

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 228**

51 Int. Cl.:

G21C 7/32 (2006.01)

G21C 17/032 (2006.01)

G21C 15/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.07.2008 E 08160247 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **14.01.2009 EP 2015312**

54 Título: **Procedimiento y sistemas de control de la temperatura del agua de alimentación**

30 Prioridad:

13.07.2007 US 777377

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

23.01.2013

73 Titular/es:

**GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC
(100.0%)
3901 CASTLE HAYNE ROAD
WILMINGTON, NC 28401, US**

72 Inventor/es:

**MOEN, STEPHAN CRAIG;
NOONAN, JACK PATRICK y
SAHA, PRADIP**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 394 228 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

Procedimientos y sistemas de control de la temperatura del agua de alimentación

Campo

5 Las presentes enseñanzas se refieren a sistemas y procedimientos para controlar la temperatura de recirculación del refrigerante en reactores nucleares de agua en ebullición de recirculación natural para controlar de esta manera la potencia de salida del reactor.

Antecedentes

Las declaraciones en esta sección proporcionan meramente información relacionada con la presente divulgación y pueden no constituir la técnica anterior.

10 Típicamente, en los reactores nucleares de agua en ebullición (RAE), la cantidad de reactividad del núcleo se controla poniendo barras de control y ajustando la cantidad de flujo de recirculación de refrigerante líquido a través del núcleo del reactor. Por ejemplo la potencia puede ajustarse al 30%-40% simplemente cambiando la cantidad de flujo de recirculación. Generalmente, los RAE típicos se ajustan para operar a un nivel de potencia relativamente bajo, es decir, donde los haces de barras de combustible funcionan a potencias bastante bajas, moviendo las barras de control y después el flujo de recirculación puede aumentarse para obtener una potencia del 100% sin mover ninguna barra de control. Utilizando el flujo de recirculación para controlar la potencia de potencia de salida, las barras de combustible y pastillas de combustible cambian los niveles de potencia a una velocidad uniforme relativamente lenta, evitando de esta manera la interacción del revestimiento de pastillas (IRG) y el daño al revestimiento de las barras de combustible.

15 Sin embargo, los reactores de agua en ebullición de circulación natural (RAECN) no incluyen bombas de recirculación sino que, en lugar de ello, emplean circulación natural. Por lo tanto, el flujo de recirculación no puede utilizarse para controlar la potencia de potencia de salida de los RAECN. Al menos algunos RAECN conocidos manipulan las barras de control para controlar el nivel de potencia de los haces de barras de combustible, lo que provoca que el nivel de potencia cambie a velocidades no uniformes bastante rápidas. Aumentar la potencia demasiado rápidamente a medida que se extraen las barras de control puede provocar un daño significativo al revestimiento de las barras de combustible.

Sumario

30 De acuerdo con la invención, se proporciona un sistema para controlar el nivel de potencia de un reactor nuclear de agua en ebullición de circulación natural (RAECN) de acuerdo con la reivindicación 1. La invención comprende adicionalmente un procedimiento para controlar el nivel de potencia de un reactor nuclear de agua en ebullición de circulación natural (RAECN) de acuerdo con la reivindicación 8. Las realizaciones se definen en las reivindicaciones dependientes.

35 Las áreas adicionales de aplicabilidad de las presentes enseñanzas resultarán evidentes a partir de la descripción proporcionada en el presente documento. Debe entenderse que la descripción y los ejemplos específicos están concebidos para fines de ilustración únicamente y que no pretenden limitar el alcance de las presentes enseñanzas.

Dibujos

Los dibujos descritos en el presente documento son solo con fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de las presentes enseñanzas en modo alguno.

40 La Figura 1 es un esquema general de un reactor nuclear de agua en ebullición de circulación natural (RAECN), que puede usarse con la presente invención.

La Figura 2 es un esquema del RAECN mostrado en la Figura 1 que incluye un sistema de control del nivel de potencia, de acuerdo con la presente invención.

La Figura 3 es un esquema del RAECN mostrado en la Figura 1 que incluye un sistema de control de nivel de potencia, que puede usarse con la presente invención.

45 La Figura 4 es un esquema del RAECN mostrado en la Figura 1 que incluye un sistema de control del nivel de potencia que puede usarse con la presente invención.

La Figura 5 es un esquema del RAECN mostrado en la Figura 1 que incluye un sistema de control del nivel de potencia que puede usarse con la presente invención.

50 La Figura 6 es un esquema del RAECN mostrado en la Figura 1 que incluye un sistema de control del nivel de potencia, de acuerdo con la presente invención.

La Figura 7 es una representación gráfica del mapa de potencia/temperatura del agua de alimentación utilizado con el RAECN mostrado en la Figura 1, de acuerdo con las diversas realizaciones de la presente divulgación.

Descripción detallada

5 La siguiente descripción es meramente de naturaleza ejemplar y en modo alguno pretende limitar las presentes enseñanzas, aplicación o usos. En toda la presente memoria descriptiva, se usarán números de referencia similares para referirse a elementos similares.

10 Haciendo referencia a la Figura 1, se proporciona un esquema general de un reactor nuclear de agua en ebullición de circulación natural (RAECN) 10 que incluye un sistema 14 de control del nivel de potencia. El RAECN 10 generalmente incluye al menos un calentador 18 del agua de alimentación principal, una vasija 22 del reactor, un colector 26 de la línea de vapor, una turbina 30 de vapor a alta presión, un recalentador 34 del separador de humedad y una turbina 38 de vapor a baja presión. En las diversas realizaciones, como se ilustra en la Figura 1 y se describe en el presente documento, el RAECN 10 incluye una pluralidad de calentadores 18 del agua de alimentación principales.

15 Los calentadores 18 del agua de alimentación principales incluyen cada uno un núcleo del calentador de agua de alimentación (no mostrado) que recibe el agua de alimentación suministrada a través de la línea 42 de entrada del agua de alimentación y una bomba 46 del agua de alimentación, o a través de una línea 50 de unión del agua de alimentación y otro calentador 18 del agua de alimentación principal. Cada calentador 18 del agua de alimentación principal incluye adicionalmente una carcasa de vapor (no mostrada) que rodea los núcleos del calentador respectivo y está estructurada para recibir vapor a alta presión y a alta temperatura desde el recalentador 34 del separador de humedad y/o la turbina 30 de vapor a alta presión, a través de las líneas 52 y/o 53 de extracción de vapor. En general, el vapor de la turbina 30 de vapor a alta presión y/o el recalentador 34 del separador de humedad se desvía a los calentadores 18 del agua de alimentación principales y se hace circular a través de las carcasas respectivas para calentar el agua de alimentación que fluye a través de los núcleos del calentador respectivo a una temperatura predeterminada, tal como una temperatura operativa normal, por ejemplo, menor de 490 K. El agua de alimentación calentada se alimenta después hacia un anillo 25 de la vasija 22 del reactor, a través de una línea 56 de entrada del agua de alimentación a la vasija del reactor, donde el agua de alimentación calentada se mezcla con y resulta parte de un flujo de recirculación que circula dentro de un núcleo 54 del reactor.

