

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 603**

51 Int. Cl.:

G21D 1/00 (2006.01)
G21D 1/02 (2006.01)
G21D 3/04 (2006.01)
F24F 5/00 (2006.01)
F24F 7/00 (2006.01)
G21C 1/00 (2008.01)
G21K 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.12.2013 PCT/US2013/076360**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.08.2014 WO14123630**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2013 E 13874435 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018 EP 2954532**

54 Título: **Sistemas y procedimientos de generación de potencia utilizando energía almacenada de suministro de aire desde VES**

30 Prioridad:

06.02.2013 US 201313760165

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.10.2018

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)
1000 Westinghouse Drive Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:

**DEDERER, JEFFREY T. y
REPP, DAVID**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 686 603 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistemas y procedimientos de generación de potencia utilizando energía almacenada de suministro de aire desde VES

Campo de la invención

- 5 La invención se refiere en general a sistemas y procedimientos para la generación de energía utilizando la energía almacenada desde un Sistema de Habitabilidad de Sala de Control Principal (VES) pasivamente potenciado después de un accidente o evento que implica una pérdida de la alimentación de CA.

Antecedentes

- 10 Diversas funciones para la generación de energía eléctrica en una planta de energía de reactor nuclear requieren dos recursos críticos, es decir, agua y potencia. Por ejemplo, se utiliza agua para la refrigeración del combustible en el interior del reactor y la piscina de combustible gastado, y se emplea potencia para una variedad de funciones de la planta incluyendo el bombeo, accionamientos de válvulas, instrumentación y supervisión de la planta. Durante un escenario de accidente, como el apagón de la estación, o cualquier otro evento que resulte en la pérdida de la alimentación de CA, puede ser difícil de obtener y proporcionar los recursos externos en el sitio de la planta nuclear para hacer frente al accidente. Por lo tanto, es beneficioso que el sitio de la planta tenga medios alternativos para producir potencia y proporcionar agua de refrigeración durante un escenario de pérdida alimentación de CA.

- 15 En general, el Sistema de Habitabilidad de Sala de Control Principal (VES) en una planta de energía de reactor nuclear es un sistema pasivamente potenciado que utiliza aire para proporcionar la ventilación, refrigeración y filtración del entorno de la sala de control después de un accidente u otro evento que implique una pérdida de toda la alimentación de CA. La Figura 1 muestra esquemáticamente un sistema 10 VES de acuerdo con la técnica anterior. El aire comprimido se almacena en el depósito 2 y se presuriza. Normalmente, el aire se almacena a una presión máxima de 27.580 kPa (4.000 psi). Una presión mínima del depósito es de 22.980 kPa (3333 psi), con el aire a 16 °C (60 °F) en condiciones normales. Además, es normal que los sistemas VES utilicen más de un depósito para almacenar el aire comprimido. Por ejemplo, en algunas plantas de energía de reactores nucleares comerciales, tales como la planta de Westinghouse AP1000, se utilizan 32 depósitos teniendo cada depósito un volumen libre de aproximadamente 1,3 m³(46,1 pies³). Una corriente de aire 4 comprimido se hace pasar desde el depósito 2 a través de un regulador 6 de presión. La presión mínima de entrada del regulador 6 de presión es 1.380 kPa (200 psi). El regulador 6 de presión reduce la presión de la corriente de aire 4 comprimido de tal manera que una corriente de aire 8 comprimido de presión más baja, que tiene una tasa de flujo volumétrico de 1,840 l/min (65 SCFM), pasa a través de la salida 7, se alimenta a una boquilla 11 del eductor y se utiliza para alimentar un eductor 9. La presión de aire en la salida 7 es se reduce a una presión intermedia. Para la planta API000, la presión intermedia, es decir, la presión de la corriente de aire 8 comprimido de presión más baja, es 830 kPa (120 psi). El flujo alimentado a la boquilla 11 del eductor proporciona aire fresco a la sala de control y el eductor 9 prevé una circulación de flujo de aire dentro del espacio 13 de la sala de control.

- 20 Para AP1000, el aire comprimido almacenado en una planta de energía de reactor nuclear es suficiente para proporcionar 1,840 ± 140 l/min (65 ± 5 SCFM) al área principal de la sala de control durante al menos 72 horas después de un accidente u otro evento que implique una pérdida de la alimentación de CA. Este aire comprimido representa una cantidad significativa de energía potencial.

- 25 Se sabe emplear varios diseños de forma pasivamente potenciados, tal como el VES, para mitigar los eventos de accidente en un reactor nuclear sin la intervención del operario o potencia fuera del sitio. Estos diseños pasivamente potenciados enfatizan las características de seguridad que se basan en fuerzas naturales, como el gas a presión, flujo por gravedad, flujo de circulación natural, y convección, y no se basan en los componentes activos (tales como, bombas, ventiladores o generadores diésel). Además, los sistemas pasivos están diseñados para funcionar sin sistemas de soporte de grado de seguridad (tales como, de alimentación de CA, componente de agua de refrigeración, agua de servicio, y HVAC).

- 30 Se desea desarrollar características más pasivas y estrategias de mitigación para su uso en plantas de energía de reactores nucleares. Por ejemplo, se desea recuperar energía a partir de procedimientos de la planta nuclear para su uso durante accidente y otras secuencias de eventos cuando los recursos pueden no estar fácilmente disponibles. Por consiguiente, la presente invención proporciona sistemas y procedimientos para la extracción de energía útil significativa del aire comprimido en el VES. Esta energía se puede emplear en la planta nuclear para hacer frente a accidentes y otras secuencias de eventos de pérdidas de alimentación de CA en los que el VES se activa.

