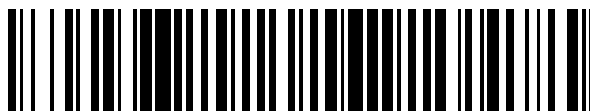


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 431 148**

51 Int. Cl.:

G21C 15/18 (2006.01)

G21C 19/307 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.02.2008** **E 08725912 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2013** **EP 2135255**

54 Título: **Central nuclear que emplea nanopartículas en circuitos cerrados de sistemas de emergencia y procedimiento relacionado**

30 Prioridad:

06.03.2007 US 714423

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

25.11.2013

73 Titular/es:

**AREVA NP (100.0%)
Tour Areva
92084 Paris La Defense, FR**

72 Inventor/es:

**POP, MIHAI G. M. y
LOCKAMON, BRIAN GLENN**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 431 148 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

Central nuclear que emplea nanopartículas en circuitos cerrados de sistemas de emergencia y procedimiento relacionado

5

ANTECEDENTES

[0001] La presente invención se refiere en general a las centrales nucleares, y más específicamente a los sistemas de emergencia de estas centrales nucleares.

10

[0002] Una central nuclear suele tener un reactor nuclear y un sistema de refrigerante de reactor (RCS- *Reactor Coolant System*) para la extracción de calor del reactor y para generar energía. Los dos tipos más comunes de reactores, los reactores de agua en ebullición (BWR) y los reactores de agua a presión (PWR) son a base de agua. En un PWR, el agua calentada procedente del reactor se alimenta a un generador de electricidad que tiene una corriente secundaria de refrigerante que pone en ebullición un refrigerante de alimentación a una turbina. En un BWR, el generador de electricidad tiene una turbina movida directamente por el refrigerante del reactor. La sección dispuesta aguas abajo de los generadores de electricidad, pero aguas arriba del reactor RCS se llama normalmente la rama fría, y la dispuesta aguas abajo del reactor y aguas arriba de los generadores de electricidad se suele llamar la rama caliente.

20

[0003] Si se produce un fallo en el RCS, en lo que se suele llamar un accidente de pérdida de refrigerante (LOCA siglas del inglés *Loss Of Coolant Accident*), el núcleo del reactor no se refrigera adecuadamente y la temperatura comienza a subir en el reactor. Se eleva la temperatura de los elementos de combustible en el núcleo y, si no se controla, puede causar la fusión y potencialmente anular el reactor y provocar la liberación de masa fundida en el edificio de contención. Los accidentes LOCA de los PWR y los BWR pueden incluir una ruptura de la línea principal de vapor (MSLB).

25

[0004] Durante un LOCA, una evolución estándar de presión y temperatura en el interior de la contención implica un aumento en la presión de unos pocos bares en 5-18 horas, con una temperatura máxima de alrededor de 150 ° C, que se reducen a la presión y temperatura atmosféricas en unos pocos días. Las centrales nucleares están diseñadas para resistir un acontecimiento de este tipo con un margen de seguridad considerable. El proceso de enfriamiento se basa en las propiedades físicas del agua y el aire a esas temperaturas.

30

[0005] Durante un LOCA en un PWR, se puede activar un sistema de refrigeración de emergencia del núcleo (ECCS – siglas del inglés *Emergency Core Cooling System*) para enfriar el reactor mediante el suministro de agua adicional al RCS. Por lo tanto un ECCS suele incluir una bomba de alta presión tal como una bomba centrífuga / bomba de inyección de alta presión (PCC / HPIP bomba) que desemboca en el RCS. Este puede bombear agua desde el tanque de almacenamiento de agua de recarga (RWST), tal como un RWST en la contención (*In-containment RWST*), o una fuente de contención en la rama fría del RCS. Un tanque de control de volumen de recepción de agua que pasa a través de un intercambiador de calor de la rama fría RCS también puede proporcionar agua a la bomba PCC / HPIP. Unos ECCS similares suelen estar presentes en los BWR, donde se pasan activamente o pasivamente volúmenes de agua existentes en espera a través del núcleo en caso de un accidente de LOCA.