20 El flujo de recirculación enfría las barras de combustible dentro del núcleo 54 del reactor, lo que a su vez convierte el refrigerante de agua en vapor a alta temperatura, por ejemplo 560 K, que sale de la vasija 22 del reactor a través de una pluralidad de líneas 58 de vapor de salida de la vasija del reactor. Las líneas 58 de vapor de salida terminan en el colector 26 de la línea de vapor que regula y controla la salida de vapor a alta temperatura y alta presión a la turbina 30 de vapor a alta presión, a través de la línea 62 de vapor de alimentación a la turbina de alta presión. El vapor a alta temperatura y alta presión alimentado a la turbina 30 de vapor a alta presión se utiliza para hacer girar la turbina 30. Posteriormente, al menos una porción del vapor a alta presión y alta temperatura sale de la turbina 30 de vapor a alta presión, a través de una línea 66 de salida de la turbina de alta presión. La salida del vapor de la turbina 30 a alta presión se alimenta a un recalentador 34 del separador de humedad donde el agua líquida se retira del vapor para secar el vapor. El vapor secado se alimenta después a una turbina 38 de vapor a baja presión. El vapor a alta temperatura y baja presión alimentado a la turbina 38 de vapor a baja presión se utiliza para hacer girar la turbina 38.

30 El sistema 14 de control del nivel de potencia se estructura y es operable para aumentar la temperatura del agua de alimentación que sale de los calentadores 18 de agua de alimentación principales, antes de que el flujo de agua de alimentación entre en el anillo 25 a través de la línea 56 de entrada del agua de alimentación a la vasija del reactor. Más particularmente, el sistema 14 de control del nivel de potencia está estructurado y es operable para calentar de forma controlable el flujo de agua de alimentación hacia el anillo 25 para de esta manera aumentar de forma controlable la temperatura del flujo de agua de recirculación a una temperatura por encima de una temperatura operativa del agua de recirculación normal. Aumentar la temperatura del flujo de agua de recirculación a una temperatura por encima de una temperatura operativa del agua de recirculación normal predeterminada reduce de forma controlable el nivel de potencia de salida por el núcleo 54 del reactor.

35 En general, el sistema 14 de control del nivel de potencia incluye un subsistema 70 de calentamiento y un detector 74 de temperatura conectados comunicativamente a un controlador 75 de temperatura que está conectado comunicativamente al subsistema 70 de calentamiento. El detector 74 de temperatura detecta la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor y se comunica con el controlador 75 de temperatura para supervisar y controlar la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor. Basándose en comandos de temperatura recibidos desde un centro 78 de control, el controlador 75 de temperatura envía señales de comando al subsistema 70 de calentamiento para aumentar la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor a una temperatura de comando, o requerida, por encima de una temperatura operativa normal del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25. El agua de alimentación calentada se alimenta hacia el anillo 25 para mezclarla con el flujo de recirculación para aumentar de forma controlable la temperatura del flujo de recirculación dentro del núcleo 54 del reactor a una temperatura por encima de una temperatura operativa normal del flujo de recirculación. Por consiguiente, el aumento controlado en la

temperatura del flujo de recirculación reduce de forma controlable el nivel de potencia de potencia de salida del núcleo 54 del reactor.

Haciendo referencia ahora a la Figura 2, el subsistema 70 de calentamiento incluye un colector 26 de vapor, al menos un calentador de agua de alimentación a alta temperatura (CAAAT) y una válvula 82 de derivación de vapor. En diversas implementaciones, cada CAAAT es un calentador 86 del agua de alimentación complementario estructurado para recibir un flujo de entrada del agua de alimentación desde uno o más de los calentadores 18 del agua de alimentación principales en un núcleo calentador (no mostrado). Adicionalmente, cada calentador 86 del agua de alimentación complementario está estructurado para recibir vapor a alta temperatura desde el colector 26 de vapor, a través de la línea 84 de desviación de vapor del colector, en una carcasa (no mostrada) que rodea el núcleo del calentador respectivo. Cada calentador 86 del agua de alimentación complementario está estructurado adicionalmente para sacar el flujo de agua de alimentación al anillo 25 del reactor. Cuando el controlador 75 de temperatura recibe órdenes para aumentar la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor, el controlador 75 de temperatura, a su vez, comunica señales de comando a la válvula 82 de derivación de vapor.

La válvula 82 de derivación de vapor recibe las órdenes del controlador 75 de temperatura y basándose en las órdenes recibidas, controla una cantidad de flujo de vapor a alta temperatura desde el colector 26 de vapor a la carcasa o carcasas del calentador o calentadores 86 del agua de alimentación complementarios. A medida que el vapor a alta temperatura circula a través de la carcasa o carcasas respectivas, se calienta el agua de alimentación del calentador o calentadores 18 del agua de alimentación principales que fluye a través del núcleo o núcleos del calentador de agua de alimentación complementario respectivo. Basándose en la lectura de temperatura detectada por el detector 74 de temperatura, el controlador 75 de temperatura se comunica con la válvula 82 de derivación de vapor para controlar la cantidad de vapor a alta temperatura que fluye hacia el calentador o calentadores 86 del agua de alimentación complementarios. De esta manera, basándose en la temperatura requerida recibida desde el centro 78 de control, el detector 74 de temperatura y el controlador 75 establecen un bucle de retroalimentación para controlar el aumento de temperatura del flujo de salida de agua de alimentación al anillo 25 del reactor. Más particularmente, el detector/controlador 74/75 del bucle de retroalimentación ajustan la temperatura del flujo de agua de alimentación para obtener la temperatura requerida por encima de la temperatura operativa normal del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor.

En diversas realizaciones, se proporciona un orificio 88 en una línea 89 de derivación alrededor de la válvula 82 de derivación de vapor para proporcionar un flujo de vapor constante a través de la línea 84 de desviación de vapor del colector para mantener la línea 84 de desviación de vapor del colector y el lado de la carcasa del calentador o calentadores 86 del agua de alimentación complementarios/alta temperatura calientes y listos para su uso cuando sea necesario.

Con referencia adicional a la Figura 2, el subsistema 70 de calentamiento incluye adicionalmente una válvula 90 de derivación del agua de alimentación que puede operar también para recibir órdenes del controlador 75 de temperatura. Como respuesta a las órdenes recibidas, la válvula 90 de derivación del agua de alimentación controla una cantidad de flujo del agua de alimentación a través de una línea 94 de derivación del calentador que dirige un flujo del agua de alimentación desde la bomba 46 del agua de alimentación hacia el anillo 25 del reactor. La temperatura del agua de alimentación que fluye desde la bomba 46 del agua de alimentación es significativamente menor que el agua de alimentación que fluye desde los calentadores 18 y 86 del agua de alimentación principal y complementario. Por lo tanto, un aumento en el flujo del agua de alimentación a través de la línea 94 de derivación del calentador, según es ordenado por el controlador 75 de temperatura, disminuirá la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor. Por ejemplo, como respuesta a una solicitud desde el centro 78 de control de aumentar el nivel de potencia de salida por el núcleo 54 del reactor, es decir, una solicitud de reducir la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor a una temperatura específica, la combinación de detector de temperatura y controlador 74/75 aumentará el flujo del agua de alimentación que fluye a través de la línea 94 de derivación del calentador.

El aumento de la menor temperatura del agua que fluye a través de la línea 94 de derivación del calentador reducirá la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor. Más particularmente, el detector 74 de temperatura y el controlador 75 de temperatura controlan el flujo del agua de alimentación a través de la línea 94 de derivación del calentador para reducir la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor para reducir la temperatura del agua de recirculación dentro del núcleo 54 del reactor a una temperatura solicitada por debajo de la temperatura operativa normal, aumentando de esta manera el nivel de potencia generado por el núcleo 54 del reactor. Por lo tanto, en diversas realizaciones, el sistema 14 de control del nivel de potencia controla el nivel de potencia de salida por el núcleo 54 del reactor aumentando la temperatura del flujo de agua de alimentación para disminuir la potencia de salida y disminuyendo la temperatura del flujo de agua de alimentación para aumentar la potencia de salida.

Haciendo referencia ahora a las Figuras 3 y 4, en otras diversas realizaciones, el RAECN incluye una pluralidad de calentadores 18 del agua de alimentación principales, en los que al menos uno de los calentadores 18 de agua de alimentación principales opera también como CAAAT.