- 35 El documento JP2008089285 divulga una instalación de aire acondicionado con ventilación para una sala de control del reactor nuclear provista de una instalación de aire acondicionado con ventilación de emergencia que permite proporcionar aire a la sala de control desde un depósito exterior de aire comprimido. Los documentos US2006/059936, US2009/266069, US2010/02444, US2009200805 y US2011/041501 divulgan varios ejemplos de la técnica anterior de los sistemas de generación de energía eléctrica que hacen uso de depósitos de aire comprimido para la generación de energía eléctrica.

Sumario de la invención

La invención proporciona un sistema de habitabilidad de sala de control principal pasivo para un reactor nuclear de acuerdo con la reivindicación 1 y un procedimiento de generación de energía mediante la recuperación de aire comprimido en un sistema de habitabilidad de sala de control principal pasivo, activado en una planta de energía nuclear de acuerdo con la reivindicación 7 .

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra un esquema de un Sistema de Habitabilidad de Sala de Control Principal (VES) de acuerdo con la técnica anterior.

La Figura 2 muestra un esquema de un sistema de generación de energía VES en el que el mecanismo incluye una turbina-generador, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención.

La Figura 3 muestra un esquema de otro sistema de generación de energía VES en el que el mecanismo incluye una bomba accionada por aire.

La Figura 4 muestra un esquema de otro sistema de generación de energía VES en el que el mecanismo incluye una turbina-generador y una bomba accionada por aire, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención.

La Figura 5 muestra una curva de la bomba para una bomba neumática para su uso en un VES como se muestra en las Figuras 3 y 4, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención.

Solo las realizaciones de las Figuras 2 y 4 son parte de la invención como se reivindica.

Descripción detallada de la invención

La invención se refiere a sistemas y procedimientos para la extracción de energía y la generación de potencia a partir de aire comprimido en un Sistema de Habitabilidad de Sala de Control Principal (VES) pasivamente potenciado en una planta de energía de reactor nuclear, tal como reactores de agua presurizada y reactores de agua en ebullición, durante un escenario de adaptación, tal como un accidente o cualquier otro evento que implique la pérdida de la alimentación de CA, cuando se activa el VES. En particular, los sistemas y procedimientos de generación de potencia de la energía extraída de la invención a partir de la diferencia de presión del aire comprimido, desde la presión inicial (es decir, en un depósito de aire comprimido) hasta una presión a la entrada de un eductor. Esta energía almacenada se convierte en potencia útil, por ejemplo, por una turbina y/o bomba. Además, el aire comprimido (a una presión inferior) está disponible para pasar a través del eductor y en la sala de control de la planta de energía de reactor nuclear. El VES suministra por lo general aire comprimido para la ventilación, la refrigeración y la filtración del entorno de la sala de control durante un escenario de adaptación. Por lo tanto, la invención es útil para la conversión de energía almacenada en el inventario de aire comprimido del VES en energía útil para alargar la capacidad de la planta para adaptarse después de un accidente con pérdida prolongada de alimentación de CA.

La Figura 2 muestra esquemáticamente un sistema de generación de energía VES de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención. La Figura 2 incluye el depósito 2, la corriente de aire 4 comprimido, el regulador 6 de presión, la salida 7, la corriente de aire 8 comprimido de presión más baja, el eductor 9, la boquilla 11 del eductor y la sala 13 de control como se muestra en la Figura 1. Como se ha indicado anteriormente, el regulador 6 de presión reduce la presión de la corriente entrante de aire 4 comprimido de modo que la corriente de aire 8 comprimido de presión más baja pasa a través de la salida 7. Además, la Figura 2 incluye una turbina 15 de aire y un alternador/generador 17. Estos dos componentes se proporcionan corriente arriba de la boquilla 11 del eductor y el eductor 9. La corriente de aire 8 comprimido de presión más baja sale de la salida 7 del regulador de presión y se alimenta a la turbina 15 de aire y el alternador/generador 17 para convertir la energía almacenada en el aire comprimido en energía útil, por ejemplo, potencia, que se puede utilizar para las funciones de adaptación durante una situación de accidente en una planta de energía nuclear del reactor cuando el VES se activa. El aire 8 comprimido de presión más baja tiene una presión que es esencialmente igual a la requerida por la turbina 15 de aire. La recuperación y la conversión de la energía almacenada en energía útil en el VES se realiza mientras se cumplen con los requisitos de diseño del VES. La presión del aire comprimido puede variar. En ciertas realizaciones, el aire comprimido está inicialmente a una presión de aproximadamente 22.980 kPa (3333 psig), por ejemplo, en el depósito 2. El aire se expande adiabática e isoentrópicamente desde esta presión inicial a una presión final de aproximadamente 1.340 kPa (200 psig). Esta expansión se produce a través de la turbina 15 de aire y por lo tanto, la presión de aproximadamente 1.340 kPa (200 psig) es corriente abajo de la turbina 15 de aire. En ciertas realizaciones, se puede emplear un regulador de presión secundario (no mostrado) para reducir aún más la presión a la requerida por el eductor 9 u otro componente situado corriente abajo de la turbina 15 de aire, tal como una bomba accionada por aire (como se muestra en la Figura 3). En ciertas realizaciones, el regulador de presión secundario (no mostrado) se puede mover entre la turbina 15 de aire y la boquilla 11 del eductor. La energía disponible se calcula multiplicando la diferencia de entalpía de los estados inicial y final de presión por la masa de aire que se expande. Los detalles de esta conversión se proporcionan en la presente memoria más adelante. Esta energía se puede utilizar durante el período de adaptación de una situación de accidente para una variedad de funciones útiles, tales como, pero sin limitarse a, la carga de baterías o alimentación de instrumentación y otros equipos.

