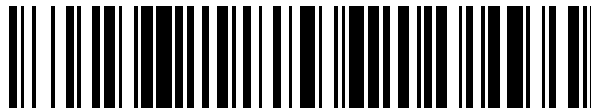


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 408 982**

51 Int. Cl.:

**G21C 15/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.02.2008 E 08782747 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2013 EP 2122636**

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

30 Prioridad:

**02.03.2007 US 713144**

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

**24.06.2013**

73 Titular/es:

**AREVA NP (100.0%)  
TOUR AREVA 1 Place Jean Millier  
92400 Courbevoie , FR**

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

**PONTI SALES, Adelaida**

**ES 2 408 982 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 sistemas de emergencia y procedimiento relacionado

## ANTECEDENTES

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere en general a centrales nucleares, y más específicamente a los sistemas de emergencia de estas centrales.
- 10 **[0002]** Una central nuclear tiene típicamente un reactor nuclear y un circuito primario de refrigeración (RCS) para extraer calor del reactor y generar energía. Los dos tipos más comunes de reactores, los reactores de agua en ebullición (BWR) y reactores de agua a presión (PWR) se basan en agua. En un reactor de agua a presión (PWR), presurizado, el agua caliente procedente del sistema de refrigerante del reactor transfiere el calor a un generador de electricidad, que incluye un flujo de refrigerante secundario en ebullición de un refrigerante que alimenta a una turbina. En los BWR, los reactores evaporan directamente el refrigerante del reactor para producir vapor de agua para el generador de electricidad. La sección RCS dispuesta aguas abajo de los generadores de electricidad, pero aguas arriba del reactor RCS normalmente se llama la rama fría, y aguas abajo de la del reactor y aguas arriba de los generadores de electricidad se suele llamar la rama caliente.
- 15 **[0003]** Si se produce un fallo en el RCS, en lo que se suele llamar un accidente de pérdida de refrigerante (LOCA), el núcleo del reactor no se refrigera adecuadamente y la temperatura comienza a subir en el reactor. La temperatura de los elementos de combustible en el núcleo se eleva y, si no se controla, puede causar la fusión y potencialmente la anulación del reactor, liberando así masa fundida en el edificio de contención. Un tipo de LOCA que puede ocurrir tanto en los PWR y BWR es una ruptura de la línea principal de vapor.
- 20 **[0004]** Durante un accidente 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 evento 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.
- 25 **[0005]** Durante un accidente LOCA, puede activarse un sistema de refrigeración de emergencia del núcleo (ECCS) para enfriar el reactor mediante el suministro adicional de agua a la RCS. Por lo tanto un ECCS incluye típicamente una bomba de alta presión tal como una bomba centrífuga / bomba de inyección de carga de alta presión (bomba CCP / HPIP) que sale en el RCS. Este puede bombear agua desde el depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento (RWST), tal como un RWST (IRWST) de contención, o un pozo de contención en la rama fría del RCS. Un depósito de control de volumen que recibe agua que pasa a través de un intercambiador de calor de la rama fría del RCS también puede proporcionar agua a la bomba CCP/ HPIP.
- 30 **[0006]** El ECCS también tiene típicamente una bomba de baja presión, tal como una bomba de extracción de calor residual o sistema de inyección de seguridad (bomba RHR / SIS), que puede proporcionar agua de la RWST o pozo de contención a las ramas fría y caliente del RCS, así como agua a un sistema de pulverización de contención. Típicamente se proporciona un intercambiador de calor después de la bomba RHR/SIS.
- 35 **[0007]** El ECCS también tiene típicamente acumuladores conectados a la rama fría de la RCS que almacena agua bajo presión utilizando nitrógeno a presión, así como un presurizador para proporcionar una presión adicional a la rama caliente de la RCS y proporcionar volumen de expansión para dar cabida a transitorios de temperatura y volumen RCS.
- 40 **[0008]** La refrigeración post-accidente tiene que ver con ambos fenómenos de convección natural de transferencia de calor de aire y la fase de vapor dentro de la contención después de un accidente de LOCA, así como con la transferencia de calor de ebullición en el interior del núcleo durante la condición de LOCA.
- 45 **[0009]** El artículo con título " In-Vessel Retention Enhancement through the Use of Nanofluids " describe el uso de nanofluidos para la mejora de la retención en la vasija en un escenario de accidente. El sistema de inyección nanofluido conceptual incluye dos pequeños tanques de nanofluido concentrado, donde cada tanque es capaz de suministrar suficiente nanofluido para mejorar la predicción mediante un modelo computacional. La inyección se considera que se produce tras el accionamiento manual de las válvulas conectadas a las líneas de inyección. Se requiere incluir instrucciones para accionar estas válvulas en los procedimientos para accidentes graves. Se dice que la inyección es impulsada por la gravedad y la sobrepresión proporcionada por acumuladores conectados a los tanques. Las líneas de inyección son tales que pueden terminar 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.
- 50 **[0010]** Otros conceptos de refrigeración que emplean nanofluidos en PWRS se conocen por ejemplo a partir del artículo "Potential of water- based nanofluids for use as coolants in PWRs", de J. Buongiorno y B.Truong,(NURETH-11).