En algunas realizaciones, cada uno de los calentadores 18 del agua de alimentación principales está estructurado para operar también como un CAAAT, como se muestra en la Figura 3. En tales realizaciones, cada CAAAT/calentador 18 del agua de alimentación principal está estructurado para recibir vapor a alta presión y alta temperatura desde la turbina 30 de vapor a alta presión y/o el recalentador 34 del separador de humedad, a través de las líneas 53 y/o 52 de extracción de vapor, para calentar el flujo de salida de agua de alimentación al núcleo 54 del reactor a la temperatura operativa normal. Adicionalmente, en tales realizaciones, cada calentador 18 del agua de alimentación de CAAAT/principal está estructurado para recibir vapor a alta temperatura desde el colector 26 de vapor para aumentar la temperatura de la salida del agua de alimentación al anillo 25 del reactor a una temperatura requerida por encima de la temperatura operativa normal, como se ha descrito anteriormente.

Como alternativa, en algunas realizaciones, los calentadores 18 del agua de alimentación principales más cercanos a la bomba 46 del agua de alimentación (los calentadores 18 del agua de alimentación principales iniciales) recibirían vapor de extracción solo desde la turbina 30 de vapor de alta presión a través de las líneas 53 de extracción de vapor y no de cualquiera del colector 26 de vapor o el separador/recalentador 34 de humedad. Por consiguiente, la temperatura del agua de alimentación que fluye desde los calentadores 18 del agua de alimentación principales iniciales a los calentadores 18 del agua de alimentación principales posteriores aumentará por encima de la temperatura de operación normal.

En otras realizaciones, solo una porción de la pluralidad de calentadores 18 del agua de alimentación principales está estructurada para operar también como un CAAAT, como se muestra en la Figura 4. En tales realizaciones, cada uno de los calentadores 18 de agua de alimentación principales distintos de CAAAT está estructurado para recibir vapor a alta presión y alta temperatura desde la turbina 30 de vapor a alta presión y/o el recalentador 34 del separador de humedad, a través de las líneas 53 y/o 52 de extracción de vapor, para calentar el flujo de salida del agua de alimentación al anillo 25 del reactor a la temperatura operativa normal, como se ha descrito anteriormente. Sin embargo, cada calentador 18 del agua de alimentación CAAAT/principal está estructurado para recibir vapor a alta temperatura desde el colector 26 de vapor, a través de la línea 84 de desviación de vapor del colector.

Cada calentador 18 del agua de alimentación de CAAAT/principal está estructurado de manera que, cuando se requiere la temperatura operativa normal del agua de alimentación, el vapor del colector 26 de vapor es utilizado por el calentador o calentadores 18 de agua de alimentación CAAAT/principal para calentar el flujo de salida del agua de alimentación al anillo 25 del reactor a la temperatura operativa normal. Adicionalmente, cuando se requiere una temperatura del agua de alimentación por encima de la temperatura de operación normal, cada calentador 18 del agua de alimentación de CAAAT/principal utiliza un vapor a alta temperatura adicional desde el colector 26 de vapor para aumentar la temperatura de la salida del agua de alimentación al núcleo 54 del reactor a la temperatura requerida.

De esta manera, con referencia adicional a las Figuras 3 y 4, cuando el controlador 75 de temperatura recibe órdenes para aumentar la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor, el controlador 75 de temperatura ordena que la válvula 82 de derivación de vapor aumente la cantidad de vapor a alta temperatura que se permite que fluya desde el colector 26 de vapor, hacia al interior de cada calentador 18 de agua de alimentación de CAAAT/principal. El aumento del vapor a alta temperatura que fluye a través de la carcasa de cada calentador 18 de agua de alimentación de CAAAT/principal aumenta la temperatura del agua de alimentación que fluye a través de núcleo o núcleos del calentador respectivo, y la salida al anillo 25 del reactor a la temperatura requerida/ordenada. Por consiguiente, el aumento en la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor aumenta la temperatura del agua de recirculación dentro del núcleo 54 del reactor, reduciendo de esta manera el nivel de potencia de salida de la vasija 22 del reactor, sin manipulación de las barras de control dentro de la vasija 22 del reactor.

Haciendo referencia ahora a la Figura 5, en diversas realizaciones, el subsistema 70 de calentamiento incluye un dispositivo 98 de calentamiento estructurado y que es operable para calentar el agua de alimentación que fluye desde el calentador o calentadores 18 de agua de alimentación principales hacia el anillo 25 del reactor. Más particularmente, el dispositivo 98 de calentamiento es sensible a las órdenes del controlador 75 de temperatura para aumentar la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor a una temperatura requerida por encima de la temperatura operativa normal, según lo detecta el detector 74 de temperatura. Por ejemplo, como respuesta a una solicitud desde el centro 78 de control para disminuir el nivel de potencia de salida por el núcleo 54 del reactor el controlador 75 de temperatura ordenará que el dispositivo 98 de calentamiento aumente la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor a la temperatura requerida. Por consiguiente, la temperatura del flujo de recirculación dentro del núcleo 54 del reactor aumentará y el nivel de potencia de salida en el vasija 22 del reactor disminuirá a un nivel requerido que corresponde a la reducción de temperatura del flujo de recirculación.

El dispositivo 98 de calentamiento puede ser cualquier dispositivo de calentamiento adecuado para calentar el agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor a la temperatura requerida por encima de la temperatura operativa normal producida por los calentadores 18 del agua de alimentación principales. Por ejemplo, el dispositivo 98 de calentamiento puede ser un dispositivo de calentamiento de agua que es operable con gas o energía eléctrica adecuado.

Haciendo referencia ahora a la Figura 6, en diversas realizaciones, cada uno de los calentadores 18 de agua de alimentación principales está estructurado para operar como un CAAAT. En tales realizaciones, cada calentador 18 del agua de alimentación de CAAAT/principal está estructurado para recibir vapor a alta presión y alta temperatura desde la turbina 30 de vapor a alta presión y/o el recalentador 34 del separador de humedad, a través de las líneas 53 y/o 52 de extracción de vapor, para calentar el flujo de salida del agua de alimentación hacia el anillo 25 del reactor a una temperatura por encima de la temperatura operativa normal. Adicionalmente, en tales realizaciones, el subsistema 70 de calentamiento incluye una válvula 102 de derivación del agua de alimentación que es operable para recibir órdenes desde el controlador 75 de temperatura. Como respuesta a las órdenes recibidas, la válvula 102 de derivación del agua de alimentación controla una cantidad de flujo del agua de alimentación a través de la línea 106 de derivación del calentador que dirige un flujo de agua de alimentación desde la bomba 46 de agua de alimentación hacia el anillo 25 del reactor. La temperatura del agua de alimentación que fluye desde la bomba 46 del agua de alimentación es significativamente menor que el agua de alimentación que fluye desde los calentadores 18 del agua de alimentación de CAAAT/principal. Por lo tanto, un aumento en el flujo del agua de alimentación a través de la línea 106 de derivación del calentador, según es detectado por el detector 74 de temperatura y ordenada por el controlador 75 de temperatura, disminuirá la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor.