La invención incluye también el sistema 25 de generación de energía VES mostrado esquemáticamente en la Figura 3, de acuerdo con ciertas realizaciones. La Figura 3 incluye el depósito 2, la corriente de aire 4 comprimido, el regulador 6 de presión, la salida 7, la corriente de aire 8 comprimido de presión más baja, el eductor 9, la boquilla 11 del eductor y la sala 13 de control como se muestra en la Figura 1. Además, la Figura 3 incluye una bomba 27 accionada por aire situada corriente abajo del regulador 6 de presión y su salida 7, y corriente arriba del eductor 9 y su boquilla 11. En esta realización, el regulador 6 de presión se ajusta para suministrar la presión de entrada requerida por la bomba 27 accionada por aire (en lugar de la turbina 15 de aire como se muestra en la Figura 1).

La invención incluye además el sistema 30 de generación de energía VES mostrado esquemáticamente en la Figura 4, de acuerdo con ciertas realizaciones. La Figura 4 incluye el depósito 2, la corriente de aire 4 comprimido, el regulador 6 de presión, la salida 7, la corriente de aire 8 comprimido de presión más baja, el eductor 9, la boquilla 11 del eductor y la sala 13 de control como se muestra en la Figura 1. Además, la Figura 4 incluye la turbina 15 de aire, el alternador/generador 17 y la bomba 27 accionada por aire. La bomba 27 accionada por aire se coloca corriente abajo de la turbina 15 de aire y, corriente arriba del eductor 9 y su boquilla 11. En esta realización, el sistema se configura de tal manera que, o bien la turbina 15 de aire se descarga a una presión que coincida con la presión de entrada requerida de la bomba 27 accionada por aire, o puede instalarse un regulador de presión secundario (no mostrado) entre la turbina 15 de aire y la bomba 27 accionada por aire de manera que se consiga la presión de entrada apropiada a la bomba 27 accionada por aire.

En ciertas realizaciones, el regulador 6 de presión se ajusta para proporcionar una presión de 830 kPa (120 psig) en su salida 7 y la boquilla 11 del eductor/educador 9 se diseña para funcionar a 760 kPa (110 psig). En otras realizaciones, el regulador 6 de presión se fija a una presión significativamente mayor correspondiente a la presión de diseño/entrada de la turbina de aire y la descarga de la turbina está a la presión de diseño/entrada de la bomba accionada por aire. Se entiende que dispositivos de regulación de presión adicionales pueden incluirse, según sea necesario para producir las presiones de entrada deseadas en la turbina de aire, en la bomba accionada por aire o en el eductor. El cambio de los ajustes del regulador 6 de presión a una presión ligeramente superior de aproximadamente 930 kPa (135 psig), por ejemplo, y mantener la presión de entrada al eductor a 760 kPa (110 psig), proporciona un diferencial de presión 172 kPa (25 psi) para operar la bomba accionada por aire. Esta bomba se puede utilizar, por ejemplo, para transportar agua desde los depósitos de almacenamiento *in situ* a los lugares donde se necesita para adaptarse durante un escenario de accidente.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos se aplican a plantas AP1000 diseñadas por Westinghouse Electric Company.

Ejemplo 1

La energía almacenada de cualquier sustancia es igual a la entalpía total de esa sustancia. La energía útil total es la diferencia entre la entalpía antes de realizar el trabajo y la entalpía en el estado final. Para los depósitos de almacenamiento de aire VES, la presión inicial del aire comprimido es una función de las condiciones ambientales en la sala del depósito de almacenamiento de aire.

En este ejemplo, la presión del depósito calculada a temperaturas ambiente de 16 °C (60 °F) y 27 °C (80 °F) se determinó que era 22.980 y 24.160 kPa (3.333 y 3.504 psig), respectivamente. La presión del aire a la entrada del eductor se determinó que era 760 kPa (110 psig).

La energía total en el aire almacenado se obtuvo a partir de:

$$E = m_{\text{aire}} * h_1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

en la que E es la energía almacenada en el depósito, m_{aire} es la masa de aire en el depósito, y h_1 es la entalpía del aire en el depósito. h_1 se determinó a partir de tablas termodinámicas, y la masa total de aire en los depósitos se encontró utilizando la Ecuación 2, que relaciona el volumen específico y el volumen total de almacenamiento con la masa total de aire:

$$m_{\text{aire}} = \frac{V}{v_{\text{aire}}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

en la que v_{aire} es el volumen específico del aire a la temperatura y la presión del sistema y V es el volumen total de almacenamiento de los depósitos de aire.