55

RESUMEN DE LA INVENCION

[0011] Un objeto de la presente invención es aumentar la transferencia de calor de un reactor nuclear y evacuar el calor del edificio de contención bajo condiciones graves de accidente de una manera eficaz.

5 [0012] La presente invención proporciona una central nuclear que comprende un reactor, un circuito primario de refrigeración, un generador alimentado por el sistema de refrigeración de reactor, un sistema de refrigeración del núcleo de emergencia, incluyendo el sistema de refrigeración del núcleo de emergencia un acumulador que tiene una salida de acumulador que sale en el circuito primario de refrigeración, y una alimentación con nanopartículas que tiene una salida de suministro que sale en el acumulador.

10 [0013] La presente invención proporciona una central nuclear que comprende un reactor, un circuito primario de refrigeración, un generador alimentado por el circuito primario de refrigeración, un sistema de refrigeración del núcleo de emergencia, incluyendo el sistema de refrigeración del núcleo de emergencia un depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento o pozo de contención, una bomba que tiene una entrada de bomba que proporciona agua desde el depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento o pozo de contención y una salida de bomba que proporciona el agua al circuito primario de refrigeración, y una alimentación con nanopartículas que tiene una salida de suministro entre la bomba y el depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento o entre la bomba y el pozo de contención.

[0014] Según una realización la alimentación presurizada con nanopartículas está conectada con el sistema de refrigeración del núcleo de emergencia.

[0015] La alimentación con nanopartículas también puede incluir una válvula motorizada.

20 [0016] La presente invención también proporciona un procedimiento para mejorar la capacidad de extracción de calor accidental severa en una central nuclear que comprende:

[0017] proporcionar nanopartículas que pueden ser liberadas con agua de acumulador de un sistema de refrigeración del núcleo de emergencia durante un accidente grave.

25 [0018] La presente invención también proporciona un procedimiento para mejorar la capacidad de extracción de calor accidental severa en una central nuclear que comprende:

[0019] proporcionar nanopartículas que pueden ser liberadas aguas arriba de una bomba de sistema de refrigeración del núcleo de emergencia en el agua suministrada por un depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento o un pozo de contención a la bomba durante un accidente grave.

30 [0020] El sistema de suministro de nanopartículas puede ser capaz de presurizar un medio que contiene nanopartículas antes de su suministro al sistema de refrigeración del núcleo de emergencia.

[0021] El suministro de nanopartículas también puede ser capaz de suministrar nanopartículas durante una fase post-accidente cuando la presión en una contención es igual a la de un sistema de refrigeración de reactor presión.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

[0022] Una realización preferida de la presente invención se describirá con respecto a los dibujos en los que:

35 [0023] La figura 1 muestra esquemáticamente una central nuclear con un sistema de refrigeración del núcleo de emergencia según la presente invención;

[0024] La figura 2 muestra los detalles del acumulador en la figura 1 con más detalle;

[0025] La figura 3 muestra los detalles de la zona de bomba de alta presión de la figura 1 con más detalle; y

[0026] La figura 4 muestra los detalles de la bomba de baja presión de la figura 1 con más detalle.

40 DESCRIPCION DETALLADA DE LA REALIZACION PREFERIDA

[0027] La figura 1 muestra una central nuclear que tiene un reactor 10, un circuito primario de refrigeración 20, y un generador de electricidad 30. En la realización de PWR mostrada, generador de electricidad 30 incluye una corriente de refrigeración secundaria y una turbina. El circuito primario de refrigeración 20 incluye una rama fría 22 entre el generador 30 y reactor 10, y una rama caliente 24 entre el reactor 10 y generador 30, así como una bomba de refrigerante 26 en la rama fría 22. El circuito primario de refrigeración 20 para la realización de PWR mostrada también puede contener uno o más presurizadores 70. En una realización de BWR, el generador 30 típicamente incluye una turbina, y el RCS 20 incluye un condensador.

45 [0028] El RCS 20 recircula agua durante la operación normal, y en la realización preferida no se añaden nanopartículas intencionadamente al RCS durante la operación normal, porque estos pueden dar problemas al generador y otros componentes.