La combinación de detector de temperatura y controlador 74/75 controla el funcionamiento de la válvula de derivación del agua de alimentación para reducir la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor a cualquier temperatura requerida. Por ejemplo, como respuesta a una solicitud desde el centro 78 de control para conseguir un nivel de potencia de salida dado por el núcleo 54 del reactor, por ejemplo un 90% de la potencia de salida máxima, el controlador 75 de temperatura permitirá un flujo de agua de alimentación a través de la línea 106 de derivación del calentador suficiente para enfriar el agua de alimentación que fluye fuera de los calentadores 18 de agua de alimentación de CAAAT/principal a una temperatura suficiente para conseguir el nivel de potencia de salida requerido. Por consiguiente, para aumentar el nivel de potencia de salida, el controlador 75 de temperatura ordenará un aumento en el flujo del agua de alimentación a través de la línea 106 de derivación del calentador para reducir la temperatura del agua de alimentación y los flujos de recirculación, según es detectado por el detector 74 de temperatura. A la inversa, para disminuir el nivel de potencia de salida, el controlador 75 de temperatura ordenará una disminución en el flujo del agua de alimentación a través de la línea 106 de derivación del calentador para aumentar la temperatura del agua de alimentación y los flujos de recirculación.

Haciendo referencia ahora a la Figura 7, de acuerdo con diversas realizaciones, dos mecanismos independientes de cambio del nivel de potencia de salida del núcleo 54 del reactor, es decir, el movimiento de la barra de control y el cambio de temperatura del agua de alimentación, pueden combinarse para construir un mapa de potencia del núcleo-temperatura del agua de alimentación, tal como el mapa ejemplar ilustrado en la Figura 7. La línea B-A representa la línea de ascensión de potencia, por ejemplo desde aproximadamente el 25% hasta el 100% de potencia, mediante la retirada de la barra de control convencional únicamente. La temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo del reactor 25 aumentará automáticamente puesto que está disponible más vapor a alta presión y alta temperatura desde la turbina 30 de vapor a alta presión y/o el recalentador 34 del separador de humedad para calentar el agua de alimentación a medida que aumenta el nivel de potencia del reactor. La pendiente de la línea B-A depende de los puntos de extracción de vapor y el diseño del equilibrio del sistema de la planta incluyendo los calentadores 18 del agua de alimentación principales.

La línea A-C representa la reducción de la potencia del reactor a medida que la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor aumenta por encima de la temperatura operativa normal, por ejemplo 490 K usando las diversas realizaciones del sistema 14 de control del nivel de potencia descritas anteriormente. La línea A-C puede denominarse también línea de carga al 100% para indicar que no se emplea un movimiento de la barra de control a lo largo de la línea A-C. Puede desarrollarse e implementarse una línea "de Bloque de Barra" por encima y paralela a la línea A-C para asegurar que la temperatura del agua de alimentación no está cambiando de una manera que permitiría que las puntas de las barras de combustible se calentaran demasiado.

La línea D-C representa una trayectoria donde tanto la temperatura del agua de alimentación como las posiciones de la barra de control cambian en pequeñas etapas. La línea D-C puede seguirse durante el arranque de la vasija 22 del reactor para llevar al núcleo del reactor al punto C, por ejemplo una potencia del 85% con una temperatura del flujo de recirculación por encima de la temperatura operativa normal. Pueden realizarse los ajustes de la barra de control necesarios y la temperatura del agua de alimentación puede reducirse para atravesar la trayectoria desde C hasta A para llevar a la vasija 22 del reactor a una potencia de salida del 100% con la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor a la temperatura operativa normal, por ejemplo aproximadamente 490 K. La trayectoria inversa A-C-D-B puede atravesarse durante el ensayo de supresión de potencia u otra manipulación de la potencia del reactor.

El área sombreada de la Figura 7 es una representación ejemplar de un posible dominio operativo del RAECN 10 usando control de temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor junto con una ubicación diferente de la barra de control para controlar el nivel de potencia de salida mediante la vasija 22 del reactor, como se ha descrito anteriormente. De esta manera, los operarios en el centro 78 de control pueden utilizar el mapa de potencia-temperatura del agua de alimentación como una herramienta y/o guía para proporcionar una

comprensión conceptual de los efectos sobre el nivel de potencia de salida que se obtendrán como resultado de cualquier cambio ordenado particular en la temperatura del agua de alimentación.

5 Adicionalmente, el centro 78 de control puede almacenar el mapa de potencia-temperatura del agua de alimentación en un dispositivo 108 de memoria, u otra base de datos, y ejecutar un algoritmo de control almacenado en un dispositivo 108 de memoria para comunicarse automáticamente con el controlador 75 de temperatura para controlar automáticamente la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor, como se ha descrito anteriormente. Es decir, un operario puede seleccionar un nivel de potencia de salida deseado, es decir, introducir un nivel de potencia de salida deseado en los sistemas basados en ordenador del centro 78 de control. Como respuesta a esto, los sistemas basados en ordenador del centro 78 de control ejecutarán el algoritmo de control y accederán al mapa de potencia-temperatura del agua de alimentación almacenado para obtener la temperatura para producir el nivel de potencia de salida deseado. Posteriormente, el centro 78 de control comunicará una orden de temperatura del agua de alimentación, o una secuencia de órdenes de temperatura del agua de alimentación, al controlador 75 de la temperatura. Estas órdenes proporcionan, al menos en parte, la temperatura obtenida a partir del mapa de potencia-temperatura del agua de alimentación para producir el nivel de potencia de salida deseado. De esta manera, la ejecución del algoritmo de control genera una o más señales de comando de temperatura para ajustar el controlador 75 de temperatura. Como respuesta a la temperatura ordenada, el controlador 75 de temperatura establece un bucle de control de retroalimentación, basado en la salida del detector 74 de temperatura, para ajustar automáticamente la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor a la temperatura ordenada.

20 Más específicamente, como respuesta a la señal o señales de comando de temperatura, el controlador 75 de temperatura se comunica iterativamente con el detector 74 de temperatura para controlar el funcionamiento de la válvula de derivación aplicable, por ejemplo, la válvula 82, 90 o 102 de derivación para ajustar la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor. Además, ajustando automáticamente la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor, se ajusta automáticamente la temperatura del flujo de recirculación que circula en un núcleo 54 del reactor, dando como resultado ajustes en el nivel de potencia de salida al nivel deseado.

30 El centro 78 de control puede incluir adicionalmente otros componentes basados en ordenador (no mostrados), tal como un procesador, una pantalla, una interfaz de usuario por ejemplo un teclado, ratón, lápiz, pantalla táctil, etc., y otras interfaces y/o dispositivos de memoria adecuados para ejecutar y realizar el control automático descrito anteriormente.

De esta manera, el sistema 14 de control del nivel de potencia, descrito en el presente documento, está estructurado y puede ser operable para cambiar independientemente la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo 25 del reactor para de esta manera cambiar uniformemente el nivel de potencia de salida del núcleo sin necesidad de controlar el movimiento de la barra.

35 La descripción del presente documento es meramente de naturaleza ejemplar. Podrían efectuarse diversos cambios y modificaciones sin alejarse del alcance de la invención según se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para controlar el nivel de potencia de un reactor nuclear de agua en ebullición de circulación natural, RAECN (10), comprendiendo dicho sistema:

5 un subsistema (70) de calentamiento para calentar el agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25) de un RAECN (10); un detector (74) de temperatura operable para detectar la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25); y

10 un controlador (75) operable para controlar un nivel de potencia de salida del RAECN controlando el subsistema (70) de calentamiento, basado en la temperatura detectada, para ajustar la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25) a una temperatura deseada, en el que el subsistema (70) de calentamiento comprende:

un colector (26) de vapor estructurado para recibir el vapor a alta temperatura generado por el núcleo (54);

15 al menos un calentador del agua de alimentación a alta temperatura estructurado para recibir un flujo de entrada de agua de alimentación, recibir vapor a alta temperatura del colector (26) de vapor y sacar el flujo de agua de alimentación hacia el anillo (25); y una válvula (82) de derivación de vapor que es operable para recibir órdenes desde el controlador (75) de temperatura y que, basándose en las órdenes recibidas, controla una cantidad de flujo del vapor a alta temperatura desde el colector (26) de vapor hacia el al menos un calentador de agua de alimentación para aumentar la temperatura de la salida de flujo del agua de alimentación hacia el anillo (25) a la temperatura requerida de manera que la temperatura del agua de recirculación que fluye a través del núcleo (54) aumenta, dando como resultado una reducción en el nivel de potencia generado por el RAECN (10)

20 núcleo (54) **caracterizado porque** el controlador (75) de temperatura es operable para aumentar el nivel de potencia generado por el núcleo (54) del RAECN (20) controlando una válvula (90) de derivación del agua de alimentación para ajustar una cantidad de flujo del agua de alimentación a través de una línea (94) de derivación del calentador hacia el anillo (25) para disminuir la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25) a una temperatura requerida por debajo de la temperatura operativa predeterminada.