No toda la energía almacenada en los depósitos se extrajo y se convirtió en trabajo útil. El equilibrio de energía global de cualquier sistema se muestra como la Ecuación 3:

$$\Delta H + \frac{\Delta u^2}{2g_c} + g\Delta z = Q + W_s \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\frac{\Delta u^2}{2g_c}$$

La ecuación 3 gobierna la transferencia de energía total desde cualquier sistema, en el que $\frac{\Delta u^2}{2g_c}$ es el cambio en la energía cinética, $g\Delta z$ es el cambio en la energía potencial, ΔH es el cambio en la entalpía del sistema, Q es el calor y W_s es el trabajo. Donde la energía cinética y potencial del sistema fue insignificante en comparación con el cambio en la entalpía, y en el que el sistema se suponía era adiabático (sin calor transferido dentro o fuera del sistema), la Ecuación 3 se simplificó a:

$$H_1 - H_2 = W_s \quad (\text{Ecuación 4})$$

La entalpía final, H_2 , no se conoce fácilmente pero la presión final era conocida y se supuso que el sistema era completamente reversible (isentrópico). La entalpía final se determinó por interpolación de la tabla termodinámica para el aire comprimido. La expansión isoentrópica utiliza la suposición de que la entropía es constante, es decir $S_1=S_2$.

Suposiciones:

1. La energía cinética y potencial del sistema fue insignificante.
2. El sistema era adiabático.
3. El sistema era isentrópico.
4. La expansión de la presión del depósito al regulador de presión mínima de entrada no afectó los criterios de rendimiento general del sistema.
5. Una eficacia de generación de electricidad del 33% para la turbina de aire comprimido.

Entrada:

Presión de diseño de depósitos de aire comprimido	= 4.000 psig (432.000 kPa)
Temperatura de diseño de depósitos de aire comprimido	= 60-80 °F (15,56-36,67 °C)
Número total de depósitos de aire comprimido	= 32
Volumen total libre de cada depósito de aire comprimido	= 46,1 pies ³ (1,31 m ³)
Punto de consigna del regulador de presión mínima de entrada de presión	= 200 psig (21.600 kPa)
Presión de entrada del eductor	= 110 psig (11.800 kPa)
Presión mínima de depósitos a 60 °F (15,56 °C)	= 3.333 psig (359.964 kPa)
Presión mínima de depósitos a 80 °F (26,67 °C)	= 3.504 psig (367.920 kPa)
Volumen específico del aire a 68 °F (20 °C) y 200 bar	= 0,00433 m ³ /Kg

con 1 psig = 108 kPa y 1 pie = 30,5 cm.

Masa determinada de aire en el interior de los depósitos de aire comprimido

TABLA 1

Presión	280K (6,85 °C)	300K (26,85 °C)
200 bar	Entalpía = 239,6 kJ/kg Entropía = 5.149 kJ/(kg*K) Volumen Especifico = 0,00407 m ³ /kg	Entalpía = 265,5 kJ/kg Entropía = 5,238 kJ/(kg*K) Volumen Especifico = 0.00446 m ³ /kg
250 bar	Entalpía = 234,3 kJ/kg Entropía = 5,064 kJ/(kg*K) Volumen Especifico = 0,00338 m ³ /kg	Entalpía = 260,8 kJ/kg Entropía = 5,155 kJ/(kg*K) Volumen Especifico = 0.00368 m ³ /kg

ES 2 686 603 T3

La temperatura del aire era $60\text{ }^{\circ}\text{F} = 288,7\text{ K} = 15,56\text{ }^{\circ}\text{C}$
 La presión inicial de aire era de $3333\text{ psig} = 3347,4\text{ psia} = 230,8\text{ bar}$
 Interpolación entre los valores de la tabla:

Entalpía

Entalpía a $288,7\text{ K}$ ($15,55\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $200\text{ Bar} =$

$$239,6 + \left[\frac{(288,7 - 280)}{300 - 280} * (265,5 - 239,6) \right] = 250,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

5

Entalpía a $288,7\text{ K}$ ($15,55\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $250\text{ Bar} =$

$$234,3 + \left[\frac{(288,7 - 280)}{300 - 280} * (260,8 - 234,3) \right] = 245,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Entalpía a $288,7\text{ K}$ ($15,55\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $230,8\text{ Bar} =$

$$250,9 + \left[\frac{(230,8 - 200)}{250 - 200} * (245,8 - 250,9) \right] = 247,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Entropía

Entropía a $288,7\text{ K}$ ($15,55\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $200\text{ Bar} =$

$$5,149 + \left[\frac{(288,7 - 280)}{300 - 280} * (5,238 - 5,149) \right] = 5,188 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

10

Entropía a $288,7\text{ K}$ ($15,55\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $250\text{ Bar} =$

$$5,064 + \left[\frac{(288,7 - 280)}{300 - 280} * (5,155 - 5,064) \right] = 5,104 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

Entropía a $288,7\text{ K}$ ($15,55\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $230,8\text{ Bar} =$

$$5,188 + \left[\frac{(230,8 - 200)}{250 - 200} * (5,104 - 5,188) \right] = 5,136 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

Volumen específico

Volumen Específico a $288,7\text{ K}$ ($15,55\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $200\text{ Bar} =$

$$0,00407 + \left[\frac{(288,7 - 280)}{300 - 280} * (0,00446 - 0,00407) \right] = 0,00424 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Volumen Específico a $288,7\text{ K}$ ($15,55\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $250\text{ Bar} =$

$$0,00338 + \left[\frac{(288,7 - 280)}{300 - 280} * (0,00368 - 0,00338) \right] = 0,00351 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Volumen Específico a 288,7 K (15,55 °C) y 230,8 Bar =

$$0,00351 + \left[\frac{(230,8 - 200)}{250 - 200} * (0,00424 - 0,00351) \right] = 0,00396 \frac{m^3}{kg}$$

Masa calculada de aire comprimido en los depósitos de almacenamiento VES

$$\text{Volumen del Depósito} = 46,1 \text{ ft}^3 = 1,305 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Total de Depósitos de Aire Comprimido} = 1,305 * 32 = 41,76 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{aire}} = \frac{V}{v_{\text{aire}}}$$

