(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 707 338**

(51) Int. CI.:

F01K 3/00	(2006.01)	***B60K 3/02***	(2006.01)
F01K 15/02	(2006.01)	***B60K 3/04***	(2006.01)
F01K 21/00	(2006.01)	***B60K 6/00***	(2006.01)
F01K 21/02	(2006.01)	***B60W 20/40***	(2006.01)
F01K 23/06	(2006.01)		
F01K 23/10	(2006.01)		
F01K 23/12	(2006.01)		
F01K 23/14	(2006.01)		
F01K 23/18	(2006.01)		
F01K 25/10	(2006.01)		

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2014 PCT/GB2014/050089**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **17.07.2014 WO14108706**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2014 E 14700129 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 2943661**

(54) Título: **Sistema que comprende un motor criogénico**

(30) Prioridad:

11.01.2013 GB 201300496

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.04.2019

(73) Titular/es:

DEARMAN ENGINE COMPANY LTD (100.0%)
Unit 5 Stafford Cross Business Park, Stafford Road
Croydon CR0 4TU, GB

(72) Inventor/es:

AYRES, MICHAEL;
CLARKE, HENRY y
DEARMAN, MICHAEL

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

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

Sistema que comprende un motor criogénico

Campo de la invención

La invención se refiere a un sistema que comprende un motor criogénico y un aparato de generación de potencia que produce calor residual (tal como un motor de combustión, una celda de combustible, etc.) usado en una configuración híbrida para la producción de potencia en aplicaciones móviles y estáticas.

Antecedentes de la invención

Los sistemas de motores criogénicos operan mediante la vaporización de un líquido criogénico (por ejemplo aire líquido, nitrógeno, oxígeno o gas natural líquido, etc.) en un espacio cerrado y usando el gas presurizado resultante para hacer el trabajo girando una turbina o empujando un pistón. Una característica conocida de los sistemas de motores criogénicos es que elevar la temperatura de pico de ciclo aumentará su salida de trabajo. De hecho, debido a la temperatura baja de inicio de ciclo, se pueden lograr eficiencias de conversión muy altas de calor en potencia del eje. Sin embargo, esto es a costa de la entrada de energía para producir los fluidos de trabajo criogénicos requeridos para la operación del motor criogénico. Esta entrada de energía se traduce en un coste financiero que es crucial tener en cuenta al evaluar el caso de negocios para el uso de un motor criogénico para convertir el calor por encima de la temperatura ambiente en potencia del eje.

Cantidades muy grandes de calor residual son generadas por procesos industriales y de transporte a nivel mundial. Por ejemplo, un motor automotriz de combustión interna (IC) solo puede convertir 30-40% de la energía disponible de su entrada de combustible en potencia del eje; casi toda la energía restante se pierde como calor a través del radiador, interenfriador y sistemas de escape. Actualmente, existe un número de tecnologías dirigidas principalmente al calor residual de alto grado (>>100'C) como turbocomposición, ciclos de vapor, ciclos de Rankine orgánicos y generación termoeléctrica. Sin embargo, muy pocas tecnologías apuntan al calor residual de bajo grado y los rendimientos son típicamente bastante bajos (por ejemplo <5% de eficiencia de conversión).

Los motores criogénicos son potencialmente atractivos para la recuperación de calor residual. Usan fluidos de trabajo a muy baja temperatura y así pueden actuar como un sumidero frío para ciclos de potencia de recuperación de calor de muy alto rendimiento, incluso con fuentes de calor residual de grado relativamente bajo. El examen de la Eficiencia de Carnot con un fluido de trabajo de nitrógeno líquido y una temperatura pico de ciclo de 100'C (373.15K) lo demuestra.

Sin embargo, a diferencia de muchos otros dispositivos de recuperación de calor residual, el fluido de trabajo para estos motores criogénicos se usa típicamente en un ciclo abierto (es decir se agota después del uso) ya que una planta de producción de líquido criogénico es demasiado costosa, ineficiente y voluminosa para aplicaciones estáticas y móviles a pequeña escala (por ejemplo sub-5MW). Por consiguiente, a diferencia de muchos otros dispositivos de recuperación de calor residual, motores criogénicos tienen costes de operación sustanciales asociados con su consumo de fluido de trabajo. Adicionalmente, el fluido criogénico se agota durante el ciclo de trabajo de la máquina.

En general, la técnica anterior ha tendido a ignorar este problema. Por ejemplo el propósito de la invención que se divulga en el documento US 6,891,850 era usar calor residual solamente para proporcionar una corriente presurizada de gas para algún otro uso, en vez de generar potencia del eje. Alternativamente, se han hecho intentos para resolver el problema a través de elevar la temperatura de ciclo a un nivel muy alto para subir la energía específica del fluido de trabajo criogénico. Por ejemplo, el documento US 4,354,565 divulga una temperatura pico de ciclo de más de 900 °C. Estos dos enfoques tienen desventajas cuando se aplican a aplicaciones que valoran la potencia generada; el primero no genera ninguna potencia del fluido de trabajo y el segundo no es relevante para el calor residual de bajo grado rechazado por los motores IC y las celdas de combustible. Adicionalmente, a estas temperaturas más altas los ciclos cerrados con otros fluidos de trabajo se vuelven factibles y por consiguiente estos sistemas tienden a tener un alto nivel de complejidad.

El documento US 6,202,782 describe un sistema de propulsión híbrido en el que se usa almacenamiento térmico de tal manera que una turbina de gas puede ser operada intermitentemente para impulsar un ciclo Rankin. El calor de los gases de escape se almacena en un acumulador para accionar un ciclo de expansión secundario.

Los documentos US 4,226,294, 4,359,118 y 4,354,656 divulga un ciclo de potencia basado en nitrógeno líquido o aire donde la fuente principal de calor es un horno de alta temperatura. El calor se recupera de un número de otras fuentes (dos en 4,359,118) pero no hay suministro de un sistema que pueda operar de manera dinámica.

El documento US 2010/0083940 usa un fluido criogénico (aire líquido) para enfriar el aire de entrada de un motor de combustión. Aunque este enfoque aumenta la eficiencia del motor de combustión, no usa el criógeno como un fluido de trabajo para producir potencia.

El documento JPS55148907 divulga un sistema combinado que comprende una turbina de gas y un motor criogénico que usa LNG vaporizado.

Muchos casos de motor criogénico y acoplamiento de fuente de potencia productora de calor divulgados en la técnica anterior involucran el consumo de calor por el motor criogénico que opera a medida que se genera calor. Es subóptimo operar un motor criogénico de esta manera. La técnica anterior no permite que se haga nada útil con el calor emitido por la operación de la fuente de potencia productora de calor cuando el motor criogénico no está funcionando.

Por lo tanto, existe una necesidad de un medio económicamente viable de usar un motor criogénico para convertir el calor por encima de la temperatura ambiente de cualquier fuente de residuo (por ejemplo un motor de combustión interna, una celda de combustible u otro proceso generador de calor coubicado) en potencia del eje adicional.

Otro aspecto del uso de fluidos de trabajo criogénicos es su baja temperatura lo que significa que pueden proporcionar enfriamiento a los procesos de coubicación. Sin embargo, existe una necesidad de un sistema en el que el enfriamiento, así como la potencia del eje de un motor criogénico, es proporcionado por el fluido de trabajo de un motor criogénico. Un enfoque que extraiga el máximo beneficio de cada kg de fluido de trabajo consumido utilizando tanto la capacidad productora de frío como la de trabajo es probable que maximice el beneficio económico de un motor criogénico usado de esta manera. En este respecto, también existe un requisito para mejorar las eficiencias generales de los sistemas de generación de potencia en general y sistemas que incorporan motores criogénicos en particular, y aunque se pueden lograr algunas ganancias de eficiencia a través del acoplamiento térmico, aún más y aparte la eficiencia y de hecho las ganancias de economía se pueden hacer al acoplar de manera mecánica un motor criogénico con otro aparato de generación de potencia. Tales eficiencias y ventajas se logran mediante la presente invención que permite que el sistema en general opere a la mejor ventaja de cada uno de los motores criogénicos y el aparato de generación de potencia separado, mientras que también permite que cada uno sea de un tamaño reducido en relación con la demanda de potencia pico. Cada motor puede optimizarse para la producción de potencia dentro de la banda deseada de rendimiento y puede ser tanto más pequeño y más eficiente de lo que podría ser posible de otro modo si solo se proporcionara la salida de potencia total. La demanda se satisface mediante la operación intermitente de uno u otro o ambos motores dependiendo de la demanda de potencia y esto contrasta completamente con la técnica anterior que tiende a usar el motor criogénico a producción completa todo el tiempo.

Resumen de la invención

La invención se define por el contenido de la reivindicación 1 independiente anexa. El sistema de la reivindicación 1 entre otros comprende: un motor criogénico que tiene un primer miembro de salida de potencia motriz; un aparato de generación de potencia que tiene un segundo miembro de salida de potencia motriz; un sistema de transmisión conectado de operativamente para recibir entradas de potencia motriz desde uno u otro o ambos del primer y el segundo miembros de salida de potencia motriz; y una salida de transmisión conectada operativamente para recibir potencia motriz del sistema de transmisión.

La disposición anterior permite el accionamiento selectivo, individual o combinado de uno o más de los dos medios para proporcionar potencia y permitirá que el sistema opere de manera selectiva los motores individualmente o en combinación de forma intermitente para satisfacer mejor la demanda de potencia mientras también opera los motores de una manera que mejor coincida con su eficiencia óptima y capacidades de rendimiento. Una disposición tal se distingue de la disposición "criogénica constante" de la técnica anterior y es particularmente beneficiosa en la disposición "completamente dinámica" como se discute dentro de esta especificación de patente.

El sistema incluye además un controlador para controlar la operación de cada uno de los motores criogénicos y el aparato de generación de potencia para causar el suministro de potencia motriz desde uno u otro o ambos del mismo a dicho sistema de transmisión.

Convenientemente, los miembros de salida comprenden ejes de accionamiento.

En una disposición preferida, el sistema de transmisión incluye un mecanismo de adición y en donde el primer y segundo miembros de salida de potencia motriz están cada uno acoplados a dicho mecanismo de adición y en donde el sistema de transmisión incluye un miembro de salida final común que se comparte entre el motor criogénico y el aparato de generación de potencia, y el motor criogénico y el aparato de generación de potencia están configurados para generar potencia a través del miembro de salida de potencia final común que también puede estar provisto con un embrague entre él y cualquier salida de potencia final.

Ventajosamente, el sistema incluye además el primer y segundo conjuntos de ruedas accionadas conectados operativamente a dicho sistema de transmisión para recibir potencia motriz desde ahí.

Preferiblemente, el sistema incluye además un primer embrague entre los primeros conjuntos de ruedas accionadas y la transmisión.