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el al menos un calentador de agua de alimentación de alta temperatura comprende al menos un calentador (86) de agua de alimentación complementario estructurado para recibir el flujo de entrada del agua de alimentación desde uno o más calentadores (18) de agua de alimentación principales operables para calentar el flujo de agua de alimentación que entra a el al menos un calentador (86) de agua de alimentación complementario a una temperatura operativa predeterminada del agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25).

3. El sistema de la reivindicación 1, en el que el al menos un calentador de agua de alimentación a alta temperatura comprende uno o más calentadores (18) de agua de alimentación principales operables para calentar el flujo de agua de alimentación que sale hacia el anillo (25) a una temperatura operativa predeterminada y aumentar la temperatura del flujo de agua de alimentación que sale hacia el anillo (25) a la temperatura requerida por encima de la temperatura operativa predeterminada cuando se ha ordenado a la válvula (82) de derivación de vapor que aumente la cantidad de flujo de vapor a alta temperatura desde el colector (26) de vapor.

4. El sistema de la reivindicación 3, en el que cada uno del uno o más calentadores (18) de agua de alimentación principales están estructurados para:

45 recibir vapor desde uno de una turbina (30) de alta presión del RAECN y un recalentador (34) del separador de humedad del RAECN para calentar el flujo de agua de alimentación que sale hacia el anillo (25) a la temperatura operativa predeterminada, y recibir vapor a alta temperatura desde el colector (26) de vapor para aumentar la temperatura del flujo de agua de alimentación que sale hacia el anillo (25) a la temperatura requerida por encima de la temperatura operativa predeterminada.

5. El sistema de la reivindicación 3, en el que uno o más calentadores (18) del agua de alimentación principales comprenden una pluralidad de calentadores (18) del agua de alimentación principales, al menos uno de los calentadores (18) del agua de alimentación principales está estructurado para recibir vapor desde al menos uno de una turbina (30) de alta presión del RAECN (10) y un recalentador (34) del separador de humedad del RAECN (10) para calentar el flujo de salida del agua de alimentación hacia el anillo (25) al RAECN (10) predeterminado para calentar el flujo de agua de alimentación que sale hacia el anillo (25) a la temperatura operativa predeterminada y,

55 al menos uno de los calentadores (18) del agua de alimentación principales está estructurado para recibir un vapor a alta temperatura desde el colector (26) de vapor para calentar el flujo del agua de alimentación que sale hacia el anillo (25) a la temperatura operativa predeterminada y aumentar la temperatura del flujo de agua de alimentación que sale hacia el anillo (25) a la temperatura requerida por encima de la temperatura operativa predeterminada, según se controla mediante el controlador (75) de temperatura y la válvula (82) de derivación de vapor.

- 5 6. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el subsistema (70) de calentamiento comprende un dispositivo (98) de calentamiento operable para recibir órdenes desde el controlador (75) de temperatura y que, basándose en las órdenes recibidas, aumenta la temperatura del agua de alimentación que fluye a través de la línea de agua de alimentación desde al menos un calentador (18) de agua de alimentación principal del RAECN hacia el anillo (25).
7. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente una pluralidad de calentadores (18) de agua de alimentación principales y el subsistema (70) de calentamiento comprende:
- 10 al menos uno de los calentadores (18) de agua de alimentación principales operables para calentar el flujo de agua de alimentación que sale hacia el anillo (25) a una temperatura mayor que una temperatura operativa predeterminada; y
una válvula (90) de derivación del agua de alimentación operable para recibir órdenes desde el controlador (75) de temperatura y que, basándose en las órdenes recibidas, controla una cantidad de flujo del agua de alimentación a través de una línea (94) de derivación del calentador hacia el anillo (25) para:
- 15 disminuir la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25) a una temperatura requerida que varía desde una temperatura máxima del agua de alimentación hasta la temperatura operativa predeterminada cuando se desea una reducción en la potencia de salida del núcleo (54) del reactor, y una disminución de la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25) a una temperatura requerida por debajo de la temperatura operativa predeterminada para aumentar el nivel de potencia generado por el núcleo (54) del RAECN (10).
- 20 8. Un procedimiento para controlar el nivel de potencia de un reactor nuclear de agua en ebullición de circulación natural (RAECN) (10), comprendiendo dicho procedimiento:
- 25 detectar la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia un anillo (25) del reactor, utilizando un detector (74) de temperatura; y
controlar el nivel de potencia generado por el núcleo (54) del RAECN (10) basándose en la temperatura detectada, ajustando la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25) utilizando un subsistema (70) de calentamiento del RAECN (10), en el que controlar el nivel de potencia comprende:
- 30 transferir el vapor a alta temperatura generado por el núcleo (54) a un colector (26) de vapor del RAECN (10);
proporcionar un flujo de entrada de agua de alimentación a al menos un calentador de agua de alimentación a alta temperatura del RAECN (10) y extraer un flujo de agua de alimentación desde el al menos un calentador de agua de alimentación hacia el anillo (25);
transferir de forma controlable el vapor a alta temperatura del colector (26) de vapor a al menos un calentador de agua de alimentación a alta temperatura, utilizando una válvula (82) de derivación de vapor operable para recibir órdenes desde un controlador (75) de temperatura conectado comunicativamente con el detector (74) de temperatura y, basándose en las órdenes recibidas, controlar una cantidad de flujo del vapor a alta temperatura desde el colector (26) de vapor hasta al menos uno del calentador de agua de alimentación para aumentar la temperatura de la salida del flujo de agua de alimentación hacia el anillo (25) a la temperatura requerida por encima de la temperatura operativa predeterminada, **caracterizado porque** el controlador (75) de temperatura controla una válvula (90) de derivación del agua de alimentación para ajustar una cantidad de flujo del agua de alimentación a través de una línea (94) de derivación del calentador hacia el anillo (25) para disminuir la temperatura del agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25) a una temperatura requerida por debajo de la temperatura operativa predeterminada.
- 35 9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que el al menos un calentador de agua de alimentación a alta temperatura comprende al menos un calentador (86) de agua de alimentación complementario y en el que controlar el nivel de potencia comprende adicionalmente recibir el flujo de entrada del agua de alimentación desde uno o más calentadores (18) de agua de alimentación principales del RAECN (10) en el uno o más calentadores (86) de agua de alimentación complementarios, donde el flujo de agua de alimentación se calienta mediante el vapor a alta temperatura a la temperatura requerida, siendo el uno o más calentadores (18) del agua de alimentación principales operables para calentar el flujo de agua de alimentación de entrada a uno o más calentadores (86) de agua de alimentación complementarios a una temperatura operativa predeterminada del agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25).
- 40 10. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que el al menos un calentador del agua de alimentación a alta temperatura comprende una pluralidad de calentadores (18) del agua de alimentación principales y en el que controlar el nivel de potencia comprende adicionalmente:
- 45 transferir de forma controlable vapor de uno de una turbina (30) de alta presión y un recalentador (34) del separador de humedad al uno o más calentadores (18) de agua de alimentación principales para calentar el agua de alimentación que fluye hacia el anillo (25) a la temperatura operativa predeterminada; y

transferir de forma controlable vapor a alta temperatura desde el colector (26) de vapor al uno o más de los calentadores (18) de agua de alimentación principales a través de la válvula (82) de derivación de vapor para aumentar la temperatura de la salida del flujo de agua de alimentación hacia el anillo (25) a la temperatura requerida por encima de la temperatura operativa predeterminada para reducir la potencia de salida del núcleo (54).