5

$$m_{\text{aire}} = \frac{41,76 \text{ m}^3}{0,00396 \frac{m^3}{kg}} = 10545,45 \text{ kg}$$

Energía inicial almacenada en depósitos de aire comprimido

$$E = m_{\text{aire}} * h_1$$

$$h_1 = 247,8 \frac{kJ}{kg}$$

$$E = 10545,45 \text{ kg} * 247,8 \frac{kJ}{kg} = 2613,2 \text{ MJ}$$

10

Entalpía final Suponiendo Expansión Isoentrópica

La válvula de regulación de presión tenía una presión mínima de entrada de 200 psig (214,7 psia), y fue una suposición razonable de que si el aire comprimido se expandió a 200 psig, el rendimiento del sistema VES no se vio afectado.

15 214,7 psia = 14,8 bar

TABLA 2

Presión	120K (-153,15 °C)	140K (-133,15 °C)
10 bar	Entalpía = 106,2 kJ/kg Entropía = 5,214 kJ/(kg*K)	Entalpía = 130,2 kJ/kg Entropía = 5,398 kJ/(kg*K)
20 bar	Entalpía = 85,2 kJ/kg Entropía = 4,882 kJ/(kg*K)	Entalpía = 118,5 kJ/kg Entropía = 5,140 kJ/(kg*K)

Interpolar entre puntos encontrar entalpía a 214,7 psia y entropía de 5,136

$$\text{Entalpía a 214,7 psia (14,8 bar) y 120k (-153,15 °C)} = 106,2 + \left[\frac{(14,8-10)}{20-10} * (85,2 - 106,2) \right] = 96,1 \frac{kJ}{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Entalpía a 214,7 psia (14,8 bar) y 140k (-133,15°C)} = \\ 130,2 + \left[\frac{(14,8-10)}{20-10} * (118,5 - 130,2) \right] = 124,6 \frac{kJ}{kg} \end{aligned}$$

$$\text{Entropía a 214,7 psia (14,8 bar) y 120k (-153,15 °C)} = \\ 5,214 + \left[\frac{(14,8-10)}{20-10} * (4,882 - 5,214) \right] = 5,055 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$\text{Entropía a 214,7 psia (14,8 bar) y 140k (-133,15°C)} = \\ 5,398 + \left[\frac{(14,8-10)}{20-10} * (5,140 - 5,398) \right] = 5,274 \frac{kJ}{kg * K}$$

5

$$\begin{aligned} \text{Teperatura a 214,7 psia (14,8 bar) cuando la Entropía es 5,136} = \\ 5,055 + \left[\frac{(X-120)}{140-120} * (5,274 - 5,055) \right] = 5,136 \frac{kJ}{kg * K} \end{aligned}$$

$$X = 127,4K (-145,75 °C)$$

$$\begin{aligned} \text{Entalpía a 214,7 psia (14,8 bar) y 127,4K (-145,75 °C)} = \\ 96,1 + \left[\frac{(127,4-120)}{140-120} * (124,6 - 96,1) \right] = 106,6 \frac{kJ}{kg} \end{aligned}$$

Energía total calculada extraída mediante la expansión de aire a 3333 psig (230,8 bar) a 200 psig (14,8 bar)

$$h_1 = 247,8 \frac{kJ}{kg} \quad y \quad h_2 = 106,6 \frac{kJ}{kg}$$

$$E = m_{\text{aire}} (h_1 - h_2)$$

$$E = 10545,45kg * \left(141,2 \frac{kJ}{kg} \right) = 1489018kJ = 1489,0MJ$$

10

Salida eléctrica esperada y estimada

Existen múltiples maneras de utilizar la energía del aire comprimido con eficacia, pero una forma común es convertir la energía en electricidad en una turbina mediante la expansión a través de una turbina que acciona un generador eléctrico. Se realizó un cálculo suponiendo un valor razonable para la eficacia global de generación eléctrica del 33 %.

5

$$\text{Salida Eléctrica} = n_{\text{eléctrica}} * \text{Energía}_{\text{entrada}} = 0,33 * 1489,0 \text{ MJ} * \frac{1}{3600} \frac{\text{hr}}{\text{s}} = 136,5 \text{ kwh}$$

La Tabla 3 proporciona a continuación una lista de las cargas después de un accidente convencionales que se pueden alimentar por los sistemas y procedimientos de generación de la invención. Se muestra de la salida eléctrica que está disponible y de estas cargas que varias horas de tiempo de adaptación adicional se pueden proporcionar durante una pérdida de escenario de alimentación de CA.

10

TABLA 3

Punto nº.	Descripción de Cargas	Generador CA Auxiliar 1	Generador CA Auxiliar 2
		Carga (kW)	Carga (kW)
1.	Emergencia de Supervisión Después de un Accidente (PAM) e Iluminación de Panel (División B) en la Sala de Control Principal y ventiladores auxiliares		6,5
2.	Después de un Accidente de vigilancia (PAM) ventiladores de emergencia y de iluminación del panel (División C) en la sala de control principal y auxiliares	6,5	
3.	PCS Recirculación Bombas	19,3	19,3
4.	Auxiliares Generador de luz de la habitación	0,5	0,5
5.	Calentador del depósito de combustible del generador auxiliar	1,25 kW	1,25 kW
	Total	27,55 kW	27,55 kW

Ejemplo 2

Corriente abajo del regulador de presión, se esperaba que el aire comprimido fuera 120 psig (8,27 bar), con un caudal de 65 ± 5 SCFM (1,840 ± 140 l/min). La presión de entrada del eductor fue de 110 psig (7,58 bar), lo que no permite mucha oportunidad de extraer energía útil a partir de la corriente de aire comprimido corriente abajo del regulador de presión. Sin embargo, si la presión de entrada del eductor se disminuyó a ~95 psig (6,55 bar), se investigó otro uso potencial del aire comprimido. En lugar de la extracción de energía y la generación de electricidad, se utilizó la presión de aire relativamente más baja para alimentar un dispositivo neumático, por ejemplo, una bomba de diafragma accionada por aire.