50

**[0029]** La central nuclear también incluye un sistema de refrigeración del núcleo de emergencia, indicado generalmente como 50, que incluye uno o más acumuladores o tanques de flujo de núcleo 60, un depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento 80, un pozo de contención 90, una bomba de alta presión 100, y a bomba de baja presión 110.

5 **[0030]** El RWST 80 está conectado a la bomba 100, que puede ser una bomba de carga centrífuga /, bomba 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 fría de la rama 22 a través de un intercambiador de calor por gravedad 126. La bomba 100 puede proporcionar agua desde el RWST 80 o el pozo de contención 90 en el RCS 20 durante un accidente LOCA. El pozo de contención 90 proporciona así el agua que se acumula en la contención durante un accidente grave, por ejemplo después de vaciarse el RWST 80.

**[0031]** La bomba de baja presión 110, que puede ser una bomba de sistema de eliminación de calor residual / de inyección de seguridad, proporciona agua del RWST 80 o del pozo de contención 90 a un intercambiador de calor 112, y también a la rama caliente 24, a la rama fría 22 y un sistema de pulverización de contención.

**[0032]** Los presurizadores 70 pueden proporcionar una presión de agua de la rama fría 22 a la rama caliente 24.

15 **[0033]** La presente realización proporciona un suministro de nanopartículas 200 que puede proporcionar nanofluido o nanopartículas concentrados a la rama fría del acumulador / depósito de inundación del núcleo 60. Esta aplicación aumenta la capacidad de enfriamiento en las fases incipientes de una condición de LOCA mediana o grande durante la cual el núcleo podría quedar descubierto sin el agua suministrada por el acumulador / tanque de inundación de núcleo 60.

20 **[0034]** La alimentación con nanopartículas 210 puede proporcionar nanopartículas entre el RWST 80 o pozo de contención 90 y bomba 100. Esta ubicación de inyección de nanopartículas está diseñada para ayudar en otro tipo de escenario LOCA durante el cual las pérdidas de líquido en el RCS 20 pueden ser compensadas por un período de tiempo más largo, con el núcleo del reactor cubierto.

25 **[0035]** La alimentación con nanopartículas 220 puede suministrar nanopartículas entre el RWST 80 o pozo de contención 90 y la bomba 110. La ubicación de esta inyección de nanopartículas está ventajosamente diseñada para ayudar a otro tipo de escenario LOCA durante el cual ya no se pueden compensar más las pérdidas de líquido de RCS 20, con el núcleo del reactor sólo parcialmente cubierto. La bomba 110 y el intercambiador de calor 112 se han diseñado para proporcionar una refrigeración a largo plazo durante varios días después de cualquier LOCA u otro escenario de accidente grave. Por lo tanto la presente invención puede proporcionar ventajosamente que las nanopartículas puedan ser entregadas cuando la presión en la RCS 20 sea similar a la presión en la contención.

30 **[0036]** Los suministros de nanopartículas 200, 210 y solo o en combinación 220 proporcionan ventajas significativas con respecto a los suministros que terminan en la cavidad del reactor, líneas de recirculación o el RWST. La dispersión y la eficacia de las nanopartículas se incrementa ya que las partículas se dispersan inmediatamente justo antes o en lugares donde el agua es presurizada. Pueden reducirse el asentamiento y otros problemas con la eficacia de las nanopartículas. Con los tres suministros, se puede mejorar la refrigeración de emergencia de un accidente de LOCA durante todos los períodos de tiempo, tal como se describirá.

35 **[0037]** La figura 2 muestra el acumulador 60 y el suministro de nanopartículas 200 con más detalle. Una válvula accionada con motor 204, llamada válvula de llenado, tiene una salida en el acumulador 60. El nanofluido en forma concentrada o en polvo que contiene nanopartículas de gas a presión, se suministra a través de un tanque 202, y alcanza el acumulador a través de la entrada de la válvula 204. La acumulador de la rama fría 60 descarga agua mezclada con el nanofluido o nanopartículas a través de una válvula de control 64 en el RCS 20.

40 **[0038]** La válvula motorizada 204 puede liberar el nanofluido concentrado en el volumen de líquido más grande en el acumulador o tanques de inundación de núcleo 60. En una forma de realización, el nanofluido diluido puede residir en el acumulador durante un largo periodo de tiempo. Las propiedades y la estabilidad del nanofluido se verificarán de acuerdo con los procedimientos de prueba del sistema de emergencia de la planta, y si es necesario la válvula del motor 204 puede ser accionada para permitir tanto nanofluido o nanopartículas más concentrados en el tanque 202 según sea necesario para mantener el nivel deseado en el tanque del acumulador 60. Una fuente de relleno 206 puede proporcionar agua al acumulador 60, por ejemplo para aumentar la concentración de agua si la concentración de nanopartículas en el depósito 60 se vuelve demasiado grande. Tal acción puede ir acompañada primero del drenaje de parte de la solución agua / nanopartículas a través de una válvula de drenaje 66.

