

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 422 955**

21 Número de solicitud: 201230351

51 Int. Cl.:

G21D 3/08 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

09.03.2012

43 Fecha de publicación de la solicitud:

16.09.2013

71 Solicitantes:

**SENER GRUPO DE INGENIERÍA, S.A. (100.0%)
Severo Ochoa, 4 PTM
28760 Tres Cantos (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**HERRAZTI GARCIA, Borja;
LOPEZ GARCIA, Antonio y
GUTIERREZ LARRAÑAGA, Irune**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

54 Título: **PROCEDIMIENTO PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DEL CICLO TÉRMICO EN LAS CENTRALES NUCLEARES.**

57 Resumen:

Procedimiento para mejorar el rendimiento del ciclo térmico en las centrales nucleares.

Procedimiento para incrementar la eficiencia de la generación eléctrica en centrales nucleares de agua a presión, que comprende etapas de sobrecalentamiento de vapor principal y recalentamiento del vapor recalentado mediante un circuito auxiliar, donde las corrientes para el sobrecalentamiento y el recalentamiento funcionan en paralelo.

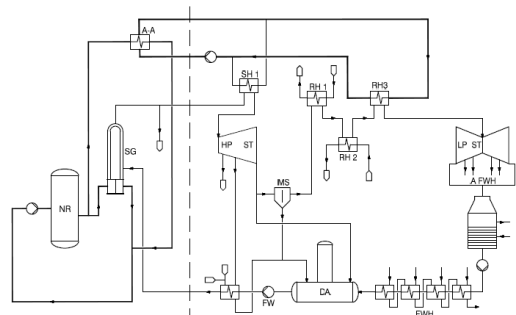


FIG. 2

DESCRIPCION

Procedimiento para mejorar el rendimiento del ciclo térmico en las centrales nucleares.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un procedimiento de aplicación en la industria energética, y más concretamente en las centrales nucleares destinadas a la generación de electricidad en las que el fluido del circuito primario de refrigeración del reactor es agua (o agua pesada). Dicho procedimiento encuentra aplicación en aquellas centrales nucleares cuyo circuito primario trabaja con agua a temperatura elevada y presurizada (PWR por sus siglas en inglés) y en las centrales de agua en ebullición (BWR).

Antecedentes de la invención

15 En la actualidad, en la mayor parte de las centrales nucleares cuyos reactores son refrigerados por agua, la totalidad de la energía térmica generada por el reactor se emplea para generar vapor saturado, ya sea en los generadores de vapor o en los propios reactores, dependiendo del tipo de reactor.

20 Se genera vapor saturado o ligeramente húmedo de presión relativamente alta (generalmente entre 55 y 78 bar), denominado vapor principal o vapor vivo para ser expandido en una turbina de vapor, que habitualmente es una turbina de condensación con recalentamiento y varios cuerpos. El vapor es expandido dentro de la turbina cediendo parte de su energía térmica, produciendo energía mecánica que, a su vez, es transformada en energía eléctrica mediante un generador acoplado al eje de la turbina. En la figura 1 puede apreciarse un ciclo de estas características. El proceso de expansión se divide en dos fases. En la primera fase, el vapor es expandido en el cuerpo de alta presión de la turbina (HP), de la que sale con un contenido de humedad del orden o superior al 10%. Para eliminar la mayor parte de la humedad es práctica usual el paso por un separador de humedad (MS). Tras el separador de humedad, se recalienta para conseguir una temperatura superior a la de saturación (entre 50 y 80°C por encima) antes de expandirlo, en una segunda fase, en el cuerpo de media o baja presión (LP).

30 En la mayoría de las centrales actuales, el recalentamiento entre las dos fases de la expansión se hace en dos etapas. En la primera etapa, el primer recalentador (RH1), que está situado aguas abajo de la salida de la turbina de alta presión y del separador de humedad, es un intercambiador vapor-vapor alimentado por una extracción de la turbina de alta presión. En la segunda etapa, en un segundo recalentador (RH2) también del tipo vapor-vapor, se vuelve a recalentar el vapor que sale del primer recalentador con una moderada fracción de vapor vivo. El separador de humedad, el primer recalentador y el segundo recalentador, están integrados en un solo equipo compuesto por una carcasa exterior, dentro de la cual están contenidos el separador de humedad y los haces tubulares de los recalentadores por los que circulan el vapor vivo y el vapor de la extracción de turbina. El vapor procedente de la primera expansión de la turbina circula por el interior de la carcasa y por el exterior de los haces tubulares de los recalentadores. El vapor a la salida del recalentamiento se denomina vapor recalentado o simplemente recalentado.