15

20

Una curva representativa de la bomba se muestra en la Figura 5. Utilizando la Figura 5, 65 SCFM (1,840 l/min) de aire de entrada con 120 psig (8,27 bar) de presión proporciona aproximadamente 40 gpm de agua en un cabezal de descarga de aproximadamente 225 pies (68,58 m). La presión de salida de aire fue >95 psig (6,55 bar).

Transferencia potencial del agua

25

El VES operado durante un mínimo de 72 horas.

$$\begin{aligned} \text{Agua bombeada} &= 40 \text{ gpm} * 60 \text{ min/hr} * 72 \text{ hr} \\ &= 172.800 \text{ galones} \approx 654,12 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

donde 1 gpm = 3,785 l/m y 1 galón = 3,785 l. Se ha encontrado que la cantidad total de energía contenida en los depósitos de aire comprimido era de 2.613,2 MJ. La expansión adiabática e isoentrópica de la presión de operación

5 esperada con respecto a la presión de diseño del regulador de presión tenía la capacidad de producir 1.489,0 MJ. Suponiendo una generación eléctrica global del 33 %, se esperaba 136,5 kWh de electricidad de un sistema de turbina de aire comprimido. Además, una bomba de diafragma accionada por aire situada corriente abajo del regulador de presión tenía el potencial de suministrar 172.800 galones (654,12 m³) de agua a un cabezal de descarga de ~225 pies (68,58 m) utilizando una curva representativa de la bomba.

Aunque la invención se ha descrito en términos de varias realizaciones específicas, los expertos en la materia reconocerán que la invención puede ponerse en práctica con modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema pasivo de habitabilidad de sala de control principal para una planta de energía de reactor nuclear, que comprende:
- 5 al menos un depósito (2) estructurado para almacenar aire comprimido;
un regulador (6) de presión estructurado para recibir aire comprimido y reducir la presión del aire comprimido para producir aire (8) comprimido de presión más baja;
una turbina (15) de aire estructurada para recibir y expandir el aire (8) comprimido de presión más baja, en el que el aire (8) comprimido de presión más baja corresponde a una presión de entrada de la turbina (15) de aire;
un generador (17) estructurado para convertir el aire (8) comprimido de presión más baja en energía eléctrica;
- 10 un eductor (9) estructurado para recibir y distribuir el aire (8) comprimido de presión más baja en una sala de control de la planta de energía de reactor nuclear; y
tuberías para conectar el depósito (2), el regulador (6) de presión, la turbina (15) de aire, el generador (17) y el eductor (9),
- 15 en el que el sistema pasivo de habitabilidad de sala de control principal convierte la energía almacenada del aire (8) comprimido de presión más baja en energía eléctrica cuando el sistema de habitabilidad de sala de control principal se activa durante un escenario de pérdida total de alimentación de CA.
2. El sistema pasivo de habitabilidad de sala de control principal de la reivindicación 1, que comprende además una bomba (27) accionada por aire.
3. El sistema pasivo de habitabilidad de sala de control principal de la reivindicación 1, en el que la presión máxima del aire comprimido en el al menos un depósito (2) es de aproximadamente 27,6 MPa.
- 20 4. El sistema pasivo de habitabilidad de sala de control principal de la reivindicación 1, en el que la presión mínima en el al menos un depósito (2) es de aproximadamente 22.980 MPa.
5. El sistema pasivo de habitabilidad de sala de control principal de la reivindicación 1, en el que el aire (8) comprimido de presión más baja es aproximadamente 0,83 MPa.
- 25 6. El sistema pasivo de habitabilidad de sala de control principal de la reivindicación 2, en el que un diferencial de presión de 0,172 MPa entre el aire (8) comprimido de presión más baja y la presión de diseño del eductor (9) se utiliza para operar la bomba (27) accionada por aire.
7. Un procedimiento de generación de energía mediante la recuperación de aire comprimido en un sistema pasivo de habitabilidad de sala de control principal, activado en una planta de energía de reactor nuclear, que comprende:
- 30 presurizar aire comprimido en al menos un depósito (2) de almacenamiento;
hacer pasar el aire (4) comprimido a través de un regulador (6) de presión para producir una corriente de aire (8) comprimido de presión más baja; y
suministrar el aire (8) comprimido de presión más baja a una turbina (15) de aire y al generador (17) para generar energía.
- 35 8. El procedimiento de la reivindicación 7, que comprende además una bomba (27) accionada por aire.