35

40

[0006] El ECCS también suele tener una bomba de baja presión, ta como una bomba de extracción de calor residual o del sistema de inyección de seguridad (bomba RHR / SIS), que puede proporcionar agua del ECCS o fuente de contención a la vasija del reactor PWR o BWR, así como el agua de un sistema de pulverización de contención. Se suele proporcionar un intercambiador de calor después de la bomba RHR / SIS, y el agua calentada procedente del reactor se hace pasar a través del intercambiador de calor, que transmite calor a un sistema cerrado de inyección de agua de refrigeración de seguridad (CCWS). El CCWS transmite el calor recogido por el ECCS a una fuente de frío final tal como un río, unas torres de refrigeración o el mar en condiciones de enfriamiento a largo plazo post-LOCA o post-MSLB.

50

[0007] El artículo titulado "In-Vessel Retention Enhancement through the use of Nanofluids" describe el empleo de nanofluidos para para la mejora de la retención en la vasija durante un escenario de accidente. El concepto de sistema de inyección de nanofluido incluye dos pequeños tanques de nanofluido concentrado, siendo cada tanque capaz de suministrar suficiente nanofluido para mejorar la predicción mediante un modelo computacional. Se supone que se produce la inyección tras el accionamiento manual de las válvulas conectadas a las líneas de inyección. Se requieren instrucciones para accionar estas válvulas en los procedimientos de accidentes graves. La inyección se dice que es impulsada por la gravedad y la sobrepresión proporcionada por acumuladores conectados a los tanques. Las líneas de inyección están concebidas para que pueden acabar en la cavidad del reactor, en las líneas de recirculación, o en el IRWST, dependiendo de las limitaciones de espacio físico dentro de la contención.

55

60

[0008] La patente americana N° 6,724,854 describe el uso de nanopartículas catalíticas en sistemas de agua de alta temperatura para reducir la ocurrencia de fisuras por corrosión por tensión.

65

[0009] El procedimiento descrito en el artículo mejora la extracción de calor en condiciones de accidente solamente cuando la cavidad del reactor se inunda.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0010] describe el uso de nanopartículas catalíticas en sistemas de agua de alta temperatura para reducir la ocurrencia de fisuras por corrosión por tensión, aplicable incluso si la cavidad del reactor no está inundada.

[0011] La presente invención proporciona una central nuclear según la reivindicación 1.

[0012] La presente invención también proporciona un procedimiento para mejorar capacidad de extracción de calor en caso de accidente en una central nuclear según la reivindicación 7.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

[0013] Una realización preferida de la presente invención se describirá con respecto a los dibujos en los que:

[0014] La figura 1 muestra esquemáticamente una central nuclear PWR con un sistema de refrigeración de emergencia de acuerdo con la presente invención; y

[0015] La figura 2 muestra los detalles de los CCWS de la figura 1 con más detalle.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA REALIZACION PREFERIDA

[0016] La figura 1 muestra una central nuclear PWR que tiene un reactor 10, un sistema de refrigerante de reactor 20, y un generador de electricidad 30. En la realización PWR mostrada, el generador de electricidad 30 incluye un flujo de refrigerante secundario y una turbina. El sistema de refrigerante de reactor 20 incluye una rama fría 22 entre el generador 30 y el reactor 10, y una rama caliente 24 entre el reactor 10 y el generador 30, así como una bomba de refrigerante 26 en la rama fría 22. El sistema de refrigerante de reactor 20 para la forma de realización PWR mostrada también puede contener uno o más presurizadores 70. En una forma de realización BWR, no suele haber presurizadores 70 y el generador 30 incluye una turbina sin tener un flujo de refrigerante secundario y el RCS 20 incluye un condensador.

[0017] El RCS 20 recircula el agua durante el funcionamiento normal, y en la realización preferida no se añaden nanopartículas intencionadamente al RCS durante el funcionamiento normal, ya que pueden causar problemas al generador y otros componentes.

[0018] La central nuclear también incluye un sistema de refrigeración de núcleo de urgencia, indicado generalmente como 50, que incluye uno o más acumuladores o tanques de inundación de núcleo 60, un tanque de almacenamiento de agua de recarga de combustible 80, un fuente de contención 90, una bomba de alta presión 100, y una bomba de baja presión 110.