45 El objetivo del recalentamiento en estas centrales es obtener un menor contenido de humedad en las últimas etapas de la expansión de la turbina de baja presión, proporcionando una mayor protección frente a la formación de gotas de gran velocidad que dañarían los álabes de la turbina, disminuyendo así su disponibilidad. Además, se consigue un pequeño aumento en la eficiencia del ciclo térmico.

Una vez expandido, el vapor se condensa en un condensador refrigerado por un fluido relativamente frío, ya sea agua de mar, agua de un río o agua procedente las torres de refrigeración, dependiendo de las características y ubicación de la central.

50 El vapor condensado (o simplemente el condensado como se le conoce habitualmente) se bombea hasta el desgasificador en la mayoría de las centrales, previo paso por precalentadores de condensado (tres o cuatro, dependiendo de la central), que son intercambiadores carcasa-tubos conectados en cascada y alimentados por diferentes extracciones de la turbina de vapor, que elevan la temperatura del condensado. El desgasificador, donde se eliminan los gases no condensables disueltos en el condensado, también está alimentado por una extracción de la turbina de vapor. Desde el desgasificador se bombea el agua de alimentación de nuevo hasta el reactor o el generador de vapor, dependiendo del tipo de central, mediante las bombas de agua de alimentación, previo paso por los precalentadores de agua de alimentación (dos o tres, dependiendo de la central), que también son intercambiadores carcasa-tubos, conectados en cascada y alimentados por extracciones de la turbina de vapor.

60 El objetivo de los precalentadores, tanto los de alimentación como los de condensado, es producir un ciclo más regenerativo, y por lo tanto, más eficiente.

Una de las principales características de la mayoría de las centrales nucleares cuyos reactores son refrigerados por agua es que, debido a las limitaciones inherentes al diseño de los reactores, el vapor vivo se encuentra a presiones limitadas y a la correspondiente temperatura de saturación. Por ejemplo, en los reactores de agua ligera a presión, son habituales valores de presión y temperatura entre 55 y 78 bares y entre 270 y 293°C respectivamente. Por lo tanto, el rendimiento del ciclo térmico de estas centrales nucleares es menor que el de una central moderna de combustible fósil (diferencia de más de 10 puntos porcentuales).

En consecuencia, las centrales nucleares requieren *turbinas de vapor húmedo* ya que, al no disponer de vapor sobrecalentado en la entrada del cuerpo de alta y proporcionar un bajo recalentamiento en los de baja presión, operan con vapor que alcanza un mayor contenido de humedad. Las gotas de agua contenidas en el vapor provocan una caída en el rendimiento de la turbina de vapor al chocar contra los álabes, además de erosión en esos álabes, y vibraciones y tensiones elevadas en las últimas etapas de expansión. Por otro lado, al ser menor el rendimiento del ciclo térmico, para generar elevadas potencias eléctricas en la central, estas turbinas operan con mayores caudales máscicos de vapor que las turbinas de un ciclo con alto sobrecalentamiento y recalentamiento (el vapor posee menos energía térmica por unidad de masa). A mayor caudal de vapor, mayor es la longitud necesaria de los álabes de la última etapa de expansión para que no se incrementen las pérdidas en la descarga por la velocidad del vapor. Esto resulta en altos valores de tensiones mecánicas en los álabes, debido al mayor momento de inercia. Para evitarlo, las turbinas de vapor poseen habitualmente dos o tres cuerpos de baja presión (donde los caudales volumétricos son mayores, y por tanto la longitud de los álabes) de turbina de doble flujo simétrico conectados en tándem. Normalmente, se recurre a extraer agua además de vapor en las últimas etapas de expansión (y en ocasiones también en los cuerpos de alta y media presión), mediante separadores de humedad internos, que se usan para alimentar los precalentadores de condensado que trabajan a menor temperatura. Todos estos problemas se presentan a pesar de que, para reducir los efectos de la velocidad de las gotas de agua, es práctica habitual disminuir la velocidad de rotación de la turbina a 1800 o 1500 rpm, dependiendo de la frecuencia de la red a la que va acoplada la central.

En algunas centrales nucleares con reactores de agua a presión, con objeto de disminuir el tamaño de los generadores de vapor (uno de los equipos más costosos y voluminosos de estas instalaciones), se opta por disminuir la presión de generación de vapor aumentando la diferencia entre la temperatura del agua que sale del reactor y la del vapor que sale del generador de vapor, reduciendo así su coste pero sacrificando el rendimiento del ciclo térmico.