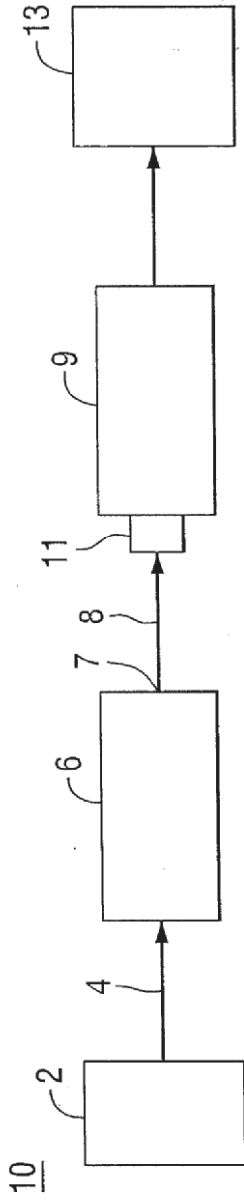


FIG. 1

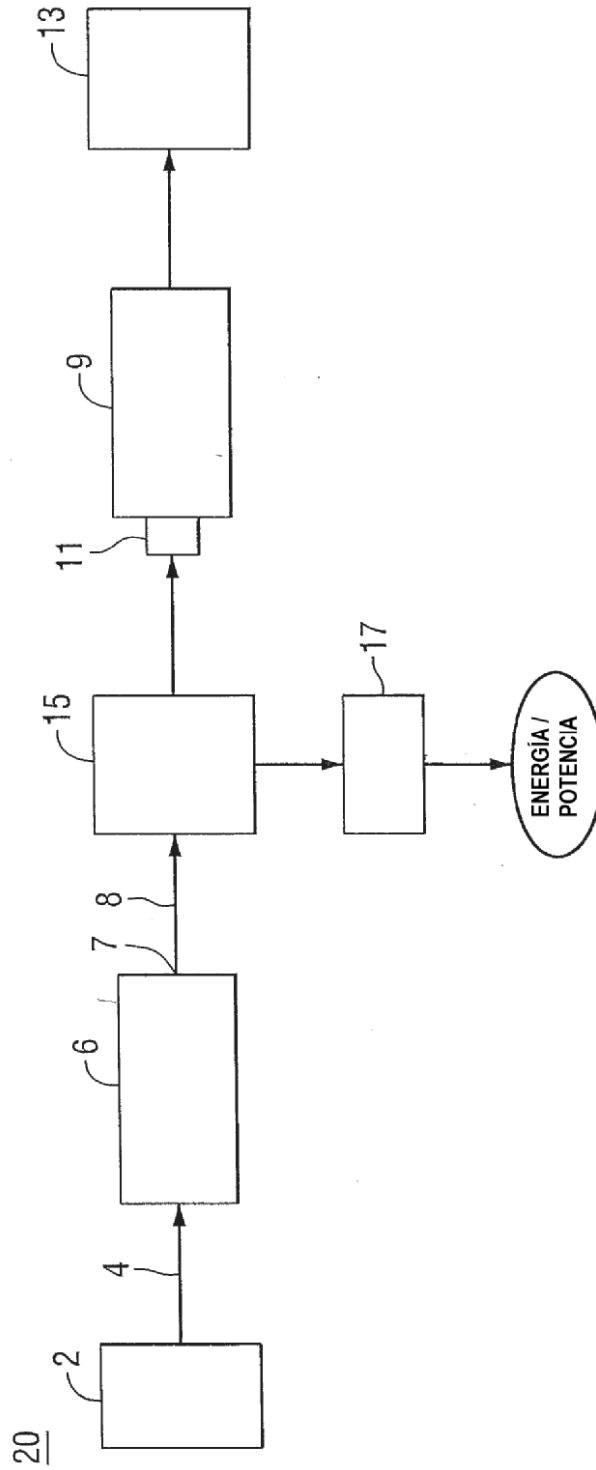


FIG. 2

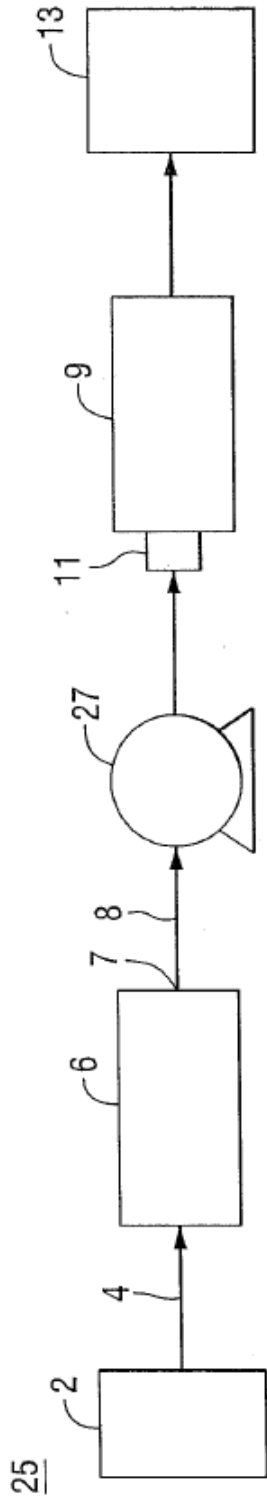