Ventajosamente, el sistema incluye un segundo embrague entre los segundos conjuntos de ruedas accionadas y la transmisión.

Ventajosamente, el sistema incluye además primer y segundo miembros de salida auxiliar separados operativamente conectados al sistema de transmisión para recibir potencia motriz de uno u otro del motor criogénico o el aparato de generación de potencia, dichos miembros de salida auxiliares también están configurados para dirigir la potencia motriz conjuntos de ruedas accionadas individuales y separadas.

El motor criogénico y el aparato de generación de potencia pueden estar acoplados (por ejemplo mecánicamente) entre sí de tal manera que los medios de salida se compartan entre el motor criogénico y el aparato de generación de potencia, y el motor criogénico y el aparato de generación de potencia están configurados para generar potencia de forma selectiva a través de los medios de salida.

El motor criogénico puede comprender:

un primer tanque para almacenar un fluido de trabajo del motor criogénico;

un tanque de fluido de intercambio de calor (HEF) para almacenar un fluido de intercambio de calor, en donde el fluido de intercambio de calor está configurado para transferir calor al fluido de trabajo del motor criogénico; un bloque de motor criogénico que comprende al menos un expansor para extraer potencia del fluido de trabajo expandiendo el fluido de trabajo, y generando la potencia extraída a través de un medio de salida; y una recuperación de HEF para recuperar HEF después de que el HEF haya transferido calor al fluido de trabajo.

El motor criogénico puede comprender además:

al menos una bomba de fluido de trabajo y/o al menos un inyector de fluido de trabajo para transferir el fluido de trabajo del primer tanque al bloque de motor criogénico; y

al menos una bomba de HEF para transferir HEF desde el tanque de HEF al bloque de motor criogénico.

El HEF se puede introducir directamente en el al menos un expansor para mezclar el HEF con el fluido de trabajo en el expansor para permitir que el HEF transfiera calor al fluido de trabajo. Alternativamente o adicionalmente, el bloque de motor criogénico puede comprender además al menos un premezclador para mezclar el HEF con el fluido de trabajo antes de que el fluido de trabajo se introduzca en el al menos un expansor.

El motor criogénico puede comprender además al menos un intercambiador de calor auxiliar para transferir calor al HEF antes de que el HEF se introduzca en el bloque de motor criogénico.

El motor criogénico y el sistema de generación de potencia pueden acoplarse entre sí para permitir la transferencia de energía térmica entre el motor criogénico y el sistema de generación de potencia. El sistema puede comprender además un primer medio de transferencia configurado para transferir calor residual expulsado por el aparato de generación de potencia al sistema de motor criogénico.

Un tanque HEF del motor criogénico está integrado con el aparato de generación de potencia. Los primeros medios de transferencia pueden configurarse para transferir calor residual expulsado por el aparato de generación de potencia al tanque de HEF. El tanque de HEF puede configurarse para almacenar calor residual expulsado por el aparato de generación de potencia, y puede estar aislado y/o comprender un medio de almacenamiento de energía térmica, tal como un material de cambio de fase.

El aparato de generación de potencia puede comprender opcionalmente un medio de rechazo de calor (por ejemplo un radiador) para expulsar calor residual del aparato de generación de potencia. Los medios de rechazo de calor pueden expulsar calor residual del sistema.

El motor criogénico y el aparato de generación de potencia se pueden desacoplar entre sí para permitir la expulsión de calor residual del sistema de generación de potencia mientras el motor criogénico no está en operación. Alternativamente o adicionalmente, el motor criogénico y el aparato de generación de potencia pueden estar parcialmente desacoplados entre sí para permitir la expulsión de calor residual del sistema de generación de potencia a través de los medios de rechazo de calor mientras el motor criogénico está en operación.

El motor criogénico y el aparato de generación de potencia pueden acoplarse entre sí de tal manera que un fluido de trabajo del motor criogénico proporcione enfriamiento al aparato de generación de potencia.

El motor criogénico y el aparato de generación de potencia pueden estar acoplados entre sí, tal que el fluido de trabajo del motor criogénico proporciona enfriamiento al aparato de generación de potencia de manera intermitente.

La evaporación del fluido de trabajo del motor criogénico, por ejemplo del tanque y/o bomba y/o inyector, puede proporcionar enfriamiento al aparato de generación de potencia. Alternativamente o adicionalmente, una porción del fluido de trabajo del motor criogénico puede apartarse específicamente para proporcionar enfriamiento al aparato de generación de potencia. Un ejemplo de cómo se puede usar este enfriamiento es el fluido de trabajo del motor criogénico que se puede inyectar en un flujo de aire de entrada del aparato de generación de potencia (por ejemplo si es un motor IC) a través de una válvula de control o serie de válvulas de control. El fluido de trabajo del motor criogénico puede ser capaz de proporcionar sustancialmente todo el flujo de aire de entrada del aparato de generación de potencia. El fluido de trabajo de un escape del motor criogénico puede proporcionar enfriamiento al aparato de generación de potencia.

El motor criogénico y el aparato de generación de potencia se acoplan entre sí para permitir que el motor criogénico y el aparato de generación de potencia generen potencia a través de los medios de salida independientemente entre sí y en cooperación entre sí.

El sistema puede ser operable en un primer modo, un segundo modo y un tercer modo, en donde:

en el primer modo, uno del motor criogénico y el aparato de generación de potencia genera potencia a través de los medios de salida;

en el segundo modo, uno del motor criogénico y el aparato de generación de potencia genera potencia a través de los medios de salida; y

en el tercer modo, tanto el motor criogénico como el aparato de generación de potencia generan potencia a través de los medios de salida.

Uno del motor criogénico y el aparato de generación de potencia puede generar potencia a través de los medios de salida en el primer modo, y el otro del motor criogénico y el aparato de generación de potencia puede generar potencia a través de la salida en el segundo modo.

El sistema puede configurarse para operar en el primer modo por debajo de un primer umbral predeterminado y en el segundo modo por encima del primer umbral de salida de potencia predeterminado de sistema.

El sistema puede configurarse para operar en el segundo modo por debajo de un segundo umbral predeterminado y en el tercer modo por encima del segundo umbral de salida de potencia predeterminado de sistema.

El segundo umbral predeterminado puede corresponder a una salida de potencia de sistema más alta que el primer umbral predeterminado.

Un fluido de trabajo del motor criogénico puede comprender al menos uno de nitrógeno líquido, aire líquido, gas natural licuado, hidrógeno, dióxido de carbono, oxígeno, argón, aire comprimido o gas natural comprimido.

El aparato de generación de potencia puede comprender al menos uno de un motor de combustión interna (IC), motor de combustión externa, celda de combustible, batería o aparato nuclear que produce calor residual como un subproducto de la generación de potencia.

También se proporciona un vehículo accionado por un sistema de acuerdo con la invención. También se proporciona una unidad de potencia estática accionada por un sistema de acuerdo con la invención.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá ahora, solo a manera de ejemplo, con referencia a los dibujos acompañantes, en los que:

La figura 1 ilustra un vehículo en la forma de, por ejemplo, un bus en el que se puede proporcionar el sistema de la presente invención;

La figura 2 es una vista esquemática de un sistema de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 3 es una representación esquemática de un sistema de acoplamiento mecánico para el acoplamiento mecánico en el sistema de la figura 2;

La figura 4 es una vista esquemática de un primer acoplamiento térmico de un sistema de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 5 es una vista esquemática de un segundo acoplamiento térmico de un sistema de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 6 es una vista esquemática de disposiciones de válvulas alternativas de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 7 es una vista esquemática de una primera disposición de enfriamiento de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 8 es una vista esquemática de una segunda disposición de enfriamiento de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 9 es una vista esquemática de una tercera disposición de enfriamiento con turbocarga de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 10 es una vista esquemática de una cuarta disposición de enfriamiento con turbocarga de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 11 es una vista esquemática de una quinta disposición de enfriamiento con turbocarga de acuerdo con una realización de la invención; y

La figura 12 es una vista esquemática de un ciclo de accionamiento que involucra un evento de aceleración/desaceleración adecuado para ser alimentado por un sistema de acuerdo con la invención.

En las figuras, las características similares se denotan mediante números de referencia similares.

Descripción detallada de los dibujos

La invención se refiere a un acoplamiento entre un motor criogénico y un aparato de generación de potencia. Un ejemplo de realización de un sistema 100 que comprende un motor 10 criogénico y un acoplamiento de motor 50 de combustión interna (IC) se muestra en la figura 2. Sin embargo, cualquier otro aparato de generación de potencia, tal como un aparato de celda de combustible, podría usarse en lugar de un motor IC. El motor 10 criogénico y el aparato 50 de generación de potencia (un motor IC en la figura 1) están acoplados entre sí para permitir que el motor criogénico y el aparato de generación de potencia trabajen de manera cooperativa entre sí.

El sistema está configurado para generar potencia a través de un medio 80 de salida, tal como un eje de accionamiento, transmisión eléctrica, sistema hidráulico u otros medios de transmisión de potencia. El medio de salida está configurado para accionar cualquier mecanismo adecuado. Por ejemplo, el sistema de la presente invención se puede usar para accionar un vehículo en una manera tipo híbrida, como se describe en detalle a continuación.

El motor 10 criogénico y el aparato 50 de generación de potencia están acoplados (por ejemplo mecánicamente) entre sí de tal manera que el medio 80 de salida se comparte entre el motor 10 criogénico y el aparato 50 de generación de potencia, y el motor 10 criogénico y el aparato 50 de generación de potencia están configurados para generar potencia individualmente o en combinación a través del medio 80 de salida.

El motor 10 criogénico en la realización que se muestra en la figura 2 comprende un primer tanque 12 para almacenar un fluido de trabajo del motor criogénico, un tanque 14 de fluido de intercambio de calor (HEF) para almacenar un fluido de intercambio de calor, un bloque 16 de motor criogénico que comprende al menos un expansor para extraer potencia del fluido de trabajo mezclando el fluido de trabajo con el fluido de intercambio de calor para expandir el fluido de trabajo, y generar la potencia extraída a través del medio 80 de salida, y una recuperación 18 de HEF para recuperar el HEF después de que el HEF se haya mezclado con el fluido de trabajo dentro del al menos un expansor y expulsado por el al menos un expansor en el bloque 16 de motor criogénico. El motor 10 criogénico comprende además una bomba 20 de fluido de trabajo, un inyector 22 de fluido de trabajo para transferir fluido de trabajo desde el primer tanque 12 al bloque 16 de motor criogénico, y una bomba 24 de HEF para transferir HEF desde el tanque 14 HEF al bloque 16 de motor criogénico.