**[0039]** En otra forma de realización, la fuente de nanomaterial puede permanecer en el tanque 202 y se aplica sólo cuando el agua en el acumulador 60 es requerida por los procedimientos de refrigeración de emergencia.

45 **[0040]** El depósito de material de nanofluido 202 puede incluir una serie de tanques con el volumen total y la maniobrabilidad obtenida teniendo en cuenta los cálculos probabilísticos de las distintas estrategias de operación. Los tanques pueden ser una combinación de los silos de nanopolvos secos que inyectan nanopolvos a la salida o tanques de nanofluido concentrado mediante la inyección de los líquidos en la salida. Los tanques de nanofluido concentrados o acumuladores 60 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. Para el tanque 60 o los otros tanques 202, un sensor 68 puede detectar el nivel de nanopartículas, y un controlador 300 puede accionar la válvula de drenaje 66 y la válvula de llenado 204 (o cualquier otra válvula) para proporcionar una concentración deseada. Como alternativa al sensor 68, un operario puede introducir una determinada concentración de nanopartículas en el acumulador 60 y la concentración deseada y el controlador 300 puede corregir la concentración a partir de las cantidades conocidas del volumen del acumulador y la concentración de las nanopartículas en el tanque 202. Además, toda la calidad del nanofluido en el acumulador 60 o tanques 202 puede ser mantenida manualmente. Se puede utilizar el controlador 300 para controlar las válvulas y la liberación de nanopartículas en el transcurso de un evento de accidente grave, por ejemplo desde una sala de control.

10 **[0041]** Si los nanofluidos concentrados no están situados en el acumulador durante el almacenamiento a largo plazo, la inyección puede proceder en el acumulador justo antes de la liberación del fluido del acumulador.

15 **[0042]** La figura 3 muestra la alimentación con nanopartículas 210 y la bomba de alta presión 100 con más detalle, y en esta forma de realización se muestra la salida 212 colocada en la entrada 102 de las bombas CCP / HPIP 100, que tienen una salida 104. La alimentación con nanopartículas 210 incluye un tanque de material nanofluido 214, y un tanque 216 separados por una válvula de llenado 218. El tanque 216 puede incluir una serie de tanques con el volumen total y la maniobrabilidad obtenidos teniendo en cuenta los cálculos probabilísticos de las distintas estrategias de operación. El tanque 216 puede ser una combinación de los silos de nanopulvos secos que inyectan nanopulvos en el tanque o tanques de nanofluido concentrado 214 que inyectan el líquido en la misma salida 214. El tanque de nanofluido concentrado 214 y o tanques 216 pueden tener un sistema de alimentación y de purga que permita la adición de nanofluidos o nanomateriales a los tanques a intervalos dados para mantener la calidad de la suspensión de nano-líquido en los tanques 214 y 216. Por lo tanto, el tanque 214 también puede tener una entrada separada para el agua y una válvula de drenaje 217. Una válvula accionada motorizada puede estar situada aguas abajo del tanque 214 para proporcionar el nanofluido a la salida 212. También puede proporcionarse un sensor 211 conectado con el controlador 300, controlando el controlador 300 (figura 2) también la válvula de llenado 218 y la válvula de drenaje 217.

20 **[0043]** La figura 4 muestra la alimentación con nanopartículas 220, que puede disponer de tanques 224 y 226, y puede ser similar a la realización de la figura 3. La salida 222 puede estar situada en la entrada 112 de las bombas de baja presión 110, que tienen una salida 114.

25 **[0044]** Los depósitos 214 pueden ser presurizados a través de una fuente 215 de gas inerte, por ejemplo nitrógeno, de manera que tras el accionamiento de la válvula 219, los tanques se vacían a presión en la entrada de las bombas centrífugas de alta presión o de inyección a baja presión 100, 110 de la ECCS 50, y puede incluir un diafragma u otro dispositivo de separación de modo que los depósitos se vacían sólo cuando, por ejemplo, el diferencial de presión entre el tanque pequeño y la entrada de la bomba excede de un valor pre-determinado.

30 **[0045]** Durante un accidente de LOCA por ejemplo, el refrigerante primario puede salir de la RCS 20 en la contención. La presente invención proporciona entonces que el acumulador de agua liberado por el ECCS 50 puede contener nanopartículas, ya sea almacenadas con el acumulador de agua o proporcionadas poco antes de la liberación, por lo que durante la fase incipiente del LOCA el agua del acumulador suministrada al reactor tiene propiedades mejoradas de eliminación de calor.