En definitiva, el análisis del estado de la técnica de las centrales nucleares cuyos reactores son refrigerados por agua muestra que serían deseables ciclos térmicos más eficientes, con objeto de aumentar la eficiencia de la central y disminuir el contenido de humedad del vapor expandido, para aumentar así la vida y la disponibilidad de las turbinas de vapor y simplificar su diseño.

Con este fin, se han desarrollado procedimientos en los que se ha tratado de mejorar el rendimiento del ciclo térmico sobrecalentando o recalentando el vapor mediante diferentes métodos. Así, por ejemplo, en la patente GB 1.029.151 se desarrolla un método para centrales del tipo PWR de sobrecalentamiento del vapor principal y eventual recalentamiento del vapor recalentado, mediante la utilización de parte de la energía del circuito primario a través de un circuito auxiliar con fluido térmico. Dicho fluido térmico transfiere a su vez el calor recibido a un intercambiador que sobrecalienta el vapor principal. Colocado en serie con el anterior se encuentra un intercambiador que recalienta el vapor recalentado antes de la segunda expansión en la turbina de baja presión. Sin embargo, de esta manera se prioriza el sobrecalentamiento del vapor antes del cuerpo de alta presión, con lo que no se consigue un aumento óptimo del rendimiento.

Según la configuración descrita en la patente GB 1.029.151, el aumento de temperatura disponible para el sobrecalentamiento del vapor viene determinado por la diferencia de temperaturas entre el circuito primario y el vapor principal. Esta diferencia es relativamente pequeña con lo que, incluyendo los necesarios saltos de temperatura en los intercambiadores del circuito auxiliar (intercambiador circuito primario – circuito auxiliar e intercambiador circuito auxiliar – vapor principal), el aumento de temperatura de vapor está limitado y con ello las principales ventajas del sobrecalentamiento y recalentamiento: el aumento de eficiencia del ciclo, y disminución del contenido en humedad en el escape de la turbina de alta presión, evitando la formación de gotas a alta velocidad que dañarían los álabes.

Objeto de la invención

La invención tiene por objeto paliar los problemas técnicos citados en el apartado anterior. Para ello, propone un procedimiento para incrementar la eficiencia de la generación eléctrica en centrales nucleares de agua a presión que comprende las etapas de: sobrecalentar el vapor saturado o ligeramente húmedo procedente del generador de vapor antes de su entrada en una turbina; recalentar dicho vapor con una extracción de la turbina de alta presión y volver a recalentar utilizando vapor vivo del reactor; el vapor recalentado en la etapa anterior se recalienta nuevamente, intercambiando calor con un fluido térmico a mayor temperatura; este vapor recalentado se expande en el cuerpo de baja de la turbina de vapor, a continuación se condensa y se recircula a los generadores de vapor, previo calentamiento con vapor de agua procedente de extracciones de la turbina. El

sobrecalentamiento en la primera etapa y el recalentamiento antes de la turbina de baja se realizan mediante un circuito auxiliar de fluido térmico, con las corrientes para el sobrecalentamiento y el recalentamiento funcionando en paralelo. El intercambio con el circuito auxiliar se puede realizar mediante agua presurizada (a mayor temperatura) proveniente a su vez de un segundo circuito auxiliar que deriva parte del agua del reactor a un intercambiador. Alternativamente, la fuente o fuentes de energía utilizadas para el circuito auxiliar de sobrecalentamiento y recalentamiento pueden ser externas a la central, de preferencia (pero no necesariamente) fuentes renovable.

Gracias a la configuración en paralelo de los intercambiadores de sobrecalentamiento y recalentamiento, la temperatura disponible del circuito auxiliar para el recalentamiento es mayor que con una configuración en serie como la descrita en el estado de la técnica.

Breve descripción de las figuras

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña la siguiente descripción de un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- muestra la configuración esquemática de una central nuclear de agua ligera a presión (PWR).

Figura 2.- muestra una configuración según la invención en la que parte de la energía térmica del reactor se usa para el sobrecalentamiento del vapor principal y el recalentamiento del vapor recalentado.

Figura 3.- es un esquema de la configuración de una central PWR según un ejemplo de realización que utiliza de manera directa el fluido térmico de un campo solar para el sobrecalentamiento del vapor principal y el recalentamiento del vapor recalentado

Figura 4.- muestra un esquema de la configuración PWR según un ejemplo de realización que utiliza la energía de un campo solar, mediante un circuito auxiliar de agua a presión, para sobrecalentar el vapor principal y recalentar el vapor recalentado.

Figura 5.- muestra una configuración en la que la energía procedente de dos fuentes diferentes de calor situadas en serie se utiliza para sobrecalentar el vapor principal y recalentar el vapor recalentado mediante un único circuito auxiliar.