Aunque la mezcla directa entre el HEF y el fluido de trabajo en el expansor se describe específicamente anteriormente, se entenderá que otros medios de transferencia de calor (directos o indirectos) podrían usarse igualmente, tal como mezclar el HEF con el fluido de trabajo en una o más premezclas o usar un intercambiador de calor, antes de introducir el fluido de trabajo en expansor. Alternativamente, la transferencia de calor puede tener lugar entre el fluido de trabajo de un motor criogénico y cualquier sistema productor de calor, tal como un sistema de refrigeración o celda de combustible por ejemplo, o cualquier fluido dentro de un sistema productor de calor tal.

En el sistema que se muestra en la figura 2, ambos motores 10, 50 usan un solo fluido de intercambio de calor (HEF) de calentamiento/refrigeración al que se accede independientemente desde un solo tanque 14 de almacenamiento a

través de una bomba o bombas. El HEF caliente sale del motor 50 IC, opcionalmente a través del radiador 52 de respaldo al tanque de HEF. Antes de suministrar al bloque 16 de motor criogénico, el HEF del tanque 14 de HEF se puede calentar adicionalmente mediante intercambiadores 26 de calor auxiliares que proporcionan calor de tales sistemas como un enfriador de carga de aire, enfriador de aceite, sistema de frenado, recirculación de gases de escape (EGR) o escape ya sea directamente o indirectamente a través de ciclos de potencia de circuito cerrado adicionales En algunas realizaciones, es deseable tener un retorno directo al tanque 14 de HEF para que estos intercambiadores 26 de calor auxiliares aumenten el control. La interacción de fluido de trabajo se muestra en la figura 1 con las alimentaciones de un escape 28, tanque 12 de criógeno, bomba 20 e inyectores 22 del motor 10 criogénico que suministran fluido de trabajo a un sistema 54 de entrada de aire del motor 50 IC con el propósito de enfriar y/o turbocargar.

El motor 10 criogénico y el aparato 50 de generación de potencia están conectados mecánicamente de tal manera que se puede proporcionar potencia a los medios de salida (por ejemplo eje de accionamiento) 80 ya sea por el motor 10 criogénico o el aparato 80 de generación de potencia que operan individualmente o por ambas unidades que operan juntas. Esto puede realizarse bajo las siguientes disposiciones, que se proporcionan solo a manera de ejemplo. La persona experimentada entenderá que cualquier otra disposición adecuada puede usarse igualmente:

• Acoplamiento indirecto donde cada unidad suministra potencia a un conjunto separado de ruedas de accionamiento, por ejemplo el motor IC acciona las ruedas traseras y el motor criogénico acciona las ruedas principales.

• Acoplamiento indirecto a través de un medio eléctrico o hidráulico. En esta disposición cada unidad de potencia puede accionar un generador eléctrico o una bomba hidráulica y las ruedas de accionamiento están impulsadas por un motor eléctrico o hidráulico. Esto permite tanto un pequeño grado de almacenamiento de energía dentro del sistema de accionamiento a través de una batería o un acumulador, y puede facilitar el frenado regenerativo.

• Acoplamiento directo donde ambas unidades de potencia están conectadas mecánicamente directamente al eje de accionamiento a través de una serie de mecanismos de embrague de tal manera que pueden desengancharse como se desee por el sistema de control.

• Integración directa de las unidades de potencia de tal manera que componen un solo bloque de motor con conexión (mecánica, eléctrica, hidráulica o de otro tipo) al eje de accionamiento.

La figura 3 proporciona una representación esquemática de una disposición de acoplamiento mecánico que puede emplearse como se describe anteriormente. En la figura 3 el motor 10 criogénico y el sistema 50 de generación de potencia están provistos cada uno respectivamente con miembros de salida de potencia motriz en la forma de, por ejemplo, un eje 700, 702 de salida que se conecta a las porciones 704, 706 respectivas del sistema de transmisión que se muestra dentro de líneas de puntos a 100. Las salidas 700, 702 respectivas de los motores 10, 50 pueden acoplarse juntas por medio de un mecanismo 708 de adición dentro del sistema 100 de transmisión y los respectivos embragues 710, 712 se pueden proporcionar para facilitar el acoplamiento y desacoplamiento de los ejes de salida desde el mecanismo de adición como y cuando se desee. Una salida de transmisión común en la forma de, por ejemplo, eje 80c se puede proporcionar desde el mecanismo 708 de adición y conectarse a uno u otro o ambos del primer y segundo conjuntos 714, 716 de ruedas accionadas por medio de un mecanismo 718 de división y más disposiciones 720 y 722 de embrague posicionadas entre el mecanismo 718 de división y sus respectivos conjuntos 714, 716 de ruedas. Los primeros y segundos miembros 724 y 726 de salida auxiliares opcionales o alternativamente proporcionados pueden proporcionarse para acoplar sus respectivos motores 10 y aparatos 50 de generación de potencia a los respectivos conjuntos 714, 716 de ruedas. Se pueden proporcionar más embragues 728, 730 para permitir el acoplamiento y desacoplamiento selectivo de estos miembros de salida. Los respectivos segundo y tercer mecanismos 729, 731 de adición están provistos para recibir potencia del separador 718 o los respectivos primer o segundo miembros 724, 726 de salida auxiliares y para pasar la potencia motriz a sus respectivos conjuntos 714, 716 de pares de ruedas. Cada embrague está provisto de un mecanismo de accionamiento que se muestra esquemáticamente en 732, 734, 736, 738, 740, 742 y cada uno está conectado operativamente a un controlador 750 que es operable para causar la apertura o cierre de los embragues como y cuando se desee.

La disposición anterior puede operarse en un número de maneras dependiendo de la operación del motor 10 y el aparato 50 de generación de potencia. La salida de ambos puede ser tomada por el mecanismo 708 de adición y transmitida al separador 718 antes de ser proporcionada a ambos conjuntos de pares 714, 716 de ruedas enganchando ambos embragues 720 y 722 o cualquiera de uno de los pares de ruedas mediante el desacoplamiento selectivo de uno u otro de los embragues 720, 722. Alternativamente, la salida de uno u otro del motor 10 criogénico o el aparato 50 de generación de potencia puede pasarse al separador 718 y transmitirse a uno u otro o ambos de los conjuntos 714, 716 de pares de ruedas mediante la operación de los embragues como se describe previamente. En un modo alternativo de operación la salida de uno u otro o ambos del motor 10 criogénico y dispositivo 50 de generación de potencia se puede canalizar de manera más directa y por separado a uno u otro de los pares 714, 716 de conjuntos de ruedas. Para hacer esto, los embragues 710 y 712 están desenganchados por el controlador 750 tal como para eliminar el mecanismo 708 de adición de la trayectoria de transmisión y uno u

otro o ambos de los embragues 724 y/o 726 en los miembros 724, 726 de salida auxiliares están enganchados por el controlador 750. Dependiendo del accionamiento o no de los embragues 720 y/o 722, la potencia puede ser transmitida a los pares 714 o 716 de conjuntos de ruedas individuales por uno u otro del motor 10 criogénico o mecanismo 50 de generación de potencia. Por ejemplo, si el embrague 720 se desengancha entonces la potencia del motor 10 criogénico se dirigirá solamente al primer par 714 de conjuntos de ruedas pero si los embragues 720 y 722 están ambos enganchados entonces la potencia del motor 10 puede transmitirse a ambos del primer y segundo pares 714 y 716 de conjuntos de ruedas. En esta última disposición, es posible desacoplar el aparato 50 de generación de potencia al desacoplar el embrague 730. El lector experimentado apreciará que la disposición opuesta también puede ser posible en la que el aparato 50 de generación de potencia se puede usar para accionar uno o más más de los pares 714, 716 de conjunto de ruedas acoplando o desacoplando los embragues respectivos. Por ejemplo, el aparato de generación de potencia se puede usar para accionar el primer par 714 de conjuntos de ruedas activando los embragues 720, 722 y 730, desactivando cada uno de los embragues 710, 712 y 728. Una disposición tal también causaría el giro del mecanismo 708 de adición pero esto puede eliminarse mediante la provisión de un embrague 746 adicional, opcional en la salida 80c común y el accionador 748 asociado conectado al controlador 750 para su accionamiento. Alternativamente, en algunos modos de operación es posible eliminar el mecanismo 708 de adición por completo y hacer que los dos motores 10, 50 proporcionen potencia a través de sus propios ejes 700, 702 de salida a pares 714, 716 de ruedas separados a través de los ejes 724, 726 de salida que entonces ya no son "auxiliares".

La capacidad de los motores criogénicos para convertir incluso fuentes de bajo grado de calor en potencia significa que está disponible un rango muy amplio de fuentes de calor potenciales. Por ejemplo, un motor criogénico puede recuperar útilmente el calor del intercambiador de calor de aceite de un motor IC, preenfriador de aire de carga, escape (convertidor post catalítico), sistema de recirculación de gases de escape, sistema de refrigeración de motor o incluso frenado a través del uso de tecnologías como retardadores eléctricos o hidráulicos, etc. Los intentos de la técnica anterior han supuesto que todo el calor rechazado por el proceso de coubicación (por ejemplo motor IC) debe convertirse en potencia del eje mediante el motor criogénico. Sin embargo, si el coste del fluido de trabajo criogénico es demasiado alto, este régimen operativo es subóptimo. Alternativamente puede haber situaciones donde el fluido de trabajo criogénico se agote pero el usuario aún requiera el proceso de coubicación para funcionar. Como un resultado, una realización de la invención actual incluye el uso de un aparato de rechazo de calor convencional opcional (por ejemplo un radiador) para permitir que el proceso generador de calor/potencia funcione cuando el fluido de trabajo criogénico del motor criogénico se agota. Esto tiene el beneficio de permitir que el motor criogénico coubicado capture y convierta solo la porción de calor rechazada por el aparato de generación de potencia generadora de calor que es óptima para la aplicación particular.

La integración de un sistema de fluido de intercambio de calor de un motor 10 criogénico con un sistema de refrigeración de un motor 80 IC se describe en lo siguiente para dos realizaciones en las que se usa un único fluido o mezcla (tal como anticongelante de agua). Una alternativa es usar fluidos de intercambio de calor múltiple y refrigerantes con intercambiadores de calor líquido/líquido como el punto de interfaz entre ellos. En la realización de fluido de intercambio de calor único y refrigerante, ambos sistemas de ‘bomba doble’ y "riel común" descritos a continuación permiten un número de regímenes operativos que probablemente se encuentren en el funcionamiento de un sistema híbrido de motor IC criogénico que no opera en una proporción de potencia fija. En realizaciones de ejemplo, se usa un tanque de fluido de intercambio de calor (HEF) aislado para almacenar energía térmica expulsada del sistema de motor IC para usar en el sistema de motor criogénico. El tanque de HEF se divide de tal manera que se utiliza una porción más pequeña (por ejemplo, el lado derecho) para almacenar el HEF de mayor temperatura. Esto permite el inevitable enfriamiento del cuerpo principal de HEF, ya que se usa solo para la operación de motor criógeno, mientras que retiene algo de HEF caliente para que circule a través del radiador para el descongelamiento periódico, o para el precalentamiento del bloque de motor IC y el aceite antes de la puesta en marcha. Los dos lados del tanque de HEF están conectados con un rebose de tal manera que cuando el lado caliente está lleno el HEF se derrama en el lado más frío.