35 **[0046]** A medida que el agua RWST se libera o el agua del pozo se alimenta a través de bomba 100 se proporcionan más nanopartículas al ECCS mediante la alimentación con nanopartículas 210. Las nanopartículas en forma fluida o sólida pueden ser rápidamente mezcladas con el resto del fluido de entrada, por lo que el agua RWST también aumenta las propiedades de eliminación de calor.

40 **[0047]** A medida que se hace recircular el agua de contención y funciona la bomba de baja presión 110, la alimentación con nanopartículas 220 puede añadir nanopartículas de modo que el agua RCS y RWST y cualquier otra agua tal como el agua del acumulador tengan un suministro de nanopartículas suficiente. También se puede compensar la sedimentación de las nanopartículas.

45 **[0048]** Las alimentaciones de nanopartículas 210 y 220, suministran preferentemente nanopartículas o nanofluido directamente en las entradas, es decir, los cabezales, de las respectivas bombas 100, 110.

50 **[0049]** Las válvulas accionadas por motor proporcionan una ventaja sobre las válvulas manuales, puesto que el suministro se puede ajustar remotamente.

55 **[0050]** En lugar de nanofluidos, las alimentaciones de nanopartículas 200, 210 y 220 pueden proporcionar nanopulvos sólidos para inyectarlos con la ayuda de un flujo de gas inerte suministrado a partir de un depósito con presión de gas. El gas que contiene las partículas en la corriente de fluido se descarga en la entrada de grandes tanques o las bombas centrífugas de alta presión y / o de inyección de baja presión del sistema de seguridad cuando el diferencial de presión entre el pequeño depósito de gas y la entrada de la bomba superase un valor pre-determinado.

**[0051]** Las nanopartículas son de tamaño inferior a la micra, preferiblemente de 10-300 nanómetros. Las nanopartículas son preferiblemente no abrasivas, no reactivas y estables en condiciones de accidente grave desde el punto de vista del campo de radiación, de temperatura y de presión. Los nanomateriales pueden incluir, pero no se limitan a, ZrO<sub>2</sub>, C(diamante), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Cu, y CuO.

- 5 **[0052]** El suministro de nanopartículas puede ser diseñado para mantener una concentración de menos de 0,002 por ciento por volumen, por ejemplo, a 0.001 por ciento, al reactor en cada etapa después de un accidente grave. Por ejemplo, el acumulador de agua se puede mantener con una concentración de aproximadamente 0,001 por ciento (o se inyecta antes de la liberación para alcanzar esta concentración), ya que en un caso grave LOCA, el agua el acumulador puede ser alimentada sin haber agua en el RCS. Para el suministro de nanopartículas con
- 10 bomba de alta presión, las nanopartículas pueden ser suministradas como una función del volumen RWST, así como el volumen de RCS, puesto que el agua RCS del LOCA se puede encontrar en la contención y ser recirculada por el pozo de contención. La bomba de baja presión alimentación con nanopartículas puede ser activada más tarde y puede basarse en el volumen acumulador, el volumen de RCS y el volumen RWST, así como una velocidad de sedimentación de las nanopartículas. Estos son sólo ejemplos, y las cantidades exactas de nanopartículas liberadas
- 15 pueden depender del tipo de nanopartículas, diseño de reactores, las propiedades de sedimentación de las nanopartículas, y / o el tipo y la gravedad del accidente en sí (por ejemplo, si el LOCA es un evento menor o mayor).