Descripción detallada de la invención

El procedimiento de la invención comprende una etapa dentro del ciclo térmico que consiste en aumentar el grado de recalentamiento del vapor, de forma que se incremente el rendimiento del cuerpo de media y/o baja presión de la turbina de vapor, consiguiendo además disminuir la humedad contenida en el vapor en las últimas etapas de la expansión, con el consiguiente efecto de reducción del impacto a gran velocidad de las gotas en los álabes. Se reducen así los problemas asociados de vibraciones y desgaste de los mismos y aumenta la disponibilidad de la turbina de vapor y, consiguientemente, la de la central nuclear completa. El procedimiento comprende también una etapa de sobrecalentamiento del vapor a su llegada a la turbina de vapor, aumentando por tanto la energía térmica del vapor vivo por unidad de masa y el rendimiento del ciclo térmico.

Con fuente de calor externa

En un primer aspecto, la invención es aplicable cuando en las inmediaciones de la planta existe o pueden construirse una o varias fuentes de energía externas al propio reactor de la central, con una temperatura del foco caliente superior a la del agua del primario que sale caliente y a presión elevada del reactor. Estas fuentes de energía podrían ser de origen renovable, fósil o incluso nuclear.

En este caso, el procedimiento para aumentar la eficiencia energética de los ciclos térmicos de las centrales nucleares comprende las siguientes etapas (figura 3):

a) El vapor saturado o ligeramente húmedo producido en el generador de vapor, tras calentarse el agua de alimentación en un ciclo regenerativo a través del que se bombea a presión al generador de vapor, se sobrecalienta en un sobrecalentador (SH1) mediante un fluido térmico de intercambio de calor calentado a su vez desde una o varias fuentes de calor externas. El fluido puede ser agua presurizada o cualquier otro fluido, siempre y cuando esté a mayor temperatura que el vapor vivo saturado.

b) El vapor sobrecalentado se expande en el cuerpo de alta presión de la turbina de vapor, obteniéndose vapor a presión intermedia o baja y generalmente humedad inferior al 10%.

c) Se seca el vapor obtenido en la etapa b mediante, al menos, un separador de humedad (MS).

- d) El vapor de presión intermedia secado en la etapa c es recalentado en un primer recalentador alimentado por una extracción de la turbina de alta presión (RH1).
- e) El vapor recalentado en primera instancia en la etapa d se recalienta adicionalmente en un intercambiador (RH2) en el que actúa como fluido caliente una parte del vapor vivo desviado antes del sobrecalentador (SH1) de la etapa a).
- f) El vapor recalentado en segunda instancia se recalienta adicionalmente en un intercambiador fluido térmico - vapor (RH3 en la figura 3), en el que el fluido calentador es un fluido térmico (el mismo de la etapa a que a su vez recibe la energía de las fuentes externas (las mismas o diferentes que en el apartado a).
- g) Se expande el vapor recalentado obtenido en la etapa f en el cuerpo de baja presión de la turbina de vapor directamente. Alternativamente, la expansión se puede hacer en un cuerpo de media presión a la salida del cual pasa a la turbina de baja, en cuyo caso la presión de entrada a esta última es menor que la de las turbinas que carecen de esta etapa de media presión. Todo ello en función de la configuración de la turbina con que vaya equipada la central.
- h) Se calienta el agua condensada del secundario utilizada para generar el vapor saturado de la etapa a mediante la utilización de una pluralidad de extracciones de vapor de la turbina para intercambiar calor con dicha agua del secundario y conseguir su calentamiento antes de ser bombeado hacia el o los generadores de vapor.
- i) El fluido térmico de intercambio, una vez cedido su calor en los intercambiadores (SH1 y RH3), retorna a las fuentes externas de calor (una o varias), donde se obtiene la energía térmica de nuevo.
- La energía aportada desde el exterior de la central nuclear para mejorar la calidad del vapor mediante sobrecalentamiento y recalentamiento del vapor, se puede obtener de alguna de las fuentes que se citan a continuación u otras similares:
- 1) Energías renovables: Energía solar térmica con colectores cilindro parabólicos o torre central con heliostatos u otros sistemas similares, pudiendo utilizar sistemas de almacenamiento térmico tales como sales fundidas o sólidas, energía procedente de residuos sólidos urbanos, la procedente de biomasa, bien sea forestal o de cultivos realizados con ese fin, combustibles sólidos, líquidos y gaseosos procedentes de biomasa, energía geotérmica, etc.
 - 2) Energías no renovables: Energía procedente de procesos industriales: refinerías y otras industrias químicas, plantas siderometalúrgicas, centrales generadoras de electricidad de origen térmico con producción simultánea de energía térmica; plantas dedicadas a generar fluido térmico a partir de combustibles fósiles.
 - 3) Energía de origen nuclear, incluyendo la de reactores conocidos como *reproductores rápidos*, en los cuales se emplean como refrigerante fluidos diversos (helio, sodio líquido, etc.) que permiten alcanzar altas temperaturas.