En una realización alternativa, el tanque de HEF es un solo tanque, en lugar de un tanque dividido como se describe anteriormente.

La figura 4 muestra un sistema 200 de bomba doble que comprende una bomba separada para proporcionar HEF a cada uno de los motores 10 criogénicos y al aparato 50 de generación de potencia, en este caso un motor IC. Una primera bomba 206 suministra HEF desde una porción enfriadora del tanque 14 de HEF al motor 10 criogénico durante la operación. Al dejar el motor criogénico, el HEF se separa de los gases de escape y fluye a una válvula 205 de tres vías. Si el HEF está por encima de la temperatura ambiente, el HEF retorna a un lado enfriador del tanque 14 de HEF directamente. Si el HEF está por debajo de la temperatura ambiente, se retorna al lado enfriador del tanque 14 de HEF a través de un radiador que proporciona alguna porción de la energía para recalentar el HEF del aire de ambiente. Una bomba 207 suministra HEF al bloque 16 de motor IC y a los intercambiadores de calor auxiliares (tales como enfriadores de aire y aceite de carga). Se usa una válvula 201 para proporcionar HEF desde un lado caliente del tanque 14 de HEF, mientras que su temperatura está por debajo de un valor preestablecido (cerca de 100 °C) o de lo contrario desde el lado enfriador. Otra válvula 204 se usa para retornar el HEF al tanque 14 de HEF a través del radiador si se requiere enfriamiento adicional (por ejemplo solo con operación IC) o de lo contrario directamente.

El HEF desde un lado caliente del tanque 14 de HEF se dirige a través del bloque 16 de motor y los intercambiadores de calor auxiliares para el precalentamiento, o directamente al radiador para el descongelamiento del radiador durante la operación ambiental del motor criogénico mediante la operación apropiada de válvulas 201-204.

Otro sistema 300 de acuerdo con una realización de la invención se muestra en la figura 5. De nuevo, el sistema comprende un motor 10 criogénico y un aparato 50 de generación de potencia, en este caso un motor IC. Como en la figura 4, una bomba 306 suministra HEF al bloque 16 de motor IC y a intercambiadores de calor auxiliares (tal como enfriadores de aire y aceite de carga). Hay un riel común para suministrar HEF a cualquier subsistema (por ejemplo motor IC, intercambiadores de calor auxiliares, radiador, motor criogénico) en el sistema 300 híbrido, y esto se logra a través del control apropiado de las válvulas 301-308. Por lo tanto, el sistema de integración que se muestra en la figura 5 proporciona la misma funcionalidad como la figura 4 mientras que requiere el uso solo de la bomba 306 única.

En las realizaciones anteriores, la operación de válvula es dirigida automáticamente por el sistema de control. El accionamiento se puede lograr por cualquier medio, por ejemplo por solenoide o sistema neumático. Cuando sea beneficioso, cualquiera de las válvulas de tres vías que se muestran en estos sistemas puede reemplazarse por una combinación de válvulas de dos vías y válvulas de retención como se ejemplifica para un subsistema de radiador en una configuración de riel común como se muestra en la figura 6.

Otra característica de la presente invención involucra el uso de fluidos de trabajo criogénicos y su baja temperatura para proporcionar enfriamiento a los procesos de coubicación, tal como un motor IC, también como potencia del eje a través de su uso en un motor criogénico. El enfriamiento se puede obtener del fluido de trabajo criogénico a través de métodos tales como:

Uso de evaporación desde diversos puntos en el sistema de motor criogénico

• Sacrificio de una porción del fluido de trabajo puramente por sus capacidades de enfriamiento

• Operar el motor criogénico de una manera tal que suministre enfriamiento a expensas de la potencia del eje (por ejemplo, permitiendo temperaturas más bajas al final del proceso de expansión)

El enfriamiento puede entonces transferirse a otras partes del sistema a través del contacto directo con el fluido de trabajo, medios de intercambio de calor indirectos o a través de uso de un fluido intermedio adicional.

Este enfriamiento puede usarse para procesos de coubicación que requieren frío, como refrigeración y aire acondicionado. Alternativamente, el enfriamiento puede usarse para mejorar la eficiencia de un proceso productor de calor, tal como un aparato de generación de potencia tal como un motor IC o una celda de combustible. Por ejemplo, es posible enfriar el aire de carga para un motor IC o bajar la temperatura inferior en un ciclo de Rankine orgánico coubicado o generador termoeléctrico. La persona experimentada entenderá que se podrían usar igualmente otros procesos productores de calor adecuados.

El uso de aire líquido (o cualquier otro criógeno adecuado) para potenciar el motor criogénico permite que un sistema de enfriamiento directo compacto se integre con una entrada de aire de motor IC. Es bien conocido que la disminución de la temperatura de entrada puede ser beneficiosa para motores turbo y sobrecargados, reduciendo el trabajo de compresión, la probabilidad de golpe de motor y aumentando la carga de combustible que se puede quemar por la densidad de aire aumentada.

Como se muestra en la figura 7, el fluido de trabajo criogénico, preferiblemente aire líquido en esta realización se toma de un tanque 12 de criógeno, bomba 20 o inyectores 22 de un motor 10 criogénico y se inyecta en un flujo de aire 54 de entrada de un motor 50 IC a través de una válvula 82 de control o serie de válvulas de control. Esta alimentación de criógeno puede ser de un flujo de masa muy bajo asociado con la perdida de evaporación de los subsistemas arriba mencionados, o criógeno purgado deliberadamente a tasas de flujo instantáneas mucho más altas basadas ya sea

en los requisitos de enfriamiento del motor 10 criogénico o los requisitos de 'impulso' de potencia del motor 50 IC. Es probable que el flujo de aire criogénico sea alguna mezcla de aire en fase líquida y gaseosa, debido a la transferencia de calor a las tuberías, pero puede igualmente estar compuesta de aire completamente líquido o completamente gaseoso (frío). Al mezclar con el flujo 54 de aire de entrada de motor IC el criógeno se vaporiza y se calienta, enfriando la corriente de aire de ambiente y reduciendo la temperatura de aire de entrada promedio. Si se incluye un turbocargador en el motor 50 IC, el enfriamiento puede tener lugar antes o después de la etapa de compresión turbo, u opcionalmente a través del uso de dos inyectores a ambos lados del turbocargador para enfriarse en ambas etapas. La disposición de la invención tiene los beneficios de ser capaz del a) uso intermitente en partes seleccionadas de los mapas de motor y, b) adición de una pequeña masa de aire líquido en relación con la entrada de aire de ambiente. El resultado es un uso mucho más bajo del aire líquido en comparación con las tasas

de flujo requeridas para suministrar la masa de aire de entrada completa, y esto es altamente relevante para limitar la cantidad de aire líquido, o cualquier otro fluido de trabajo criogénico adecuado, que necesite almacenarse a bordo de un vehículo, por ejemplo. Se puede hacer uso limitado de una disposición tal con nitrógeno como fluido criogénico, con el beneficio de reducir la producción de NOx en el motor de combustión.

Aunque la realización de la figura 7 se ha descrito con el uso de aire líquido como fluido de trabajo criogénico, el fluido de trabajo criogénico puede ser cualquier criógeno (por ejemplo aire líquido, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, gas natural licuado, etc.).

Otra disposición, que se muestra en la figura 8, proporciona el uso de aire líquido tomado de los subsistemas de alimentación de motor 10 criogénico (por ejemplo tanque 12, bomba 20 o inyectores 22) para proporcionar 100% del fluido de trabajo al motor 50 IC para períodos de 'impulso' limitados. Se permite que el aire líquido o multifase fluya a presión a través de un intercambiador de calor de ambiente o residual a través de una válvula 82 de control. Aquí se vaporiza completamente y se suministra a la entrada 54 de motor 50 IC como un gas frío a presiones elevadas. Una segunda válvula 56 en la entrada 54 de aire se cierra simultáneamente de tal manera que el gas presurizado se fuerza en el motor 50 IC y no se pierde a la atmósfera. Esta válvula de control se puede reemplazar opcionalmente con una válvula de retención, o cualquier otra válvula o disposición de válvula adecuada.

Tanto el preenfriamiento de entrada de aire como turbocarga se pueden lograr a través de los sistemas que se muestran en la figura 9 para aire líquido y en la figura 10 para el nitrógeno líquido. Como se muestra en la figura 9, fluido de trabajo criogénico se toma de los subsistemas de alimentación (tanque 12, bomba 20, inyectores 22) del motor 10 criogénico, ya sea continuamente a niveles bajos o intermitentemente en tiempos deseados, a través de una válvula 82 de control o válvulas. El criógeno líquido o multifase pasa a través de un enfriador 58 de aire de precarga donde se vaporiza y calienta, enfriando el flujo 54 de entrada de aire de motor IC antes de la etapa de compresión del turbocargador. Como un gas a temperatura ambiente cercano, luego fluye a través de un expansor 60, produciendo trabajo para accionar un turbocompresor 62. Este expansor puede ser de cualquier tipo apropiado, por ejemplo axial, centrífugo o alternativo, y acoplado al turbocompresor 62 a través de un acoplamiento mecánico u otros medios.

Si entonces se usa aire líquido como el fluido de trabajo criogénico entonces este puede agregarse al aire cargado antes de la entrada en el motor 50 IC para proporcionar enfriamiento adicional. Opcionalmente este aire de escape puede ser ventilado a la atmósfera. Aunque el aire líquido se refiere específicamente a, el fluido de trabajo criogénico puede ser cualquier criógeno (por ejemplo aire líquido, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, gas natural licuado, etc.).

En escenarios donde no se prefiere introducir fluido de trabajo criogénico en una entrada de aire de un motor IC (por ejemplo si se usa nitrógeno líquido como el "combustible" criogénico), tiene lugar enfriamiento adicional del aire de carga a través de otro intercambiador de calor, tal como un enfriador de aire de carga como se muestra en la figura 10. En esta realización, como en la figura 9, el fluido de trabajo criogénico se toma de los subsistemas de alimentación (tanque 12, bomba 20, inyectores 22) del motor 10 criogénico, ya sea continuamente a niveles bajos o intermitentes a tiempos deseados, a través de una válvula 82 de control o válvulas. El criógeno líquido o multifase pasa a través de un enfriador 58 de aire de precarga donde se vaporiza y calienta, enfriando el flujo 54 de entrada de aire de motor IC antes de la etapa de compresión del turbocargador. Como un gas cerca de temperatura ambiente, luego fluye a través de un expansor 60, produciendo trabajo para accionar un turbocompresor 62. Este expansor puede ser de cualquier tipo apropiado, por ejemplo axial, centrífugo o alternativo, y acoplado al turbocompresor 62 a través de un acoplamiento mecánico u otros medios. El gas de escape entonces se ventila a la atmósfera. Opcionalmente se puede introducir algo de criógeno a la entrada de aire de un motor 50 de combustión para reducir la producción de NOx de la combustión.