5

FIG. 1

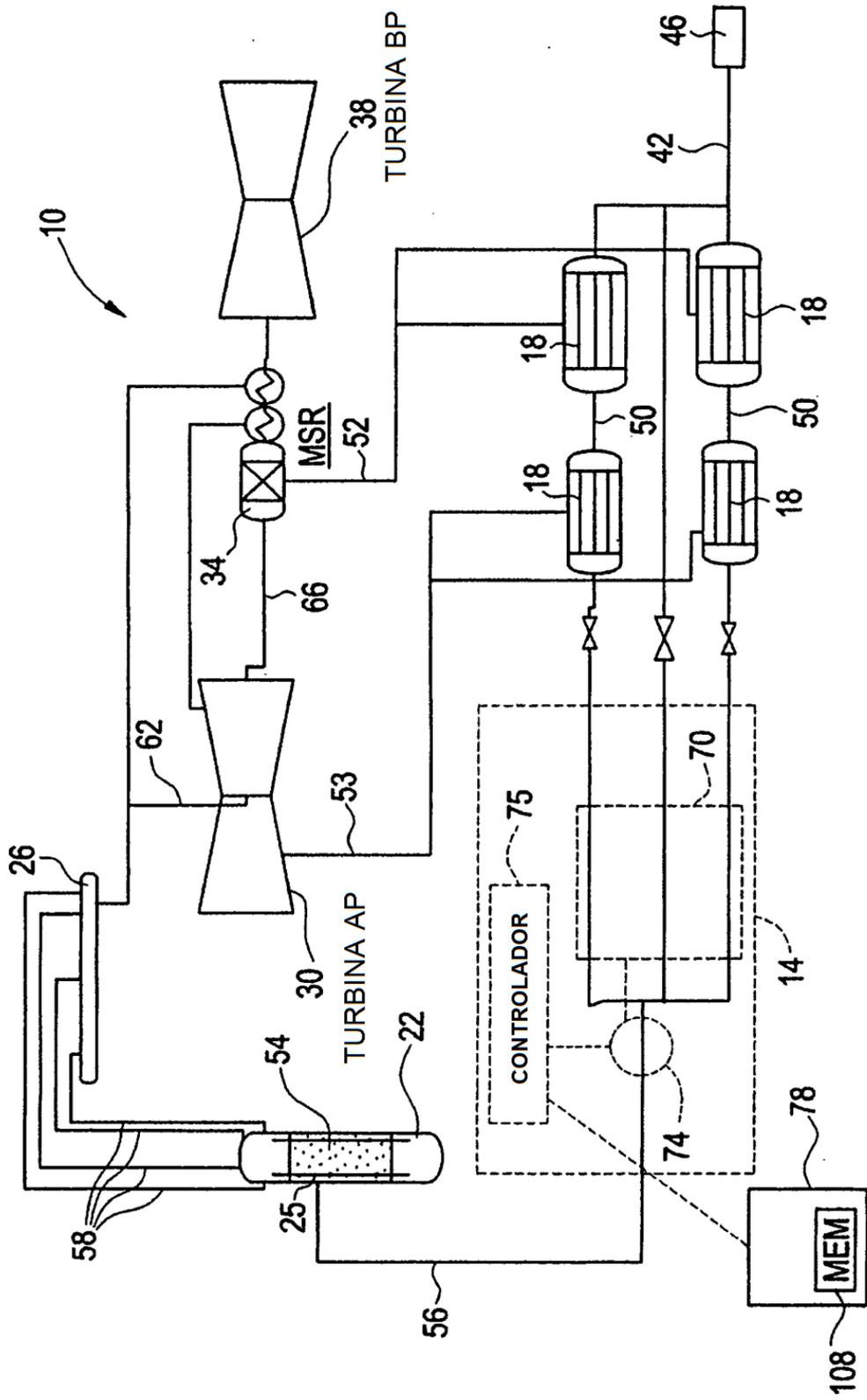


FIG. 2

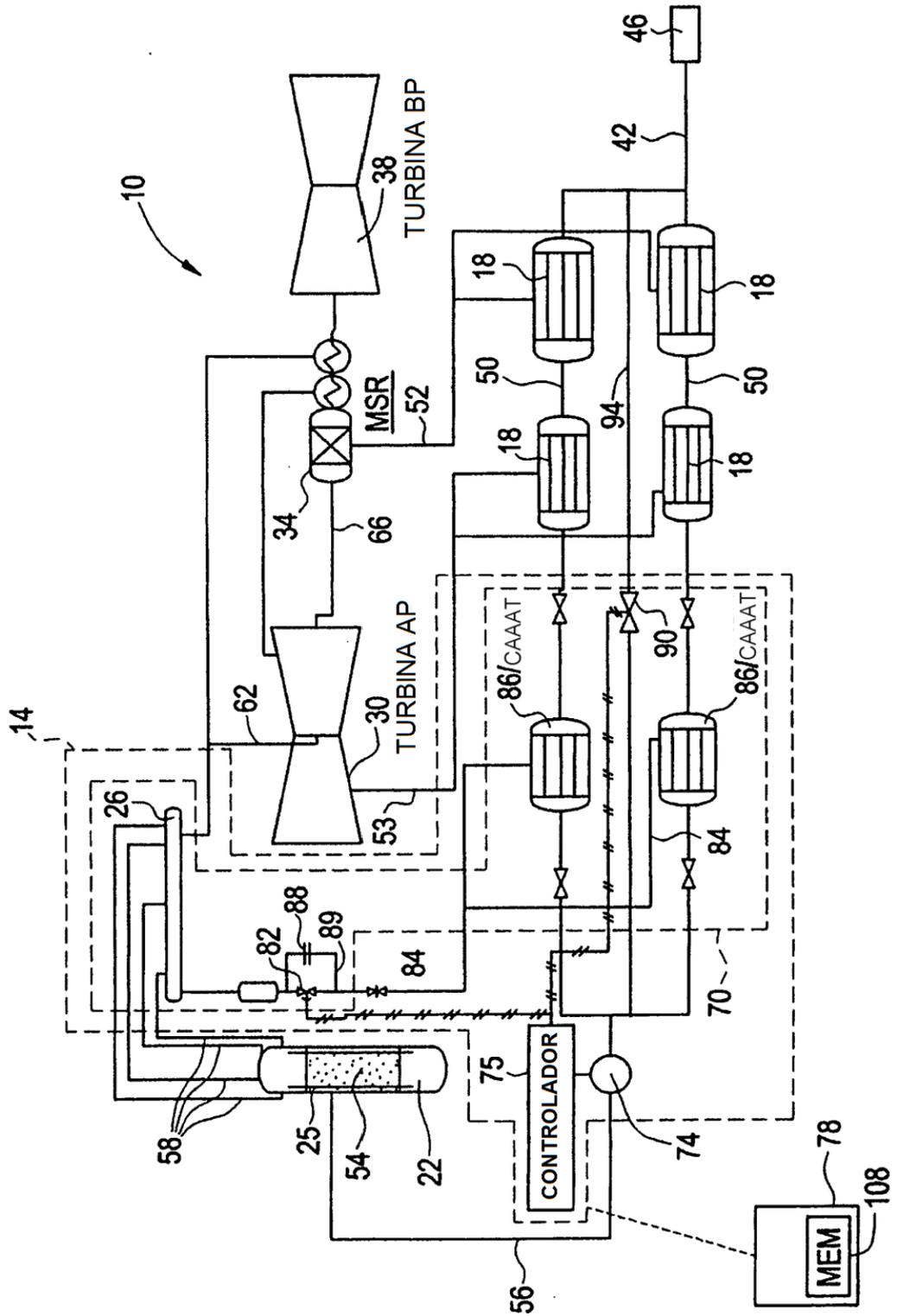


FIG. 3

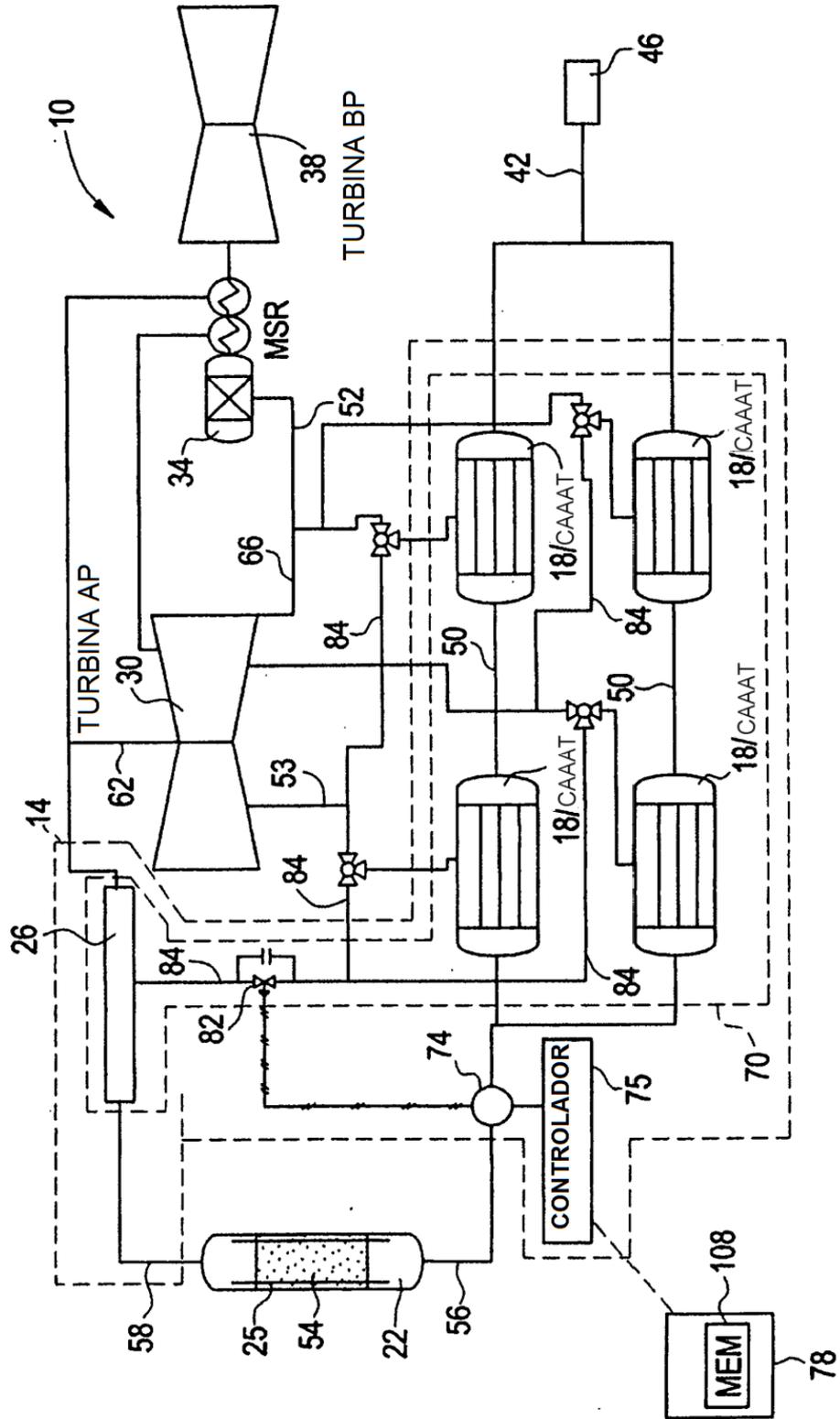