Una diferencia y la mejora respecto a la técnica anterior que utiliza fuentes de calor externas para sobrecalentar o recalentar el vapor, es la utilización de un circuito auxiliar de cualquier fluido térmico, que permite conectar varias fuentes de calor en paralelo o en serie, y que mantiene aislado el circuito nuclear de la fuente o fuentes externas de calor. Además, esta configuración permite la inclusión de fuentes de calor provenientes de energías renovables, como la energía solar o la biomasa.

Sin fuente de calor externa

- En caso de no disponer de una fuente de calor externa al propio reactor, la invención sólo será aplicable a centrales nucleares con reactores de agua a presión (PWR), con agua o agua pesada. En ese caso, el procedimiento para aumentar la eficiencia energética de los ciclos térmicos de las centrales nucleares con tales reactores de agua a presión comprende las siguientes etapas mostradas en la figura 2:
- a) Se dirige una parte del agua del primario presurizada y calentada por cesión de calor en el reactor a un intercambiador agua del primario-fluido térmico auxiliar (A-A) situado en el edificio de contención, el resto se dirige a los generadores de vapor, donde circula por un haz de tubos para intercambiar su energía térmica con el agua del secundario que procede de la turbina de vapor tras calentarse en un ciclo regenerativo, desde el que se bombea a presión al generador de vapor para transformarlo en vapor saturado o ligeramente húmedo.
 - b) El fluido térmico auxiliar que se calienta en el intercambiador mencionado en la etapa anterior (A-A) se divide en dos corrientes: la primera sobrecalienta el vapor principal (ver apartado c), y la segunda recalienta el vapor recalentado (ver apartado h)

- c) El vapor saturado o ligeramente húmedo generado en el generador de vapor se sobrecalienta mediante un intercambiador (SH1), en el que el fluido caliente es el fluido térmico auxiliar proveniente del intercambiador situado en el edificio de contención agua del primario – fluido térmico (A-A).
- 5 d) El vapor sobrecalentado es expandido en el cuerpo de alta presión de la turbina de vapor, obteniéndose vapor de presión intermedia con humedad que puede llegar a ser del orden del 10% en la última etapa de expansión.
- e) Se seca el vapor obtenido en la etapa d mediante, al menos, un separador de humedad.
- f) El vapor de presión intermedia secado en la etapa e es recalentado en un primer recalentador alimentado por una extracción de la turbina de alta presión (RH1).
- 10 g) El vapor recalentado en la etapa f) se recalienta adicionalmente en un segundo recalentador alimentado con vapor vivo procedente del o de los generadores de vapor (RH2).
- h) El vapor recalentado en segunda instancia, se vuelve a recalentar en un tercer recalentador (RH3), calentado mediante la segunda corriente de fluido térmico auxiliar del apartado b.
- 15 i) Se expande el vapor recalentado obtenido en la etapa e en el cuerpo de baja presión de la turbina de vapor directamente. Alternativamente, la expansión se puede hacer en un cuerpo de media presión a la salida del cual pasa a la turbina de baja, en cuyo caso la presión de entrada a esta última es menor que la de las turbinas que carecen de esta etapa de media presión.
- j) Se calienta el agua condensada del secundario utilizada para generar el vapor saturado de la etapa a), mediante la utilización de una pluralidad de extracciones de vapor de la turbina para intercambiar calor con dicha agua del secundario y conseguir su calentamiento antes de ser bombeado hacia el o los generadores de vapor.
- 20 k) El fluido térmico auxiliar de los apartados c y h, una vez cedido su calor al vapor vivo y al recalentado respectivamente, retorna al intercambiador de agua del primario-fluido térmico auxiliar (A-A) para calentarse de nuevo.
- 25 A modo de ejemplo, se compara la configuración tradicional de una central nuclear de agua ligera a presión (figura 1) con la configuración de una central de agua ligera a presión según la invención, con una fuente de calor externo de tipo solar en el circuito auxiliar (figura 4).
- 30 En la configuración tradicional, el vapor principal saturado (78bar) se expande en el cuerpo de alta presión de la turbina de vapor hasta una presión de 11 bar, alcanzando una humedad a la salida de 15,2%. Tras pasar por el separador de humedad, un primer recalentamiento con vapor de extracción de turbina de alta presión y un segundo recalentamiento con vapor principal, alcanza unas condiciones de 10,47 bar y 278,5° C de temperatura antes de introducirse en la turbina de vapor de baja presión, donde se expande definitivamente hasta la presión de 0,05 bar, con una humedad de 13,2%.
- 35 Según una puesta en práctica de la invención, el sobrecalentamiento y recalentamiento del vapor se efectuará mediante sendos intercambiadores de calor por los que circularán corrientes de agua caliente a alta presión (325°C y 140 bar) provenientes de los intercambiadores del campo solar adyacente.
- 40 La corriente de agua a presión que llega al sobrecalentador (SH en la figura 4) cede su calor al vapor principal, disminuyendo su temperatura hasta los 298°C. El vapor principal alcanza un sobrecalentamiento de 7°C antes de entrar al cuerpo de alta presión de la turbina de vapor, donde se expande hasta una presión de 11.2 bar, alcanzando un grado de humedad de 13,5%. Tras el separador de humedad, un primer recalentamiento con vapor de extracción del cuerpo de alta presión de la turbina de vapor y un segundo recalentamiento con vapor principal, se recalienta de nuevo en un tercer recalentador con la otra corriente de agua a presión, alcanzando las condiciones de vapor 10,47bar y 300,5°C. El vapor entonces se expande en la turbina hasta la presión de 0,05bar, alcanzando una humedad de 12.2%.
- 45 Las corrientes agua caliente a presión, una vez cedido su calor, se mezclan y se retornan a la fuente de calor solar, donde se calientan mediante fluido térmico del campo solar adyacente, alcanzando de nuevo la temperatura de 325°C.
- 50