Los conceptos combinados de preenfriamiento y turbocarga descritos aquí se pueden usar además de los sistemas de turbocarga que se encuentran en los muchos motores IC. Las etapas de turbocompresor pueden estar dispuestas en serie o en paralelo (con válvulas apropiadas) en la entrada de aire.

Alternativamente los expansores en los flujos de escape criogénicos e IC pueden acoplarse a una sola etapa de compresor a través de medios mecánicos u otros. Para un acoplamiento mecánico puede ser ventajoso ajustar un mecanismo de embrague (tal como un embrague de sobremarcha) de tal manera que la etapa de expansor de escape de motor IC esté acoplada continuamente al compresor, pero la etapa de crioexpansor esté desenganchada excepto cuando esté en uso. Las personas experimentadas en la técnica entenderán que estas disposiciones particularmente las que se muestran en la figura 10 serán apropiadas para usar con cualquier fluido de trabajo criogénico (por ejemplo gas natural líquido, hidrógeno, oxígeno, dióxido de carbono o cualquier otro fluido de trabajo criogénico adecuado) ya que explotan tanto las propiedades de enfriamiento como expansión de los criógenos.

Alternativamente, o adicionalmente a los sistemas descritos anteriormente, se puede obtener turbocarga adicional a partir de un flujo de escape de un motor criogénico. Esto se puede lograr al sobreexpandir el fluido de trabajo criogénico vaporizado en un cilindro de motor criogénico de tal manera que salga por encima de la presión de ambiente. Esto se puede disponer con otras etapas de compresor y expansor de turbocarga como se describe

anteriormente. Bajo la configuración de sistema que se muestra en la figura 9, al calentar el gas de escape por encima de la presión de ambiente de un motor criogénico se envía a un expansor 60 y se expande produciendo trabajo para accionar o asistir a accionar un turbocompresor 62 que aumenta la presión de la entrada 50 de aire de motor IC. Postexpansión, este gas de escape se puede usar para enfriar el aire de carga a través de un intercambiador de calor antes de ventilarse a la atmósfera. Opcionalmente, si el fluido de trabajo criogénico es aire líquido entonces parte de esto puede ser conducido a la entrada de aire donde el bajo nivel de humedad arrastrada puede ser ventajosa para el proceso de expansión en el cilindro de motor IC. Como una alternativa, la carga de aire de entrada puede lograrse dirigiendo el aire frío a presión elevada directamente desde el escape de motor criogénico a la entrada de motor IC. En general el criógeno puede ser cualquier criógeno (por ejemplo aire líquido, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, gas natural licuado, etc.).

En algunas realizaciones, los fluidos de trabajo criogénicos forman adicionalmente la fuente de combustible para el aparato de generación de potencia, por ejemplo con gas natural licuado o hidrógeno quemado en un motor IC o hidrógeno usado en una celda de combustible. El hidrógeno o LNG podrían proporcionar potencia de expansión en el motor de criógeno seguido por potencia de combustión/reacción química en el aparato generador de potencia. En este caso las realizaciones descritas con referencia a las figuras 7, 9 y 11 pueden usarse, de tal manera que el fluido de trabajo se introduzca en la entrada de aire del aparato de generación de potencia.

Un objetivo adicional de la presente invención es proporcionar un régimen operativo que maximice la eficiencia y simplicidad de la invención. Como un ejemplo de uso de un motor criogénico y almacenamiento térmico para permitir la operación de una fuente de potencia productora de calor en su punto más eficiente, el motor criogénico puede emparejarse con un motor IC. Típicamente un motor IC opera de manera menos eficiente con cargas bajas o muy altas. Por tanto, un régimen operativo de ejemplo de acuerdo con la presente invención es:

• el motor criogénico proporciona potencia motriz cuando se requiere baja potencia – beneficiándose del torque de buena baja velocidad y eliminando una parte ineficiente del ciclo de trabajo de motor de combustión;

• por encima de un cierto umbral de potencia ‘inferior’ el motor de combustión proporciona una potencia motriz completa - dentro de su rango de operación eficiente;

• por encima de un cierto umbral de potencia "superior" ambas unidades de potencia trabajan en paralelo para proporcionar potencia motriz, eliminando la necesidad de dimensionar el motor de combustión para el requisito de potencia máxima.

Hay varias ventajas de este enfoque. El consumo de combustible se reduce directamente a través del uso del motor criogénico para convertir el calor residual en potencia del eje. El consumo de combustible también se reduce a través del funcionamiento de motor IC con más frecuencia, e idealmente tan a menudo como sea posible, en sus puntos más eficientes. Además, el motor IC puede reducirse en tamaño puesto que no tiene que suministrar todos los requisitos de potencia pico, aumentando la probabilidad de que opera en un punto eficiente y reduciendo el coste de capital. Un beneficio único de usar un motor criogénico (en vez de otros medios de recuperación de calor) en este escenario es el muy alto rendimiento disponible, de este modo se puede usar para proporcionar potencia a lo largo de un rango más amplio de escenarios operativos que, por ejemplo, un ciclo de Rankine orgánico. El resultado es un beneficio más significativo de ahorro de combustible y reducción de tamaño del motor. También es posible con algunas disposiciones de hibridación limitar el motor IC a un pequeño rango de condiciones operativas - en un caso extremo, operación de una sola velocidad, de esa manera proporcionando eficiencia aumentada. Los sistemas de técnica anterior usan expansión de turbina y calor de alto grado, mientras que la presente invención se refiere a un ciclo secundario abierto criogénico.

Los altos rendimientos de sistemas de motor criogénicos también permiten períodos cortos de operación con cero emisiones. prácticamente, puede ser posible convertir alrededor de la mitad del calor rechazado de un motor IC en potencia del eje. Esta es potencia suficiente para una realización donde el sistema de motor criogénico opera como "motor primario" para el vehículo u otro proceso con el que está integrado, por períodos limitados. La primera limitación en el período de tiempo que puede tener lugar esto es el tamaño del almacenamiento térmico que puede ser mitigado por un intercambiador de calor de ambiente, la segunda limitación es la cantidad de fluido de trabajo criogénico almacenado en el vehículo o proceso. El tamaño correcto del almacenamiento térmico, almacenamiento de fluido de trabajo criogénico e intercambiador de calor de ambiente opcional permitirán este tipo de patrón de uso. El período por el cual se puede usar el motor criógeno como el motor principal se puede extender mediante el uso del radiador de motor IC de respaldo para proporcionar recalentamiento parcial de ambiente al HEF de calentamiento/refrigeración después de que se haya agotado térmicamente el almacenamiento térmico. Al usar un almacenamiento térmico dividido, una porción del fluido de alta temperatura se puede mantener en reserva para a) proporcionar un fluido de alta temperatura para el descongelamiento de radiador y b) permitir el comienzo en caliente del motor IC.

Los motores criogénicos pueden emparejarse alternativamente con celdas de combustible para lograr beneficios similares a los que se describen anteriormente en términos de consumo de hidrógeno reducido a través del funcionamiento de la celda de combustible en su punto eficiente y haciendo uso del calor residual. Los motores

criogénicos también pueden acoplarse con otros sistemas productores de calor, tal como los sistemas de refrigeración, para hacer uso de cualquier calor residual.

La figura 12 muestra las diversas demandas de potencia que se pueden cumplir por un motor "híbrido" IC criogénico para una sección de ejemplo de un ciclo de accionamiento que involucra un evento de aceleración/desaceleración. Será entendido por una persona experimentada en la técnica que se puede usar cualquier otro aparato de generación de potencia adecuado en lugar de un motor IC. En una realización de ejemplo, el ciclo de trabajo que se muestra en la figura 10 es accionado por un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención, como se describe anteriormente.

Segmento 1 muestra inactivo, seguido por operación de baja potencia en la que el motor criogénico se usa solo. Durante la sección inactiva el motor criogénico opera en una salida de potencia baja, idealmente la salida de potencia debería ser igual solo a los requisitos mínimos del vehículo en cuestión (por ejemplo la cantidad de potencia requerida para superar la fricción interna, ejecutar equipos auxiliares y soportar cargas de hotel). El fluido de intercambio de calor puede usarse para mantener una proporción de expansión casi constante para asegurar que el fluido de trabajo criogénico se expanda de manera eficiente.

Segmento 2 el motor criogénico se interrumpe y el motor IC queda a cargo, proporcionando la potencia para el rango de 25-35%, por ejemplo. El punto de inicio y final de este rango está dictado por el punto de operación eficiente del motor IC seleccionado para el híbrido.

Segmento 3, en 35-60% de potencia, muestra dónde se usa el motor criogénico además del motor IC (es decir el motor criogénico y el motor IC trabajan juntos), hasta su potencia de diseño (de alrededor de 25%). El motor criogénico se usa de manera flexible para proporcionar salida variable desde el punto en el que el motor IC está funcionando a la máxima potencia eficiente.

Segmento 4 el motor IC aún proporciona 35% de la potencia, pero el motor criogénico se usa en un múltiplo de 2 a 3 de su (eficiencia pico) potencia de diseño para proporcionar la potencia nominal máxima por períodos cortos.

Segmento 5 el segmento de alta potencia transitoria muestra el punto en el que los métodos de preenfriamiento y turbocarga que se discuten anteriormente se pueden usar beneficiosamente para lograr aumentos rápidos en la potencia del eje total generada.

Segmento 6 denota un evento de desaceleración en el que se puede emplear algún frenado regenerativo por ejemplo esto se puede lograr a través del uso de retardadores generadores de calor o alguna forma de frenado de motor basado en compresión.

