de reciclado para suministrar, a la entrada de gas, gas comprimido de la válvula de seguridad de presión de reciclado cuando la presión de descarga alcanza la presión designada, incrementando así el flujo másico a través del compresor y regulando el medio de accionamiento.

8. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 7, donde dicho medio de conducto comprende un recipiente (108; 208; 308) en comunicación fluida con la entrada de gas.

9. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 7 o la reivindicación 8, donde al menos una válvula (122; 222; 322) de seguridad de presión de reciclado está en comunicación fluida con la salida de gas para recibir una corriente adicional del gas comprimido y se abre cuando la presión de descarga de la salida de gas alcanza una presión designada respectiva y donde el medio de conducto está en comunicación fluida entre la entrada del gas y dicho(s) dispositivo(s) de alivio de presión de reciclado adicional(es) para suministrar, a la entrada de gas, gas comprimido de el(los) dispositivo(s) de alivio de presión de reciclado adicional(es) cuando la presión de descarga alcanza la presión designada respectiva, aumentando así el flujo másico a través del compresor.

ES 2 314 413 T3

10. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, donde;

el compresor es un compresor de gas multi-etapa que tiene una entrada de gas para cada etapa y una salida de gas para cada etapa;

hay una válvula de seguridad de presión de reciclado respectiva en comunicación fluida con cada salida de gas; y

el medio de conducto está en comunicación fluida entre al menos una de las entradas de gas y las respectivas válvulas de seguridad de presión de reciclado.

11. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 10, donde el medio de conducto proporciona comunicación fluida entre cada entrada de gas y la respectiva válvula de seguridad de presión de reciclado que recibe el gas comprimido de la misma etapa.

12. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 10, donde el medio de conducto proporciona comunicación fluida entre la entrada de gas de una etapa intermedia y al menos alguna de la respectiva válvula de seguridad de presión de reciclado que recibe gas comprimido de la(s) última(s) etapa(s).

13. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, donde el medio de conducto comprende medios de refrigeración (106; 206; 306) para incrementar la densidad del fluido del gas comprimido reciclado.

14. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde dicha válvula de seguridad de presión de alivio recibe una corriente adicional del gas comprimido y se abre para ventear el gas comprimido cuando la presión de descarga de la salida de gas alcanza una presión designada por encima de la presión a la cual todas las válvulas de seguridad de presión de reciclado que reciben el gas comprimido de dicha salida se abren.

15. Un procedimiento de funcionamiento de un compresor de refrigeración accionado por una turbina de gas de único eje, que comprende:

(a) proporcionar un sistema de compresión que incluye:

(1) un compresor de refrigeración y una turbina de gas de único eje adaptada para accionar el compresor de refrigeración, donde el compresor de refrigeración tiene una entrada y una línea de salida que conducen a una salida del compresor;

(2) una válvula de seguridad de presión de alivio que tiene una entrada en comunicación fluida con la línea de descarga del compresor de refrigeración, una salida y un punto de ajuste; y

(3) una válvula de seguridad de presión de reciclaje que tiene una entrada en comunicación fluida con la línea de descarga del compresor de refrigeración, una salida en comunicación fluida con la entrada del compresor de refrigeración, y un punto de ajuste que es menor que el punto de ajuste de la válvula de seguridad de presión de alivio;

b) bloquear la salida del compresor;

c) provocar que la válvula de seguridad de presión de reciclado se abra y permitir que el gas comprimido fluya hacia la entrada del compresor de refrigeración, aumentando así la capacidad del compresor de refrigeración, consumiendo toda la potencia disponible de la turbina de gas, y provocando que la turbina de gas se frene; y

d) provocar que la turbina de gas salte por baja velocidad.

16. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, donde porciones adicionales del gas comprimido se reciclan hacia la entrada de gas cuando la presión de descarga alcanza una o más de las respectivas presiones superiores designadas.

17. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16, donde dicha presión respectiva designada se determina a partir de un porcentaje designado de la máxima potencia del medio de accionamiento.

18. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17 para limitar la carga de antorcha durante un evento de descarga por bloqueo del compresor en una planta LNG base **caracterizada** porque, cuando la presión de descarga de gas comprimido desde la salida de gas alcanza una presión designada menor que la presión a la que se apaga la antorcha, al menos una porción del gas comprimido es reciclado hacia la entrada de gas, aumentando así el flujo másico a través del compresor y frenando el medio de accionamiento.

19. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 18, donde porciones adicionales del gas comprimido se reciclan hacia la entrada de gas cuando la presión de descarga alcanza una o más de las presiones superiores designadas respectivas menores que la presión a la que se produce el apagado de la antorcha.