[0019] El RWST 80 está conectado a la bomba 100, que puede ser una bomba centrífuga de carga o de inyección de alta presión /, a través de una línea 120. La bomba 100 también puede estar conectada a un tanque de control de volumen 124, que puede recibir el agua de la rama fría 22 a través de un intercambiador de calor inferior 126. La bomba 100 puede proporcionar agua del RWST 80 o la fuente de contención 90 al RCS 20 durante un accidente LOCA. La fuente de contención 90 proporciona así el agua que se acumula en la contención durante un accidente grave, por ejemplo después de haberse vaciado el RWST 80.

[0020] Una bomba de baja presión 110, que puede ser una bomba de extracción de calor residual / sistema de inyección de seguridad, proporciona agua del RWST 80 o fuente de contención 90 al intercambiador de calor 112, y también a la rama caliente 24, la rama fría 22 y un sistema de pulverización de la contención. Un CCWS 300 hace pasar refrigerante tal como agua entre un intercambiador de calor 112 y un intercambiador de calor 140, que pueden estar conectados con un sistema de agua de servicio esencial tal como un río, un depósito de refrigeración o el mar.

[0021] La presente realización proporciona una fuente de nanopartículas 200 que puede proporcionar nanofluido concentrado o nanopartículas al CCWS 300. Esta aplicación aumenta la capacidad de refrigeración en el CCWS 300 por ejemplo después de un accidente de LOCA, y también durante el funcionamiento normal. Las nanopartículas también pueden ser utilizadas para mitigar la corrosión.

[0022] La Figura 2 muestra el CCWS 300, que puede ser utilizado en un PWR o BWR, y el suministro de nanopartículas 200 con más detalle. Un motor de accionamiento de la válvula 202, llamada válvula de llenado, tiene una salida en una línea 142. Una bomba 130 puede recircular el refrigerante en el circuito de CCWS, que incluye la línea 142 y una segunda línea 144 entre los intercambiadores de calor 112 y 140.

[0023] El nanofluido en forma concentrada se suministra a través de un tanque o una serie de tanques, y llega a la línea 142 a través de la entrada de la válvula 202.

[0024] La válvula accionada por motor 202 puede liberar el nanofluido concentrado en el volumen de líquido más grande del circuito CCWS a través de una entrada de suministro de nanopartículas 203. En una forma de realización, el nanofluido diluido puede residir en el circuito durante un largo periodo de tiempo. Las propiedades y la estabilidad del nanofluido se pueden comprobar de conformidad con los procedimientos de prueba del sistema de emergencia de la central, y si es necesario la válvula del motor 202 puede ser accionada para permitir nanofluido o nanopartículas más concentrados en los tanques según sea necesario para mantener la concentración deseada en el circuito CCWS. Una fuente de relleno puede proporcionar agua a los tanques o al CCWS 300, por ejemplo para aumentar la concentración de agua si la concentración de nanopartículas en el circuito se vuelve demasiado grande. Esta acción puede ir acompañada primero del drenaje de parte de la solución agua / nanopartículas a través de una válvula de drenaje en el CCWS.

[0025] En otra forma de realización, la fuente de nanomaterial puede permanecer en los tanques y ser aplicada al agua en el CCWS 300 a través de una entrada de suministro de nanopartículas 203 sólo después de que se produzcan las condiciones de accidente.

[0026] El depósito de material de nanofluido puede incluir una serie de tanques con volumen total y maniobrabilidad obtenidos teniendo en cuenta el volumen y las características del circuito cerrado. Los tanques pueden ser una combinación de silos de nanopulvos secos que inyectan nanopulvos en la toma de corriente o tanques de nanofluido concentrado que inyectan los líquidos en la entrada. Los tanques de nanofluido concentrado pueden tener un sistema de alimentación y purga que permita la adición de nanofluidos o nanomateriales a los tanques a intervalos dados para mantener la calidad de la suspensión de nanofluido. Un sensor 68 puede detectar el nivel de nanopartículas, y un controlador 310 puede accionar las válvulas de drenaje y las válvulas de llenado (o cualquier otra válvula) para proporcionar una concentración deseada al suministro 200. Si se conoce la concentración deseada en el suministro 200 y el volumen de líquido en CCSW 300, la concentración de las nanopartículas en CCSW 300 puede ser controlada. Como alternativa a los sensores, un operario puede introducir una concentración de nanopartículas determinada y la concentración deseada y el controlador puede corregir la concentración a partir se de las cantidades conocidas de los volúmenes en los tanques. Además, toda la calidad del nanofluido en los tanques puede ser mantenido manualmente. El controlador puede ser usado para controlar las válvulas y la liberación de nanopartículas en el transcurso de un acontecimiento de accidente, tal como un accidente grave, y durante el funcionamiento normal, por ejemplo, desde una sala de control.