Los valores límite de rangos operativos dados en lo anterior son puramente de ejemplo y pueden ajustarse para optimizar beneficios. Las condiciones de limite exactas dependerán de las características exactas de los motores criogénicos e IC que se están emparejando así como del ciclo de trabajo para el que se va a usar el equipo. También se entenderá que el uso de niveles de potencia para definir los límites de rango de ambos motores es una simplificación. En realidad el rango de eficiencia alta del motor IC en particular se puede utilizar mejor a través de un enfoque bidimensional que usa una combinación de torque y velocidad de motor para definir límites. Será entendido por los experimentados en la técnica que estos métodos pueden usarse para mejorar la flexibilidad y eficiencia de otras fuentes de potencia complementarias, tal como celdas de combustible. Un beneficio particular del acoplamiento tipo híbrido de motor IC criogénico radica en la capacidad de lograr un mayor múltiplo de densidad de potencia de diseño por períodos cortos. En el ejemplo previo, el motor criogénico está dimensionado para producir 25% de la potencia nominal total, pero en partes del ciclo de accionamiento puede proporcionar hasta el 65% de potencia nominal. Debido a la presencia de un HEF incompresible en el cilindro, la proporción de expansión se puede ajustar dentro de los límites impuestos por la geometría de motor además de cambiar las presiones pico. Como tal, la operación de menor potencia puede mantenerse con buena eficiencia al aumentar la proporción de expansión. Igualmente, donde sea deseable, es posible forzar más fluido criogénico en el cilindro para densidades de potencia muy altas, a expensas de menor eficiencia de expansión. Este es un atributo particularmente adecuado para algunas aplicaciones tales como buses, donde el ciclo de accionamiento típicamente involucra largos períodos de cargas inactivas (que son manejadas de manera ineficiente por los motores IC), y la porción superior de salida de potencia disponible solo se usa brevemente y con poca frecuencia. Sin embargo hay un rango amplio de otras aplicaciones y ciclos de accionamiento/trabajo para los cuales esta disposición híbrida puede ser igualmente bien adecuada.

Ahora se hace referencia a la Tabla 1 a continuación que proporciona una comparación entre diferentes disposiciones de generación de potencia, que incluyen:

A) 'Solo ICE' que corresponde a un bus impulsado con diésel estándar. El rendimiento de disposiciones híbridas es relativo a esta configuración.

B) 'Completamente dinámico' que es la disposición híbrida que el solicitante está desarrollando.

Comparado con el caso de referencia 'solo ICE', el motor IC se redujo en tamaño a Potencia de *ICE*. Esta salida de potencia de motor IC reducida en tamaño se restringe más entre la 'tapa superior de potencia de ICE' y 'tapa de cola de Potencia de ICE. Cuando la potencia requerida del sistema cae entre esas tapas, el motor IC lo proporcionará por sí mismo (motor Dearman (DE) está apagado). Cuando la potencia requerida está por debajo de la 'tapa de cola de Potencia de ICE', el DE la proporcionará por sí solo (ICE apagado). Cuando la potencia requerida está por encima de la 'tapa superior de Potencia de ICE', el motor IC funciona en la 'tapa superior de Potencia de ICE' y el DE proporciona los requisitos de potencia adicionales.

C) 'Proporción fija' que es una disposición híbrida semidinámica. Cuando se requiere potencia del sistema, ya sea 1kW o 120kW, X% vendrá del DE y (100 - X) % vendrá del ICE.

D) 'Salida DE constante' que es una configuración híbrida no dinámica. Cuando se requiere potencia del sistema, el DE proporciona una salida de X kW constante y el motor IC proporciona los requisitos adicionales.

Los resultados de la simulación que se pueden usar para comparar el rendimiento de diferentes configuraciones son los siguientes:

• 'Consumo de combustible específico de freno (bsfc) promedio de ICE: es una medida de la eficiencia de combustible de un motor alternativo (eficiencia de combustible disminuye al aumentar bsfc). Las reducciones significativas en bsfc de ICE son un indicador del rendimiento de ICE mejorado.

• 'Coste de combustible' es un parámetro crucial para monitorear. Para que el sistema tenga sentido económico, el coste de combustible total (LN2 + Diesel) debe caer por debajo del coste de combustible para un ICE que funciona solamente con diésel. Si no, la tecnología no tendrá una devolución y de este modo no será comercialmente viable.

• 'Devolución': los operadores de bus de Londres ofrecen por contratos de 7 años con Transport for London (TfL). Una tecnología que tenga una devolución por encima de 7 años no será atractiva para tales operadores. Aunque pueden aplicarse diferentes períodos de contrato a otros operadores, solo las tecnologías con períodos de devolución cortos serán atractivas para los usuarios finales (de este modo comercialmente viable).

• 'LN2 necesario por litro de diésel ahorrado': da una indicación de la eficiencia con que se usa el híbrido para mejorar la eficiencia general del sistema. Cuanto más bajo sea esta proporción más probable es que la tecnología sea comercialmente viable.

En la tabla de comparación se puede ver que:

• 'Salida criogénica constante (Motor Dearman o DE)' híbrida proporciona una mejora muy útil sobre los sistemas convencionales pero puede no ser tan económicamente viable como la presente invención dados los precios de mercado actuales para diésel y LN2.

Se puede lograr un ahorro de diésel de 20% a 30% y una ligera mejora de eficiencia de ICE (3% de disminución en bsfc). Sin embargo los costes de combustible son más altos que para motores convencionales, lo que significa que la tecnología requerirá mucho tiempo para pagar y por tanto no es una opción comercialmente atractiva para los usuarios finales.

• El híbrido de 'proporción fija' proporciona ventajas significativas en sí mismo en relación con la operación convencional y proporciona 15% al 20% un ahorro de diésel del y se puede lograr una disminución de 4% en bsfc de ICE junto con reducción de costes de combustible totales (~ 1 a 2% de reducción) cuando considerando una DE que produce 10 a 15% de la salida de potencia. Esto indica una situación potencialmente atractiva comercialmente. Sin embargo para ambos casos los períodos de devolución permanecen altos (7.4 a > 17 años) lo que previene que el caso sea convincente. Adicionalmente, los ahorros de combustible se limitarían a un máximo de 15% haciendo que la inversión en la tecnología sea menos atractiva (lograr reducciones de combustible más altas requeriría una salida de potencia más alta del DE, llevando al aumento de los costes de combustible). Esta configuración está en el borde de ser atractiva pero lo más probable es que no sea suficientemente convincente.

• El híbrido 'totalmente dinámico' representa una mejora significativa sobre los motores diésel convencionales y opciones híbridas alternativas y sería comercialmente atractivo con los precios de combustible actuales.

17% a 18% de ahorro de diésel, > 7% disminución en ICE bsfc, 4% de disminución en costes de combustible junto con períodos de devolución de menos de 5 años hacen un caso convincente para el concepto de híbrido completamente dinámico de DE. Esto se confirma además por el hecho de que esta disposición usa el menor LN2 por litro de diésel ahorrado (proporción ~27 en comparación con >30 para otros casos). Adicionalmente, es probable que la puesta a punto más fina de las tapas de potencia superior y de cola de ICE mejore además el caso de negocio híbrido Completamente dinámico'.

Aunque se pueden alcanzar algunos beneficios en cualquier configuración híbrida (ahorro de combustible y eficiencia de ICE), es probable que solo la estrategia de control optimizada proporcione un caso atractivo y económicamente viable en el mercado actual. Debe agregarse que la comparación se basa en precios de mercado actuales para diésel y LN2. Un aumento en precios de diésel y/o disminución en precios de LN2 podría aumentar el atractivo de los híbridos de Proporción fija' y 'Salida de DE constante'. Sin embargo en tales condiciones el híbrido completamente dinámico Dearman mantendría una ventaja competitiva sobre estas alternativas.

La presente invención se ha descrito anteriormente en forma de ejemplo con referencia a los dibujos acompañantes que representan realizaciones de la invención. Se entenderá que existen muchas realizaciones diferentes de la invención, y que todas estas realizaciones caen dentro del alcance de la invención como se define por las siguientes reivindicaciones.

TABLA 1

Configuración Híbrida	**Dearman**		Solo ICE		Completamente dinámico			Proporción fija					Salida de DE constante	
Potencia de ICE		Kw	100%		83%	75%	67%	92.50%	87.50%	82%	72.50%	86.25%	120kw	110kw
Potencia de ICE		Kw	0%		17%	25%	33%	7.50%	12.50%	18%	22.50%	33.75%	120kw	10kw
Salidas de ciclo de accionamiento		Calculado/ motriz												
Consumo de LN2 de DE		kg			7.70	8.38	8.28	7.42	11.13	14.84	18.55	22.26	11.73	23.46
Consumo de combustible ICE Consumo de combustible ICE		kg	1.75		1.46	1.44	1.44	1.49	1.41	1.32	1.23	1.14	1.42	1.19
Lista promedio de ICE		g/kwh	221.19		203.97	204.06	205.35	212.71	212.18	211.39	210.91	210.29	213.38	215.04
Ahorro de combustible sobre vida	*Calculado/ Excel*	%			17%	18%	18%	15%	20%	25%	30%	35%	19%	32%
Costes de operación	*calculado/ Excel*													
Reparto de combustible (Diesel+LN2) por ciclo		£	**£ 2.95**		**£ 2.84**	**£ 2.86**	**£ 2.84**	**£ 2.86**	**£ 2.92**	**£ 2.96**	**£ 3.00**	**£ 3.04**	**£ 2.97**	**£ 3.18**
Devolución		Años			1.8	5.8	5.3	7.4	17.5	-47.2	-10.0	-5.4	-22.8	-2.1
LN2 necesitado por litro de diésel	*Calculado/ Excel*	LN2 litros/ litros diésel			27.11	28.45	27.51	29.49	33.05	35.18	36.59	37.72	35.99	43.11

ES 2 707 338 T3

REIVINDICACIONES

1. Un sistema que comprende:

un motor (10) criogénico que tiene un primer miembro (700) de salida de potencia motriz;

un aparato (50) de generación de potencia que genera calor residual operable independientemente que tiene un segundo miembro (702) de salida de potencia motriz,

un sistema (704 y/o 706, y/o 708) de transmisión conectado operativamente para recibir entradas de potencia motriz de uno u otro o ambos del primero y el segundo miembros (700, 702) de salida de potencia motriz; y

una salida (80, 724, 726) de transmisión conectada operativamente para recibir potencia motriz del sistema (704, 706, 708) de transmisión y que incluye un controlador (750) para controlar la operación de cada uno de los motores (10) criogénicos y el aparato (50) de generación de potencia tal como para provocar el suministro de potencia motriz desde uno u otro o ambos del mismo a dicho sistema (704, 706, 708) de transmisión;

en donde el motor (10) criogénico y el aparato (50) de generación de potencia están acoplados entre sí para permitir que el motor (10) criogénico y el aparato (50) de generación de potencia generen potencia a través de la salida (80, 724, 726) de transmisión independientemente entre sí y en cooperación entre sí.

2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el sistema (704, 706, 708) de transmisión incluye un mecanismo (708) de adición y en donde el primer y segundo miembros (700, 702) de salida de potencia motriz están acoplados cada uno a dicho mecanismo (708) de adición y en donde el sistema (704, 706, 708) de transmisión incluye un miembro (80c) de salida final común que se comparte entre el motor (10) criogénico y el aparato (50) de generación de potencia, y el motor (10) criogénico y el aparato (50) de generación de potencia está configurado para generar potencia a través del miembro (80c) de salida de potencia final común.