REIVINDICACIONES

1. Central nuclear que comprende:
- un reactor (10);
  - un circuito primario de refrigeración (20);
- 5 - un generador (30) alimentado por el circuito primario de refrigeración (20);
- un sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50), incluyendo el sistema de refrigeración del núcleo de emergencia un acumulador (60) que tiene una salida de acumulador que sale en el circuito primario de refrigeración (20), **caracterizado por el hecho de que** la central nuclear comprende una alimentación con nanopartículas (200) que tiene una salida de suministro que sale en el acumulador (60).
- 10 2. La central nuclear según la reivindicación 1 en la que la alimentación con nanopartículas (200) incluye un fluido de nanopartículas concentrado.
3. La central nuclear según la reivindicación 1 en la que la alimentación con nanopartículas (200) está presurizada.
4. La central nuclear según la reivindicación 1 en la que el sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50) incluye un depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento (80) o pozo de contención (90) y una
- 15 bomba (100, 110) que tiene una entrada de bomba que proporciona agua desde el depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento (80) o pozo de contención (90) y una salida de bomba que proporciona el agua al circuito primario de refrigeración (20) y que comprende además una segunda alimentación con nanopartículas (210, 220) que tiene una segunda salida de alimentación entre la bomba (100, 110) y el depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento (80) o entre la bomba (100, 110) y el pozo de contención (90).
- 20 5. La central nuclear según la reivindicación 4 que comprende además una tercera alimentación con nanopartículas (220, 210) que tiene una tercera salida de alimentación entre la bomba (110, 100) y el depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento (80) o entre la bomba (110, 100) y el pozo de contención (90).
6. La central nuclear según la reivindicación 1 en la que el acumulador (60) almacena una combinación de agua y nanopartículas que provienen de la alimentación con nanopartículas (200) mientras el reactor (10) funciona en una
- 25 condición de operación normal.
7. El reactor nuclear según la reivindicación 1 en el que el acumulador (60) almacena solamente agua o refrigerante de reactor mientras el reactor (10) funciona en condición de operación normal.
8. El reactor nuclear según la reivindicación 1 en el que la salida del acumulador (60) está dispuesta aguas abajo del generador (30) y aguas arriba del reactor (10).
- 30 9. Central nuclear que comprende:
- un reactor (10);
  - un circuito primario de refrigeración (20);
  - un generador (30) alimentado por el circuito primario de refrigeración (20);
- 35 - un sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50), incluyendo el sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50) un depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento (80) o pozo de contención (90), y una bomba (100, 110) que tiene una entrada de bomba que proporciona agua desde el depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento (80) o pozo de contención (90) y una salida de bomba que proporciona el agua al circuito primario de refrigeración (20), **caracterizado por el hecho de que** el reactor nuclear comprende una alimentación con nanopartículas (210, 220) que tiene una salida de suministro entre la bomba (100, 110) y el
- 40 depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento (80) o entre la bomba (100, 110) y el pozo de contención (90).
10. La central nuclear según la reivindicación 9 en la que la salida de alimentación está en la entrada de la bomba.
11. La central nuclear según la reivindicación 9 en la que la bomba es una bomba de alta presión (100).
- 45 12. El reactor nuclear según la reivindicación 11 en la que la salida de la bomba (100) está conectada con el circuito primario de refrigeración (20) aguas abajo del generador (30) y aguas arriba del reactor (10).
13. La central nuclear según la reivindicación 9 en la que la alimentación con nanopartículas (210, 220) es un gas presurizado que contiene nanopartículas.

14. La central nuclear según la reivindicación 9 en la que la alimentación con nanopartículas (210, 220) incluye un nanofluido.
15. La central nuclear según la reivindicación 9 en la que la bomba (110) es una bomba de baja presión.
- 5 16. La central nuclear según la reivindicación 9 en la que el sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50) incluye un intercambiador de calor (112), la salida de la bomba (110) conectada con el intercambiador de calor (112).
- 10 17. La central nuclear según la reivindicación 9 en la que el sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50) incluye una segunda bomba (110, 100) y que comprende además una segunda alimentación con nanopartículas (220, 210) que tiene una segunda salida de alimentación entre la segunda bomba (110, 100) y el depósito de almacenamiento de agua de reaprovisionamiento (80) o entre la segunda bomba (110, 100) y el pozo de contención (90).
- 15 18. La central nuclear según la reivindicación 17 en la que la bomba (100) es una bomba de alta presión, y la segunda bomba (110) es una bomba de baja presión, y el sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50) incluye un acumulador (60), y que comprende además una tercera alimentación con nanopartículas (200) que sale en el acumulador (60).
- 20 19. La central nuclear según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la alimentación con nanopartículas (200, 210, 220) está adaptada para suministrar nanopartículas al sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50) bajo presión.
- 20 20. La central nuclear según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la alimentación con nanopartículas (200, 210, 220) incluye una válvula motorizada.
- 25 21. Procedimiento para mejorar la capacidad de extracción de calor accidental severa en una central nuclear que comprende: proporcionar nanopartículas que pueden ser liberadas con agua de acumulador de un sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50) durante un accidente grave.
- 25 22. Procedimiento para mejorar la capacidad de extracción de calor accidental severa en una central nuclear que comprende: proporcionar nanopartículas que pueden ser liberadas aguas arriba de una bomba de sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (100, 110) en el agua suministrada por un depósito de almacenamiento de agua de reactor (80) o un pozo de contención (90) a la bomba (100, 110) durante un accidente grave.
- 30 23. Procedimiento para mejorar la capacidad de extracción de calor accidental severa en una central nuclear según la reivindicación 21 o la 22, que comprende: presurizar un medio que contiene dichas nanopartículas antes de su suministro a un sistema de refrigeración del núcleo de emergencia (50).
- 30 24. Procedimiento para mejorar la capacidad de extracción de calor accidental severa en una central nuclear según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 23, que comprende: suministrar nanopartículas durante una fase post-accidente cuando la presión en una contención es igual a la presión de un sistema de refrigeración de reactor (50).