[0027] Si los nanofluidos concentrados no se encuentran en el CCWS 300 durante el funcionamiento normal, la inyección puede proceder en el CCWS 300 después de que se den las condiciones de accidente.

[0028] En lugar de nanofluidos, suministro de nanopartículas 200 puede proporcionar nanopulvos sólidos para inyectarlos con la ayuda de un flujo de gas inerte suministrado a partir de una bombona con la presión del gas. El gas que contiene las partículas en la corriente de fluido se descarga en el CCWS 300.

[0029] Las nanopartículas son de tamaño inferior a la micra, preferentemente de tamaño de 10 a 300 nanómetros. Las nanopartículas son preferentemente no abrasivas, no reactivas y estables en condiciones de accidente grave a la vista de consideraciones de campo de radiación, de temperatura y de presión. Los nanomateriales pueden incluir, pero no se limitan a, ZrO₂, C(diamante), Al₂O₃, SiO₂, Fe₃O₄, Cu, y CuO.

[0030] El suministro de nanopartículas puede ser diseñado para mantener una concentración de menos de 0,5 por ciento por volumen en el circuito de refrigerante CCWS. El punto de ajuste de la concentración se puede lograr mediante la realización de controles periódicos, o a través de sensores y un controlador tal como se describió anteriormente. Por ejemplo, el agua del CCWS puede ser mantenida con una concentración de aproximadamente 0,001 por ciento (o se inyecta antes de la liberación para alcanzar esta concentración). Como resultado, las propiedades de transferencia de calor del CCWS 300 se pueden aumentar de manera significativa. A diferencia de las nanopartículas suministradas a altas temperaturas, las nanopartículas presentes pueden ser estables y no catalíticas, y ofrecer resistencia a la corrosión, proporcionando un recubrimiento más uniforme que la entregada a altas temperaturas. La temperatura ventajosamente puede ser ventajosamente inferior a 100 grados Celsius.

[0031] Con la presente invención el circuito de refrigeración cerrado puede incluir nanopartículas en el refrigerante en el circuito de refrigeración cerrado. Esto puede ocurrir por ejemplo cuando el circuito cerrado de refrigeración se construye por primera vez o mediante la adición de nanopartículas más adelante. Como alternativa o adicionalmente, el circuito cerrado de refrigeración puede tener una entrada de suministro de nanopartículas. Si esta entrada de suministro de nanopartículas está presente, las nanopartículas se pueden suministrar al circuito de refrigeración cerrado durante el funcionamiento normal, por ejemplo, para mantener una concentración deseada, o se puede suministrar sólo cuando sea necesario durante condiciones de emergencia.