ES 2 314 413 T3

20. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 19, donde dicha presión designada respectiva se determina a partir de un porcentaje designado de la máxima potencia del medio de accionamiento.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

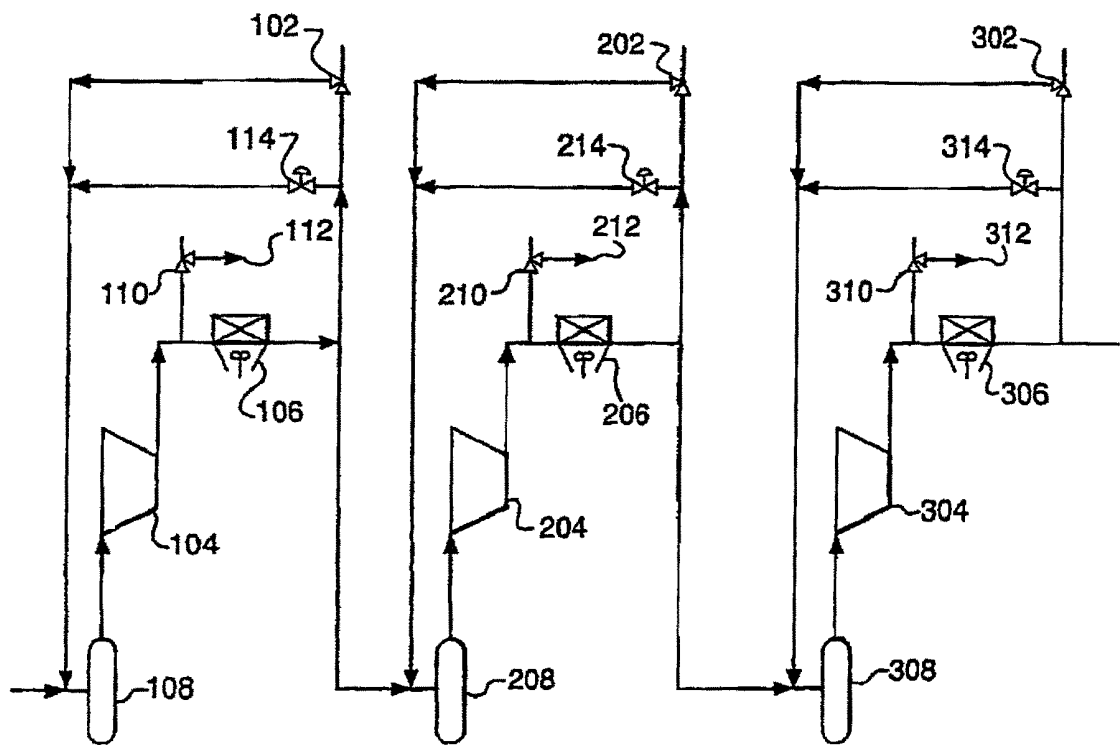