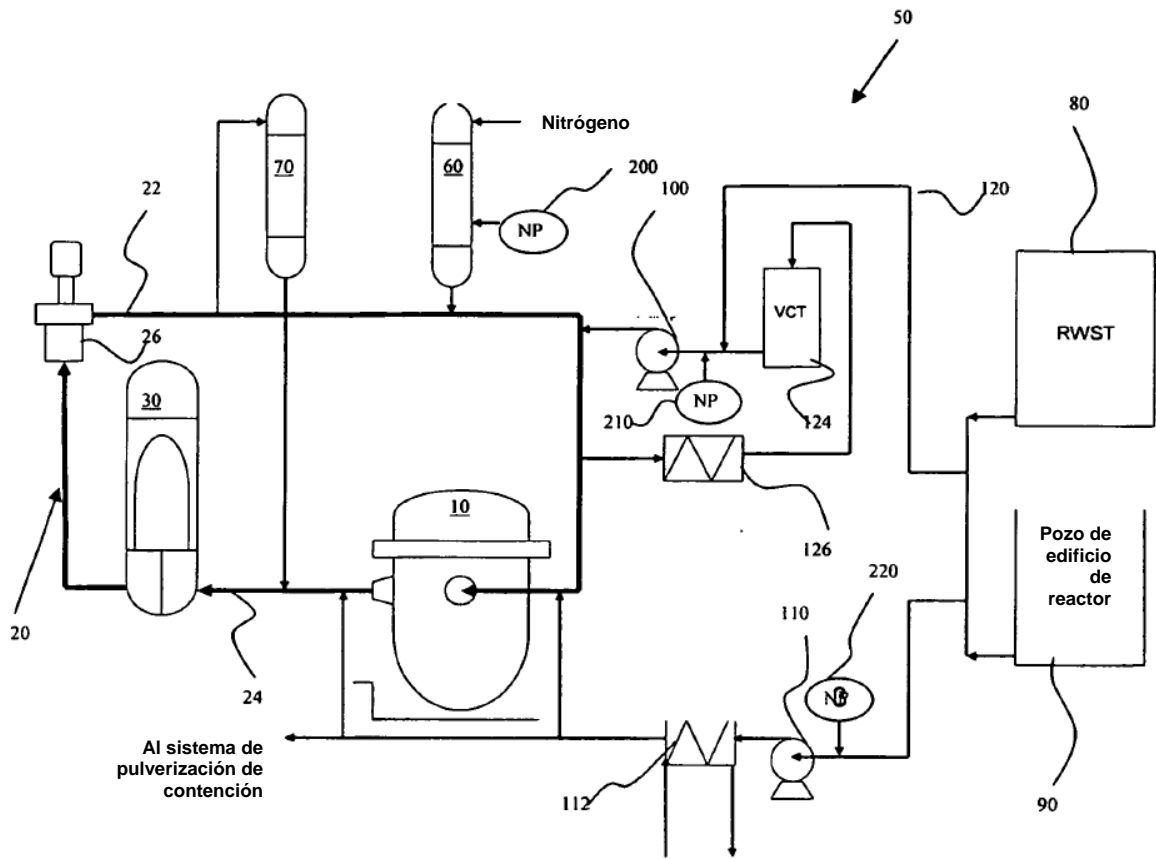


Figura 1

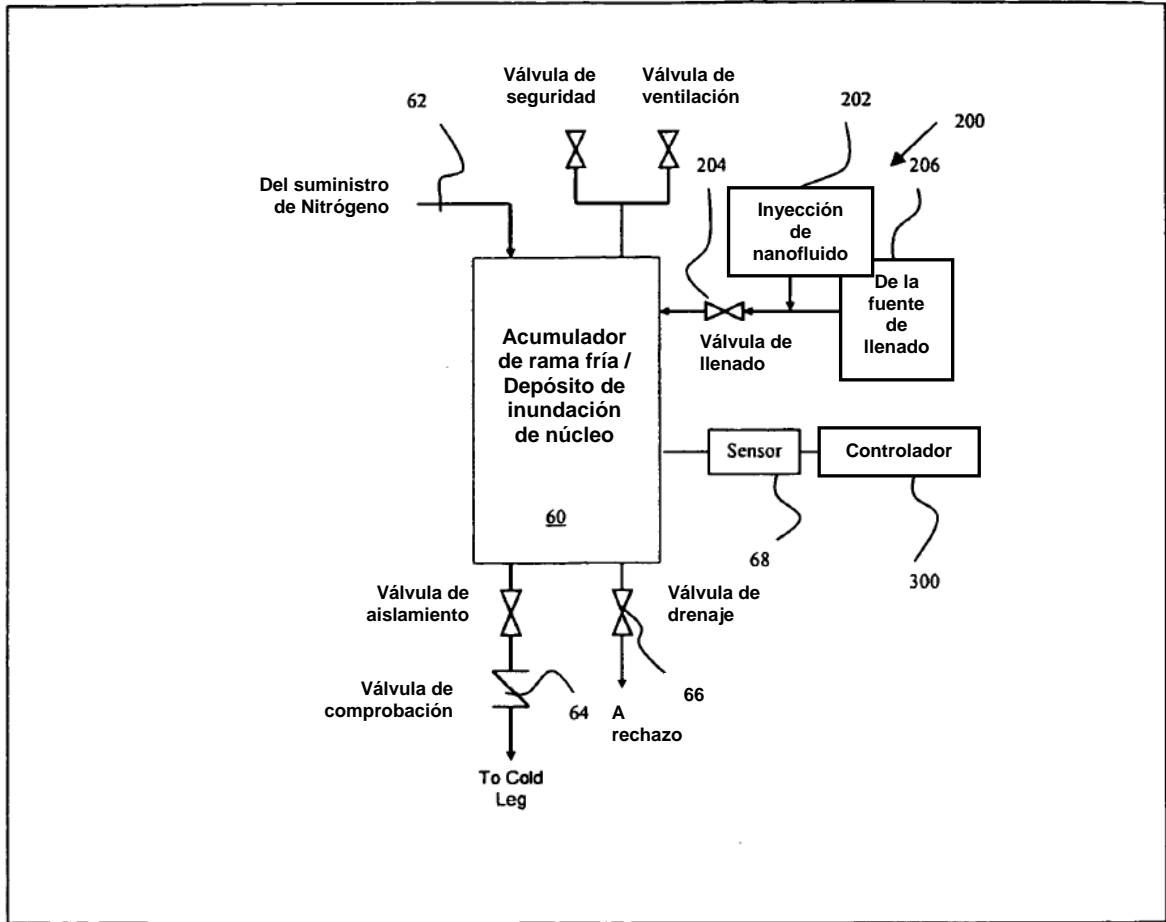