FIG. 4

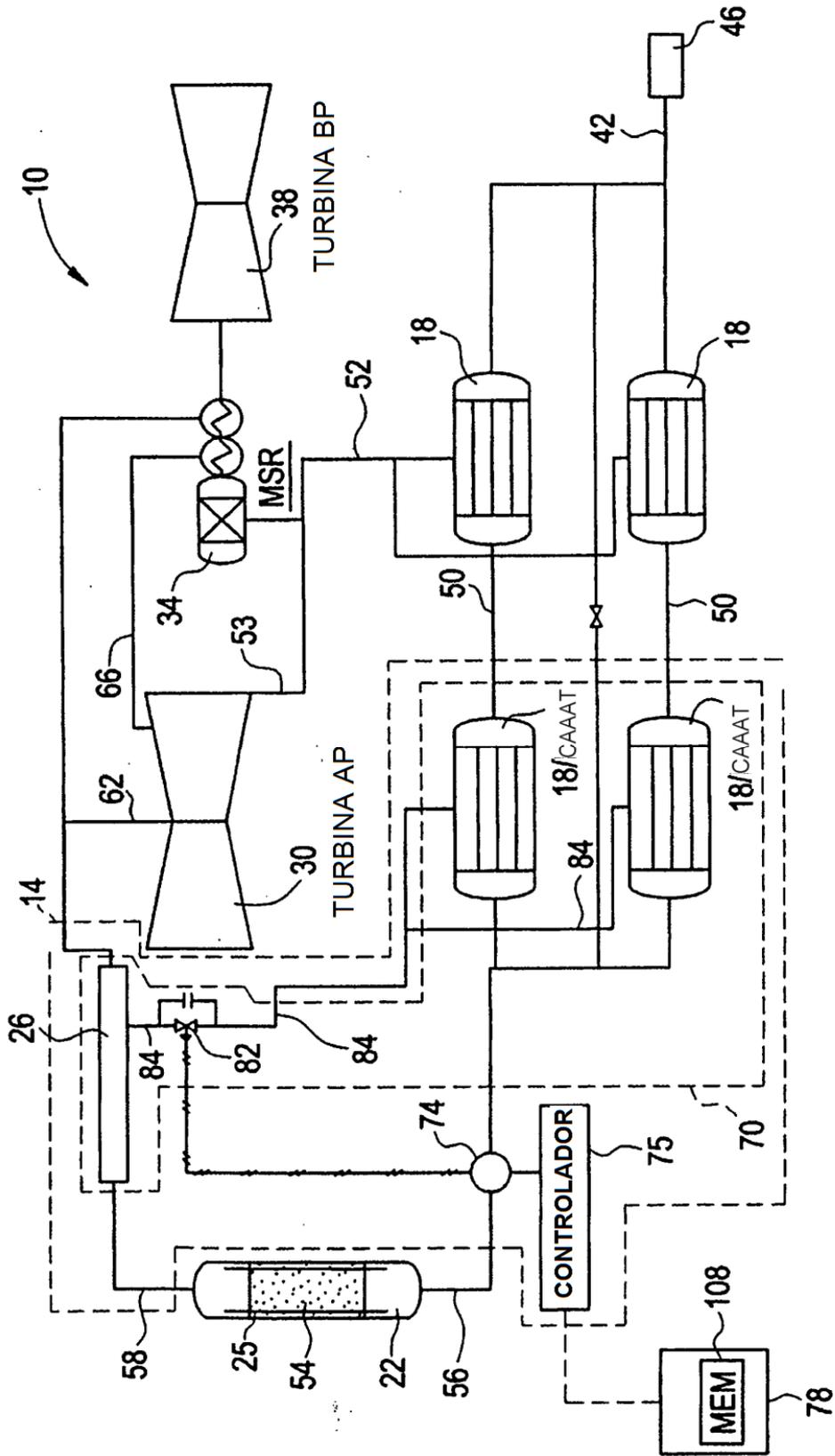


FIG. 6

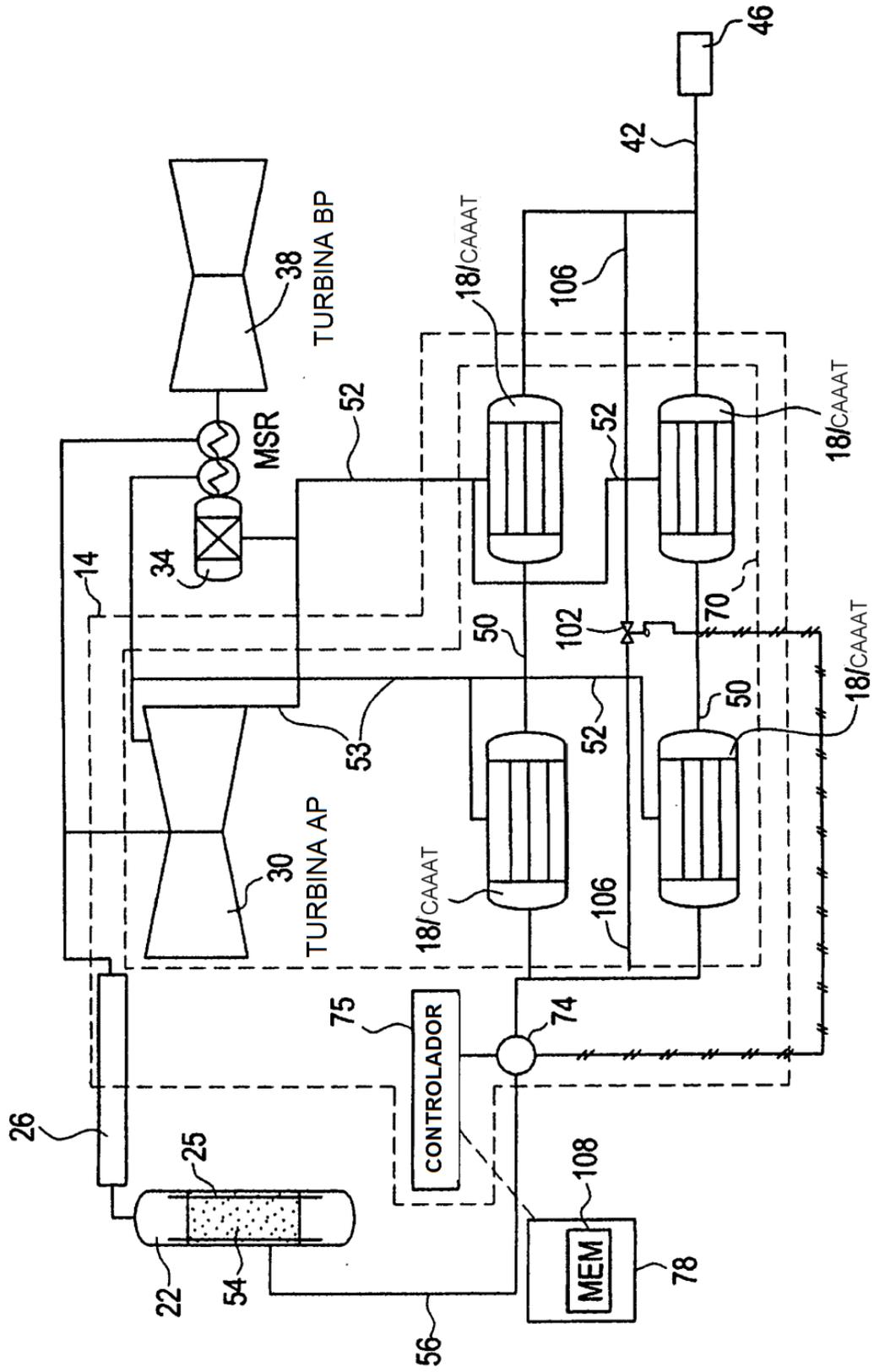