FIG. 1

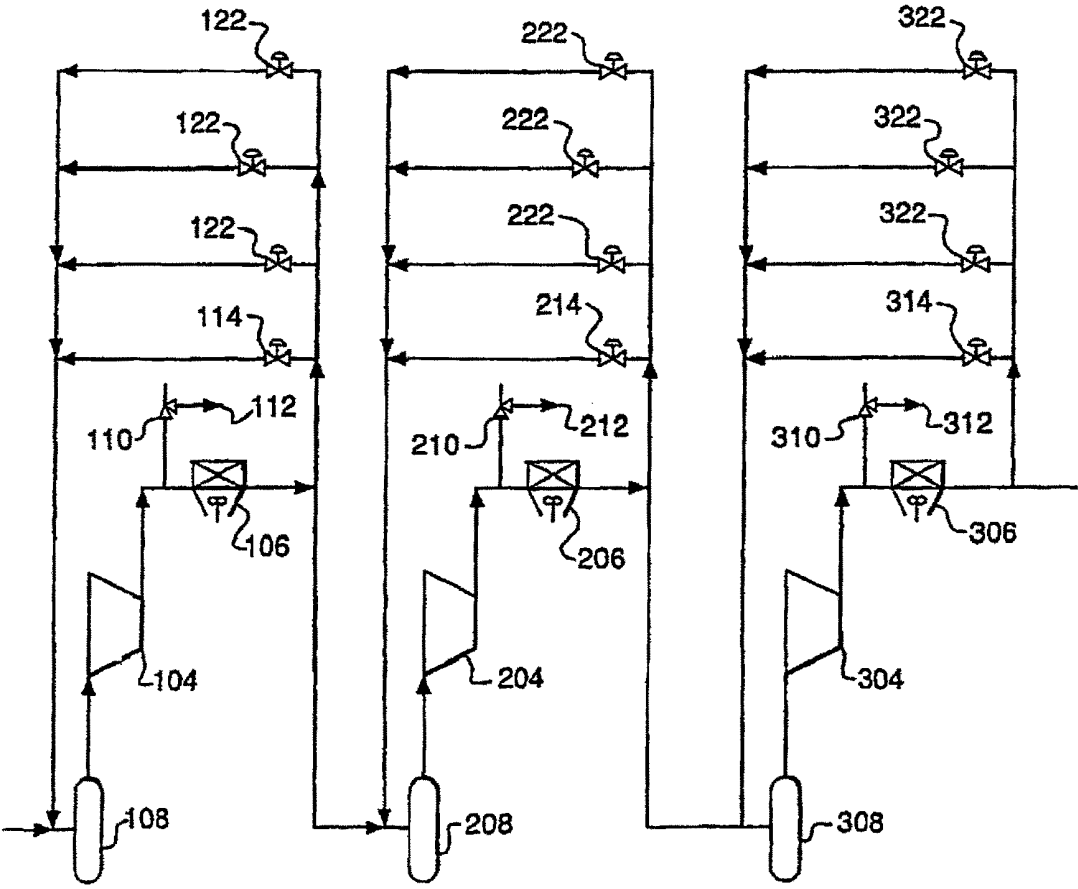


FIG. 2

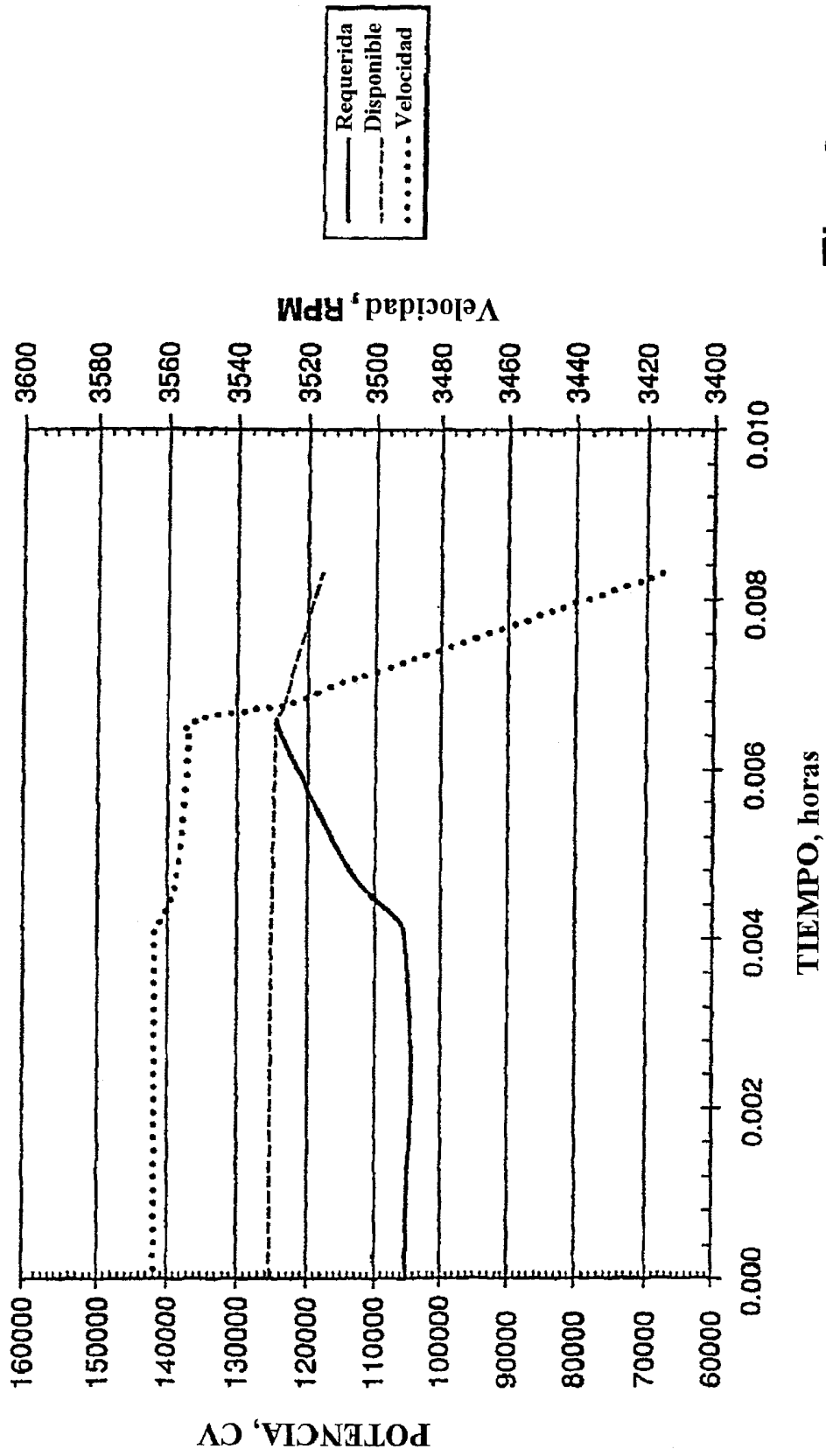


Fig. 3

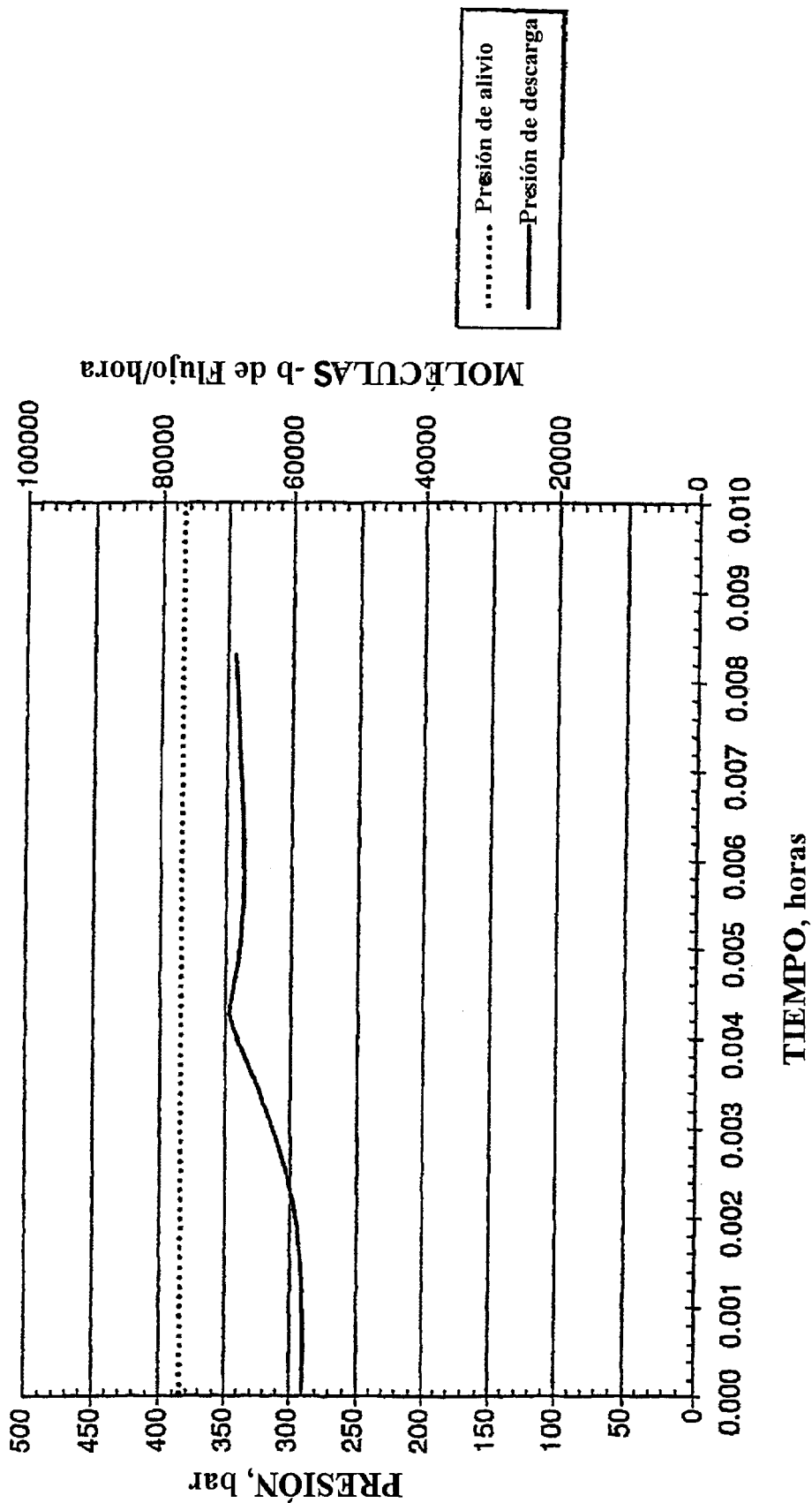


FIG. 4