ES 2 422 955 A2

A modo de resumen se presenta una tabla con los parámetros más significativos de las dos configuraciones:

	Unidades	Convencional	Invencción
Tipo reactor		PWR	PWR
Potencia térmica reactor	MWt	4.300	4.300
Presión de vapor principal en la entrada de la turbina de vapor	bar	75,6	75,6
Temperatura de vapor principal en la entrada de la turbina de vapor	°C	291	298,7
Título del vapor / sobrecalentamiento del vapor	% / °C	99,8%	7,7°C
Humedad tras la primera expansión	%	15,2	13,5
Presión de vapor recalentado en la entrada de la turbina de vapor	bar	10,47	10,47
Temperatura vapor recalentado	°C	278,5	300,5
Sobrecalentamiento del vapor	°C	96,6	118,6
Humedad tras la segunda expansión	%	13,2	12,2
Potencia Eléctrica en el Generador de la turbina de vapor	MWe	1.671,6	1.746,9
Potencia térmica aportada del campo solar adyacente	MWt	NA	178
Rendimiento bruto de la Central considerando todas las fuentes de calor.	%	38,87%	39,01%
Potencia adicional de la energía externa	MWe	NA	75.3
Rendimiento bruto de la Energía adicional externa (solar)	%	NA	42.3%

- 5 De la tabla 1 se deduce directamente que un ligero aumento del grado de sobrecalentamiento, tanto del vapor principal como del recalentado, tienen como consecuencia los efectos técnicos mencionados anteriormente. Por un lado, aumenta el rendimiento global de la planta, en este caso 0,36% (0.14 puntos diferenciales); y por el otro, disminuye la humedad en el escape, tanto en la turbina de alta presión como en la de baja presión, mejorando así el rendimiento de la misma y disminuyendo el efecto de erosión de los álabes.
- 10 La configuración en paralelo de las dos corrientes de agua presurizada permite que tanto el vapor sobrecalentado como el vapor recalentado alcancen la máxima temperatura disponible de la fuente externa que es, con los saltos de temperatura necesarios de los intercambiadores auxiliares intermedios, cerca de 300°C. Con una configuración en serie, pasando primero por el sobrecalentador (en la que se alcanzaría la misma temperatura de vapor), la temperatura de la corriente de agua presurizada disminuiría, por lo tanto, la temperatura máxima disponible para el recalentador sería menor. Esto produciría que la temperatura del vapor recalentado antes de la entrada a turbina fuera menor de los 300°C y por tanto, el incremento en eficiencia y la disminución en humedad serán también menores.
- 15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para incrementar la eficiencia de la generación eléctrica en centrales nucleares de agua a presión, que comprende las siguientes etapas:
- 5 a. el vapor saturado o ligeramente húmedo procedente del generador de vapor (SG) se sobrecalienta antes de su entrada en una turbina de vapor (ST) con varios cuerpos;
- b. el vapor recalentado con vapor de una extracción de la turbina de alta presión (HP), se vuelve a recalentar utilizando vapor vivo del reactor;
- 10 c. el vapor recalentado en la etapa anterior se recalienta nuevamente, intercambiando calor con un fluido térmico a mayor temperatura;
- d. el vapor recalentado de la etapa c se expande en el cuerpo de baja de la turbina de vapor (LP);
- e. el vapor expandido de la etapa d se condensa y el agua condensada se recircula a los generadores de vapor, previo calentamiento con vapor de agua procedente de extracciones de la turbina
- 15 caracterizado porque el sobrecalentamiento en a y el recalentamiento en c se realizan mediante un circuito auxiliar de fluido térmico, con las corrientes para el sobrecalentamiento y el recalentamiento funcionando en paralelo
2. Procedimiento según la reivindicación 1 caracterizado porque en las etapas a y c el intercambio con el fluido térmico se realiza mediante agua presurizada y a mayor temperatura, donde el agua proviene de un
- 20 segundo circuito auxiliar que deriva parte del agua del reactor a un intercambiador.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 caracterizado porque la fuente o fuentes de energía utilizadas para el sobrecalentamiento y el recalentamiento de las etapas a y c es/son externas a la central.
4. Procedimiento según cualquiera de la reivindicación 3, donde la fuente o fuentes de energía es/son una
- 25 fuente renovable.