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Central nuclear que comprende: un reactor nuclear (10); un sistema de refrigerante de reactor primario (20); un sistema de refrigeración de urgencia de núcleo (50) para refrigerar el reactor nuclear (10); una fuente de frío final; un circuito de refrigeración cerrado (300) independiente del sistema de refrigerante de reactor (20), estando el circuito de refrigeración cerrado (300) adaptado para transmitir calor recogido por el sistema de refrigeración de urgencia de núcleo (50) a la fuente de frío final, incluyendo el circuito de refrigeración cerrado (300) nanopartículas en el refrigerante en el circuito de refrigeración cerrado (300) o una entrada de suministro de nanopartículas (203).
- 10 **2.** La central nuclear según la reivindicación 1 en la que el circuito de refrigeración cerrado (50) tiene al menos dos intercambiadores de calor (112, 140), uno en un lado caliente del circuito de refrigeración cerrado (300) y uno en un lado frío del circuito cerrado (300), y una bomba (130) conectada con los intercambiadores de calor (112, 140).
- 15 **3.** La central nuclear según la reivindicación 2 en la que la fuente de frío final es un sistema de agua de servicio esencial, tal como un río, un depósito de refrigeración o el mar, siendo el intercambiador de calor (140) capaz de transferir calor desde el circuito de refrigeración cerrado (300) hasta el sistema de agua de servicio esencial.
- 20 **4.** La central nuclear según la reivindicación 1 en la que el circuito de refrigeración cerrado (300) contiene nanopartículas en el refrigerante durante el funcionamiento normal.
- 5.** La central nuclear según la reivindicación 4 que comprende además una fuente de nanopartículas (200) conectada con la entrada de suministro de nanopartículas (203).
- 25 **6.** La central nuclear según la reivindicación 5 que comprende además un controlador (310) que controla la fuente de nanopartículas (200) para proporcionar un valor umbral de concentración de nanopartículas en el refrigerante del circuito de refrigeración cerrado (300).
- 30 **7.** Procedimiento para mejorar capacidad de extracción de calor en caso de accidente en una central nuclear que comprende: activar un sistema de refrigeración de urgencia de núcleo (50) para enfriar un reactor nuclear (10) de la central nuclear; proporcionar nanopartículas, o una fuente de nanopartículas (200) capaz de suministrar nanopartículas, a un circuito de refrigeración cerrado (300) independiente de un refrigerante de reactor primario (20), transmitiendo el circuito de refrigeración cerrado (300) calor recogido por el sistema de refrigeración de urgencia de núcleo (50) a una fuente de frío final.
- 35 **8.** Procedimiento según la reivindicación 7 que comprende además monitorizar una concentración de nanopartículas en el circuito de refrigeración cerrado (300).
- 9.** Procedimiento según la reivindicación 7 o la 8, en el que el sistema de refrigeración de urgencia de núcleo (50) proporciona agua desde un pozo de confinamiento al reactor nuclear (10).
- 40 **10.** Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que el accidente es un accidente de pérdida de refrigerante.
- 45 **11.** Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que el circuito de refrigeración cerrado (300) contiene nanopartículas en el refrigerante durante el funcionamiento normal.
- 12.** Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que se aplica una fuente de nanomateriales a agua en el circuito de refrigeración cerrado (300) solamente tras la ocurrencia de condiciones de accidente.