3. Un sistema como se reivindica en la reivindicación 2 y que incluye además primer y segundo conjuntos (714, 716) de ruedas accionadas conectados operativamente a dicho sistema (704, 706, 708) de transmisión para recibir potencia motriz del mismo e incluyendo un primer embrague (720) entre los primeros conjuntos (714) de ruedas de accionamiento y la transmisión (704, 706, 708).

4. Un sistema como se reivindica en la reivindicación 2 y que incluye además primer y segundo conjuntos (714, 716) de ruedas accionadas conectados operativamente a dicho sistema (704, 706, 708) de transmisión para recibir potencia motriz del mismo e incluyendo un segundo embrague (722) entre los segundos conjuntos (716) de ruedas de accionamiento y la transmisión (704, 706, 708).

5. Un sistema como se reivindica en la reivindicación 1 y en donde dicho sistema de transmisión incluye primer y segundo miembros (724 y/o 726) de salida auxiliares separados conectados operativamente al sistema (704, 706) de transmisión para recibir potencia motriz de uno u otro del motor (10) criogénico o el aparato (50) de generación de potencia, dichos miembros (704 y/o 706) de salida auxiliares también están configurados para dirigir la potencia motriz a conjuntos (714, 716) de ruedas de accionamiento individuales y separadas.

6. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el motor criogénico y el sistema de generación de potencia están acoplados entre sí para permitir la transferencia de energía térmica entre el motor criogénico y el sistema de generación de potencia.

7. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende además un primer medio de transferencia configurado para transferir el calor residual expulsado por el aparato de generación de potencia al sistema de motor criogénico.

8. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 6 en donde el motor criogénico incluye un tanque de Fluido de Intercambio de Calor (HEF) y el tanque de HEF del motor criogénico está integrado con el aparato de generación de potencia.

9. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el primer medio de transferencia está configurado para transferir calor residual expulsado por el aparato de generación de potencia al tanque de HEF.

10. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 8 en donde el tanque de HEF está configurado para almacenar calor residual expulsado por el aparato de generación de potencia.

11. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 8 en donde el tanque de HEF está aislado y/o comprende un medio de almacenamiento de energía térmica, tal como un material de cambio de fase.

12. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 8 en donde el aparato de generación de potencia comprende un medio de rechazo de calor para expulsar calor residual del aparato de generación de potencia.

13. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 12, en donde los medios de rechazo de calor expulsan calor residual del sistema.

14. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 12 en donde el medio de rechazo de calor comprende un radiador y en donde el motor criogénico y el aparato de generación de potencia pueden desacoplarse uno de otro para permitir la expulsión de calor residual del sistema de generación de potencia mientras el motor criogénico no está en operación.

15. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 12 en donde el medio de rechazo de calor comprende un radiador y en donde el motor criogénico y el aparato de generación de potencia se pueden desacoplar parcialmente entre sí para permitir la expulsión de calor residual del sistema de generación de potencia a través del medio de rechazo de calor mientras que el motor criogénico está en operación.

16. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 12 en donde el motor criogénico y el aparato de generación de potencia están acoplados entre sí de tal manera que un fluido de trabajo del motor criogénico proporciona enfriamiento al aparato de generación de potencia.

17. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el sistema es operable en un primer modo, un segundo modo y un tercer modo, y en donde:

en el primer modo, uno del motor criogénico y el aparato de generación de potencia generan potencia a través de los medios de salida;

en el segundo modo, uno del motor criogénico y el aparato de generación de potencia generan potencia a través de los medios de salida; y

en el tercer modo, tanto el motor criogénico como el aparato de generación de potencia generan potencia a través de los medios de salida.

18. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 17 en donde uno del motor criogénico y el aparato de generación de potencia generan potencia a través de los medios de salida en el primer modo, y el otro del motor criogénico y el aparato de generación de potencia generan potencia a través de la salida en el segundo modo.

19. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 17 en donde el sistema está configurado para operar en el primer modo por debajo de un primer umbral predeterminado y en el segundo modo por encima del primer umbral de salida de potencia de sistema predeterminado.

20. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 17 en donde el sistema está configurado para operar en el segundo modo por debajo de un segundo umbral predeterminado y en el tercer modo por encima del segundo umbral de salida de potencia de sistema predeterminado.

21. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 20 en donde el segundo umbral predeterminado corresponde a una salida de potencia de sistema más alta que el primer umbral predeterminado.

22. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde un fluido de trabajo del motor criogénico comprende al menos uno de nitrógeno líquido, aire líquido, gas natural licuado, hidrógeno, dióxido de carbono, oxígeno, argón, aire comprimido o gas natural comprimido.

23. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde el aparato de generación de potencia comprende al menos uno de un motor de combustión interna (IC) o un aparato de celda combustible.

24. Un vehículo accionado por un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

25. Una unidad de potencia estática accionada por un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 23.

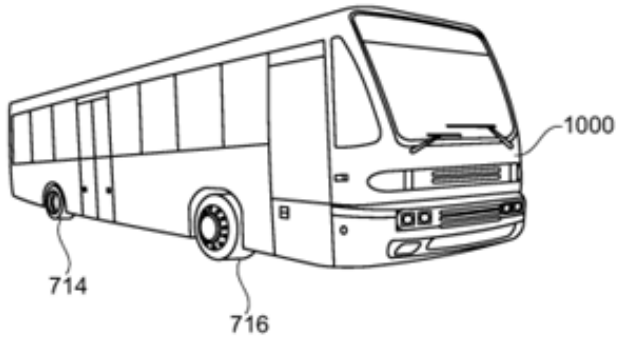

1000
714
716

Fig. 1

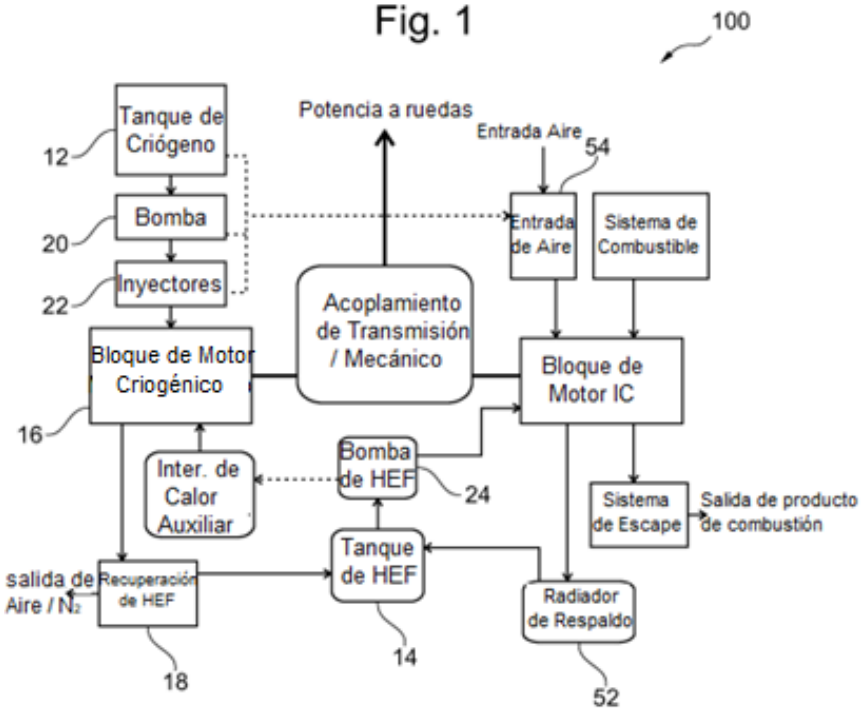

100
Tanque de Criógeno
12
Bomba
20
Inyectores
22
Bloque de Motor Criogénico
16
Potencia a ruedas
Entrada Aire
54
Entrada de Aire
Sistema de Combustible
Acoplamiento de Transmisión / Mecánico
Bloque de Motor IC
Inter. de Calor Auxiliar
Bomba de HEF
24
Sistema de Escape
Salida de producto de combustión
salida de Aire / N2
Recuperación de HEF
18
Tanque de HEF
14
Radiador de Respaldo
52

Fig. 2

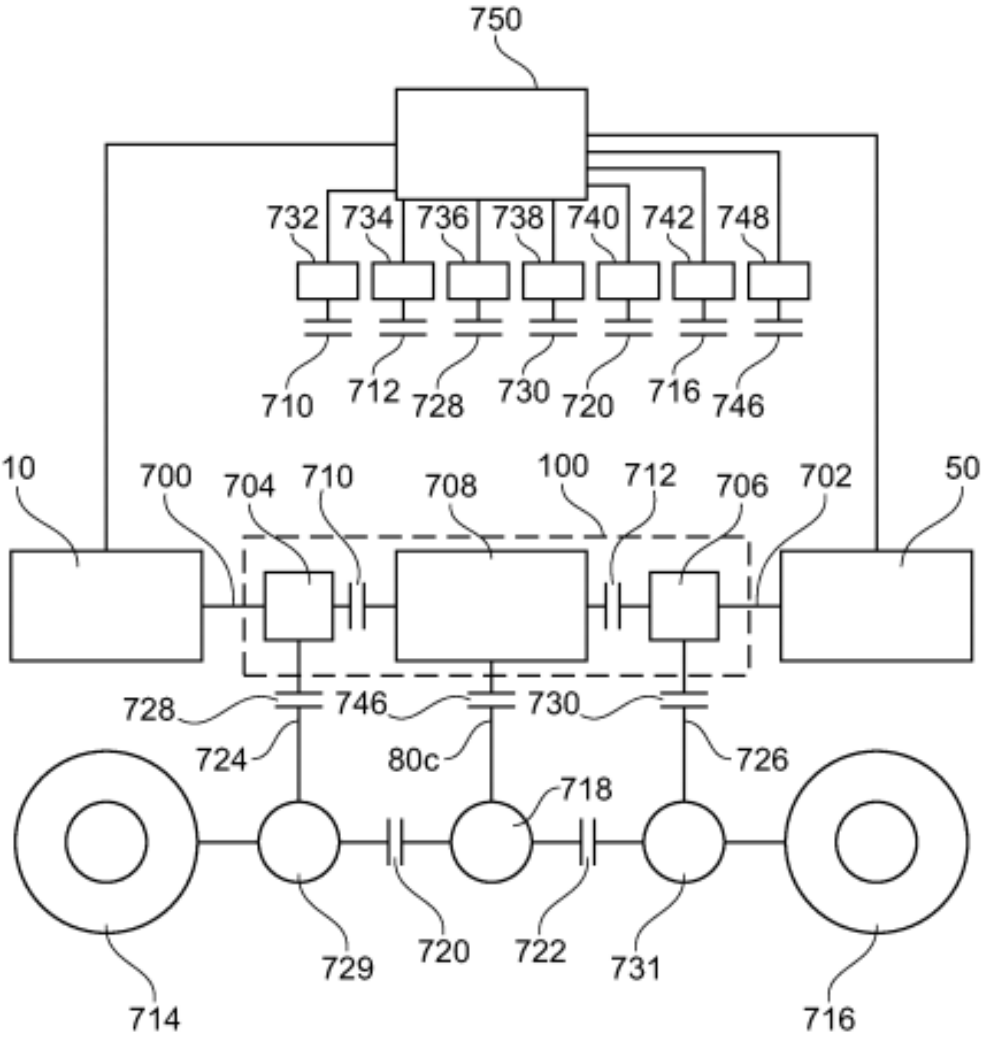

750
732
734
736
738
740
742
748
710
712
728
730
720
716
746
10
700
704
710
708
100
712
706
702
50
728
746
730
724
80c
726
718
729
720
722
731
714
716