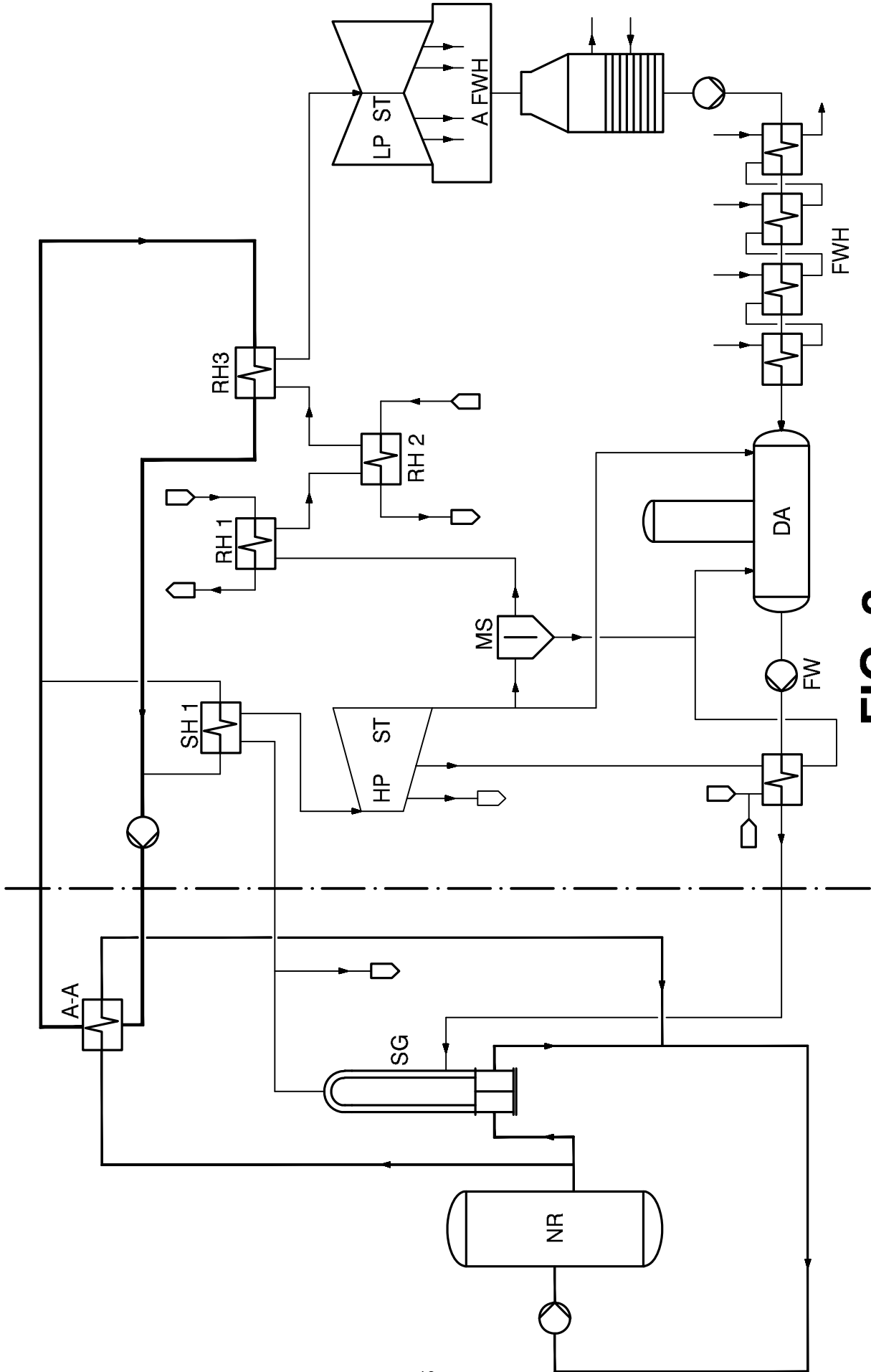


FIG. 2