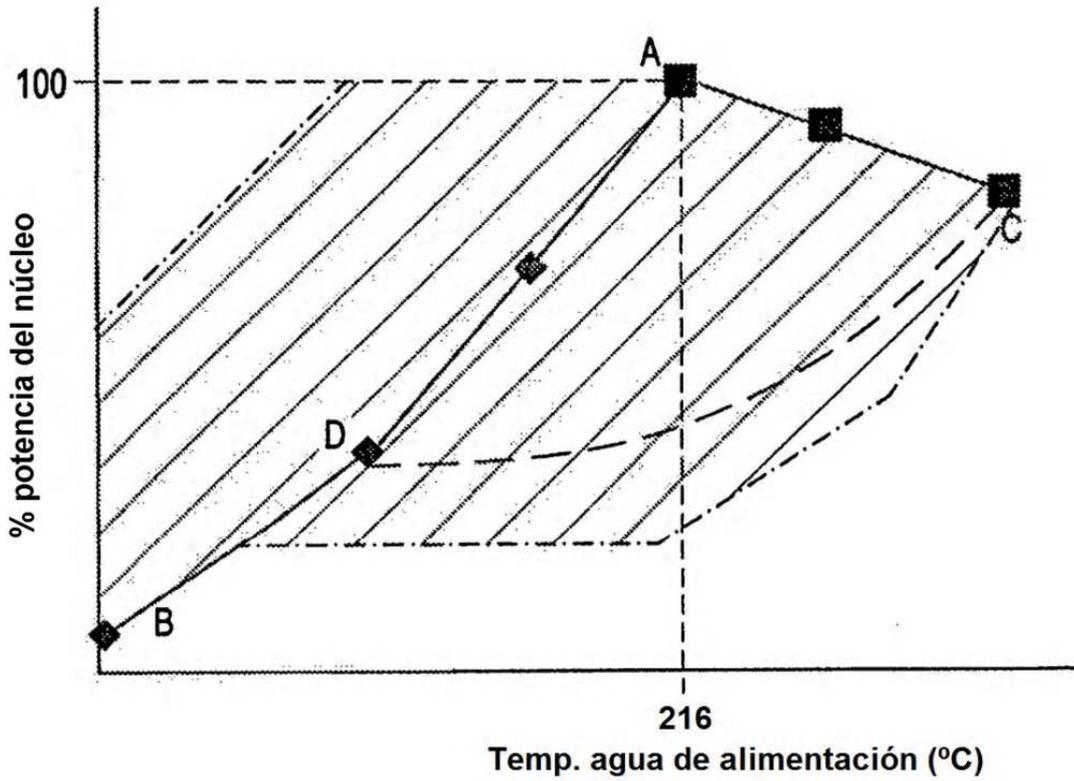


FIG. 7



- ◆ Solo movimiento
Barra de control (BC)
- Solo cambio
Temp AA
- — Movimiento BC y
cambio temp AA