Fig. 3

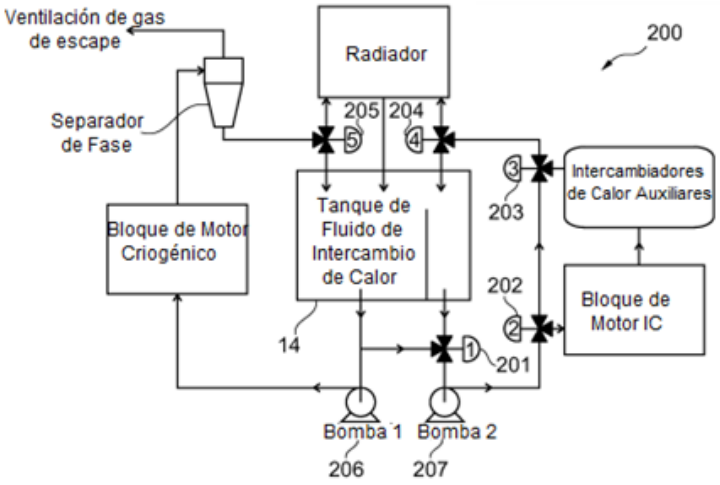

Ventilación de gas de escape
Radiador
200
Separador de Fase
205
204
Intercambiadores de Calor Auxiliares
Tanque de Fluido de Intercambio de Calor
203
Bloque de Motor Criogénico
202
Bloque de Motor IC
14
201
Bomba 1
Bomba 2
206
207

Fig. 4

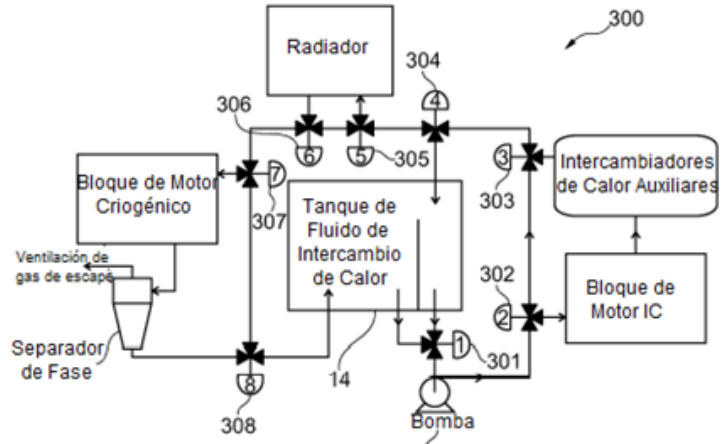

Radiador
300
304
306
305
Intercambiadores de Calor Auxiliares
Bloque de Motor Criogénico
307
303
Tanque de Fluido de Intercambio de Calor
Ventilación de gas de escape
302
Bloque de Motor IC
Separador de Fase
14
301
308
Bomba
306

Fig. 5

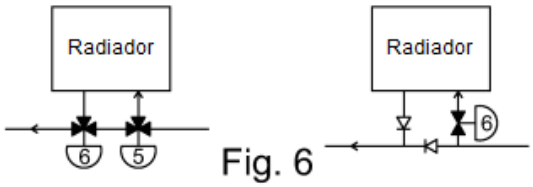


Fig. 6

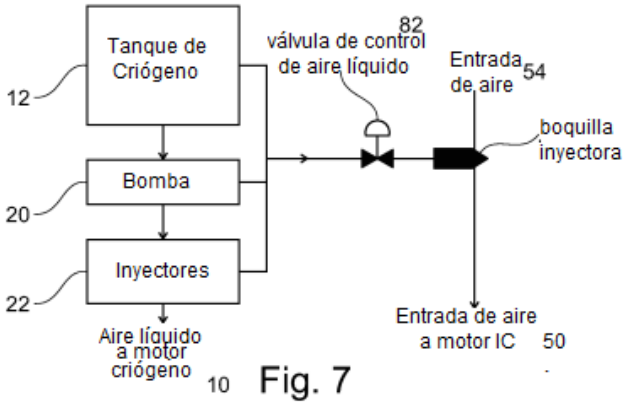


Fig. 7

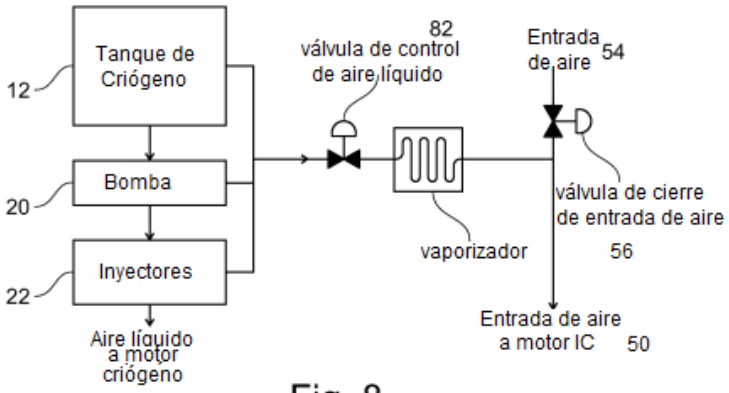


Fig. 8

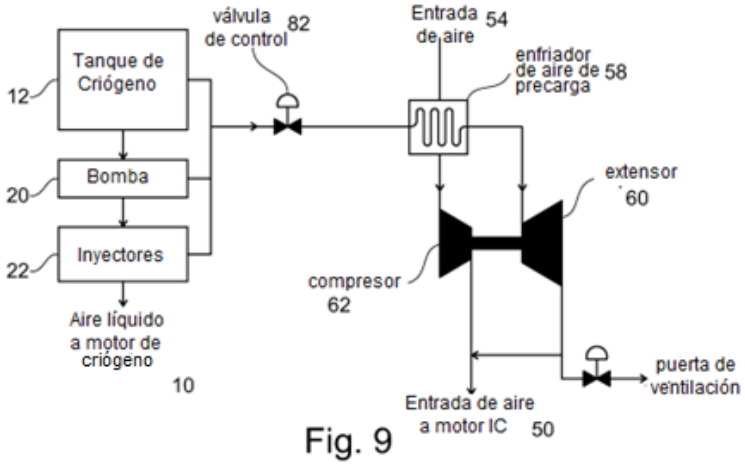

válvula de control 82
Entrada de aire 54
Tanque de Criógeno
12
enfriador de aire de precarga 58
Bomba
20
extensor 60
Inyectores
22
compresor 62
Aire líquido a motor de criógeno
10
puerta de ventilación
Entrada de aire a motor IC 50

Fig. 9

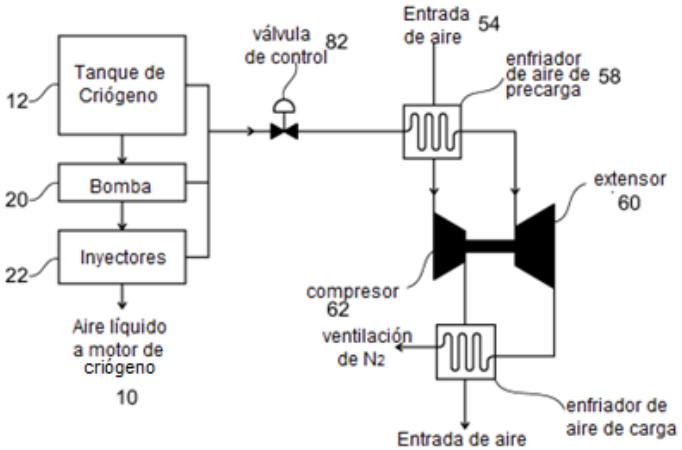

válvula de control 82
Entrada de aire 54
Tanque de Criógeno
12
enfriador de aire de precarga 58
Bomba
20
extensor 60
Inyectores
22
compresor 62
ventilación de N2
Aire líquido a motor de criógeno
10
enfriador de aire de carga
Entrada de aire a motor IC 50

Fig. 10

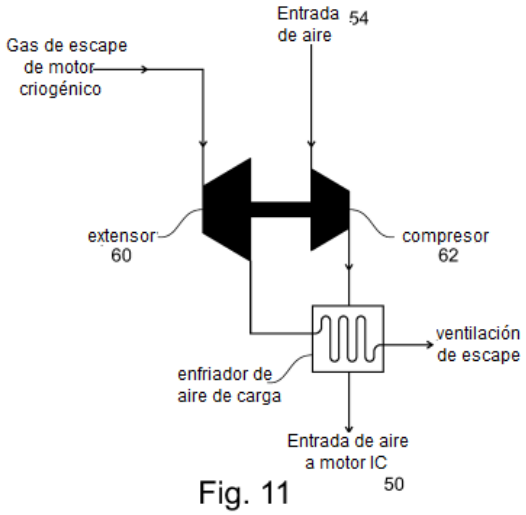

Entrada de aire 54
Gas de escape de motor criogénico
extensor 60
compresor 62
ventilación de escape
enfriador de aire de carga
Entrada de aire a motor IC 50

Fig. 11

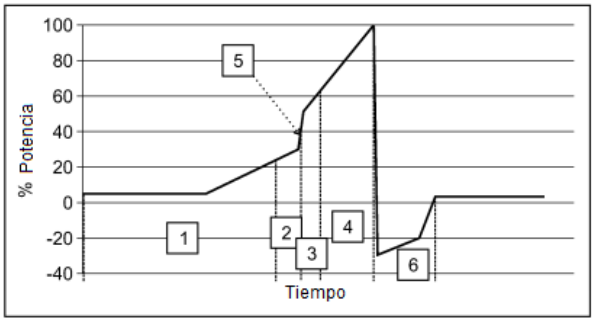

100
80
60
40
20
0
-20
-40
% Potencia
Tiempo
1
2
3
4
5
6

Fig. 12