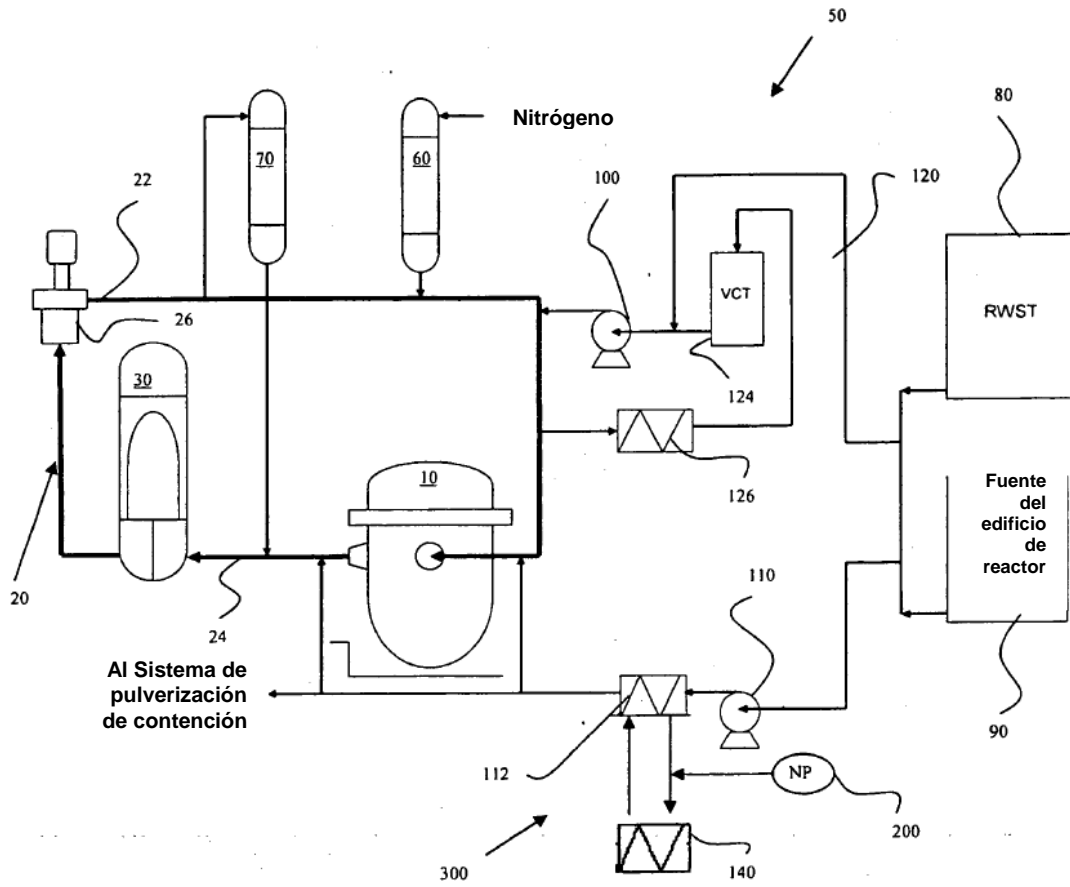


Figura 1

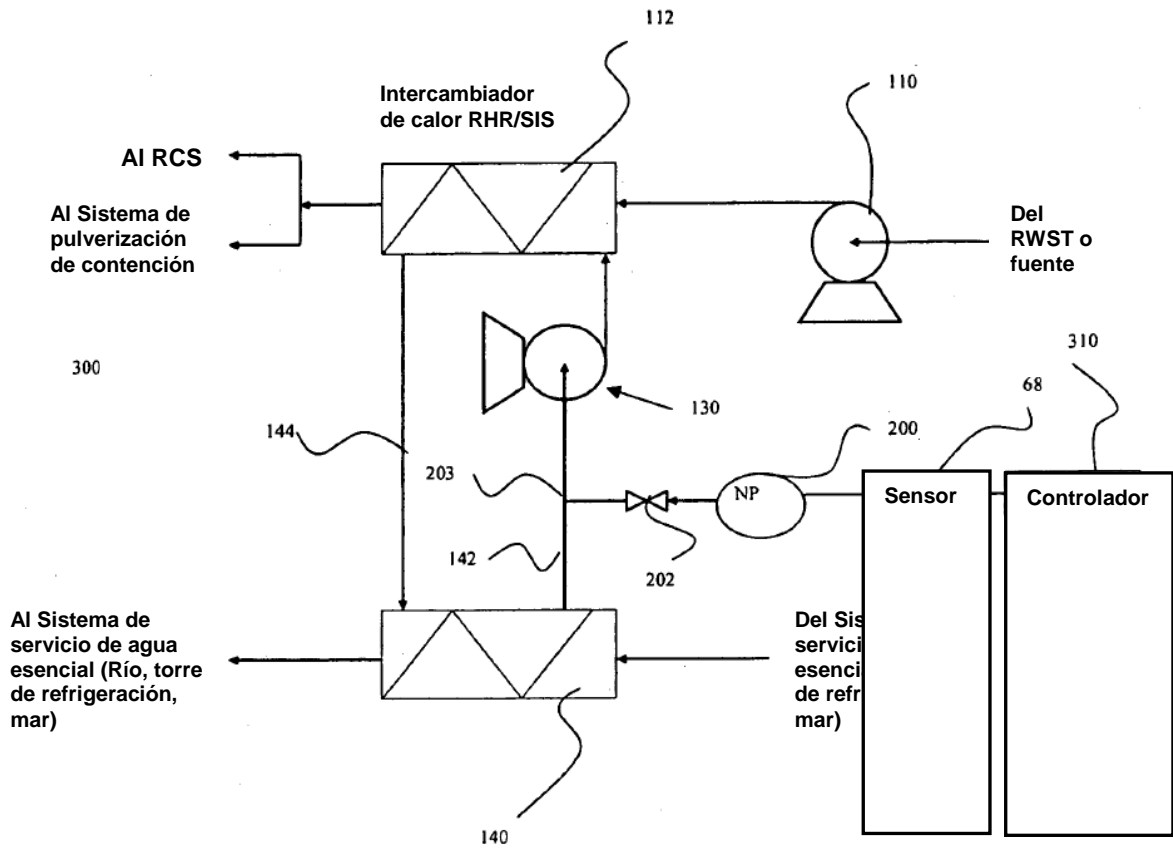


Figura 2