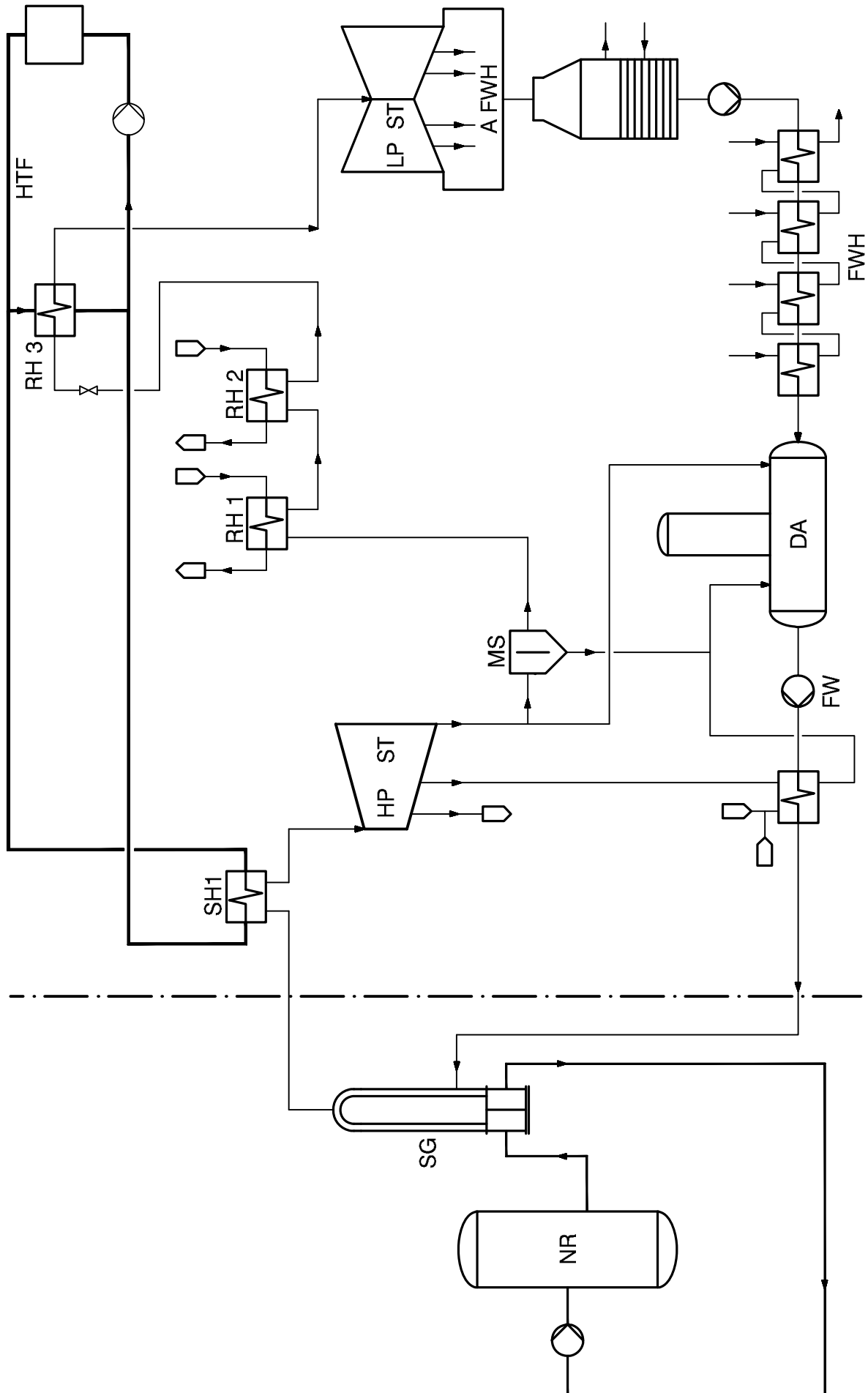


FIG. 4