FIG. 3

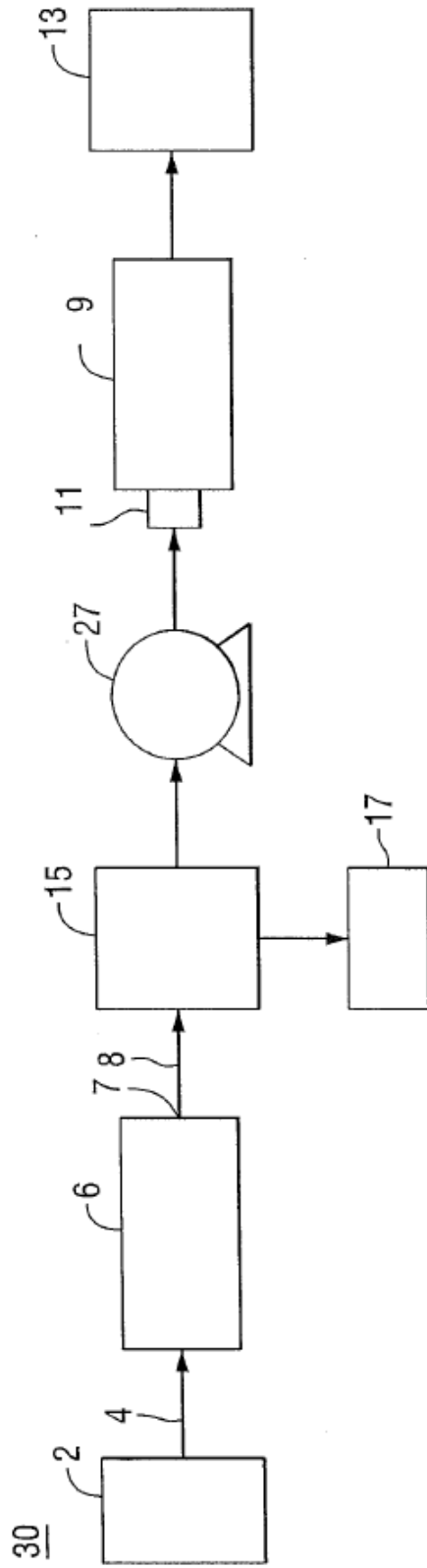


FIG. 4

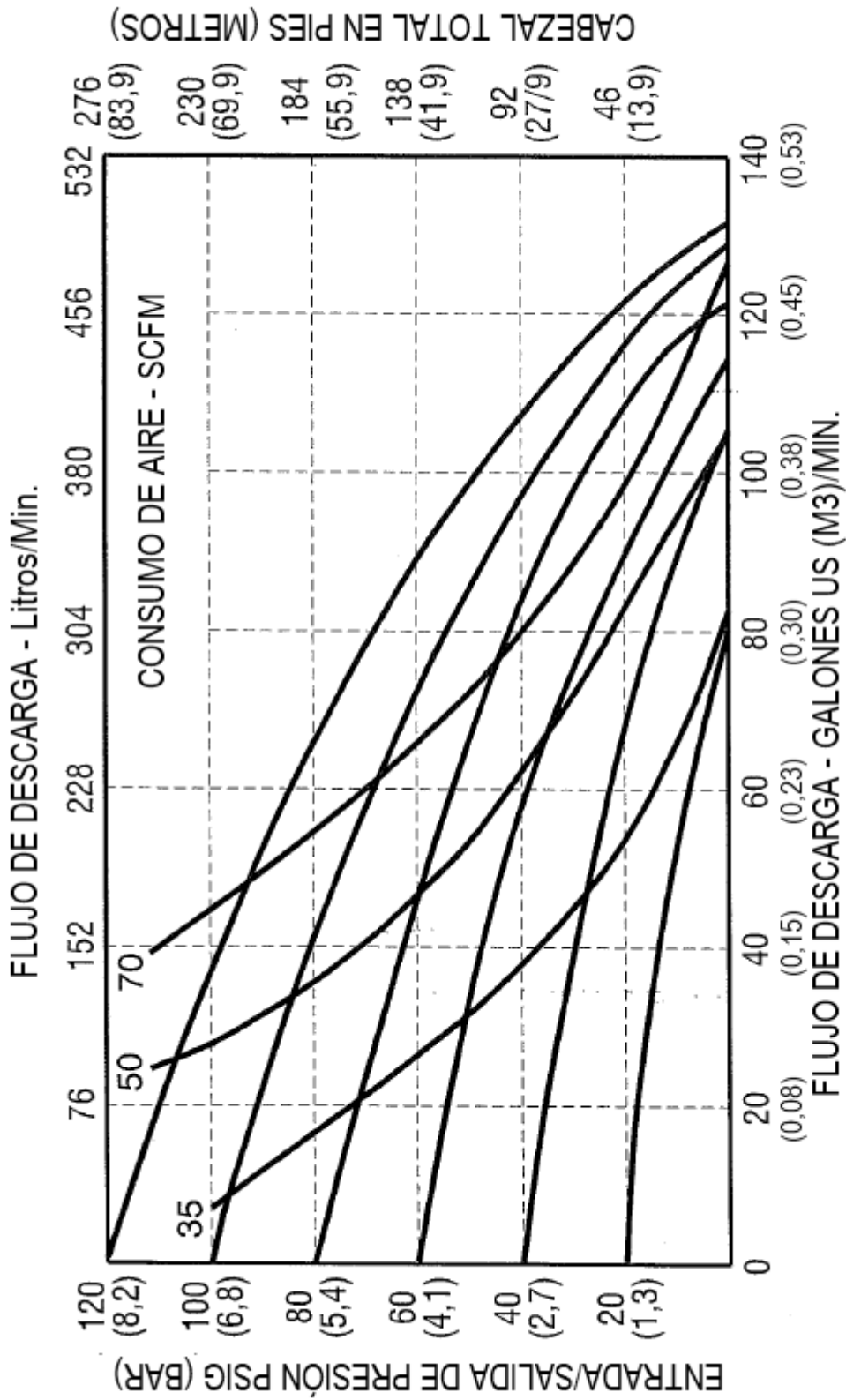


FIG. 5