Figura 2

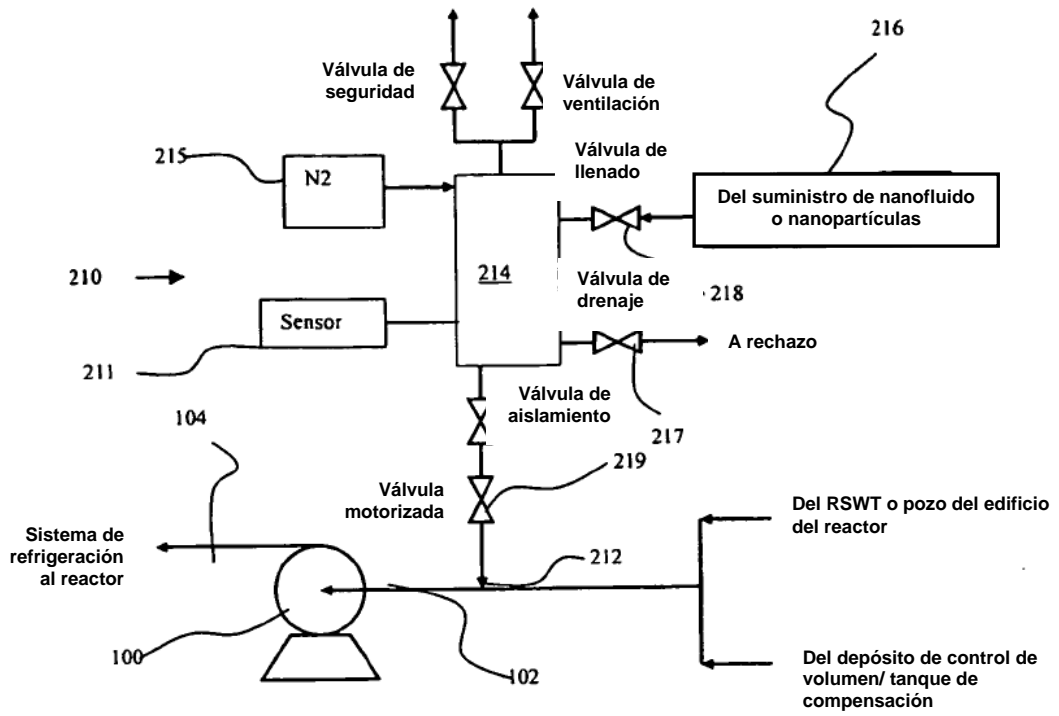


Figura 3

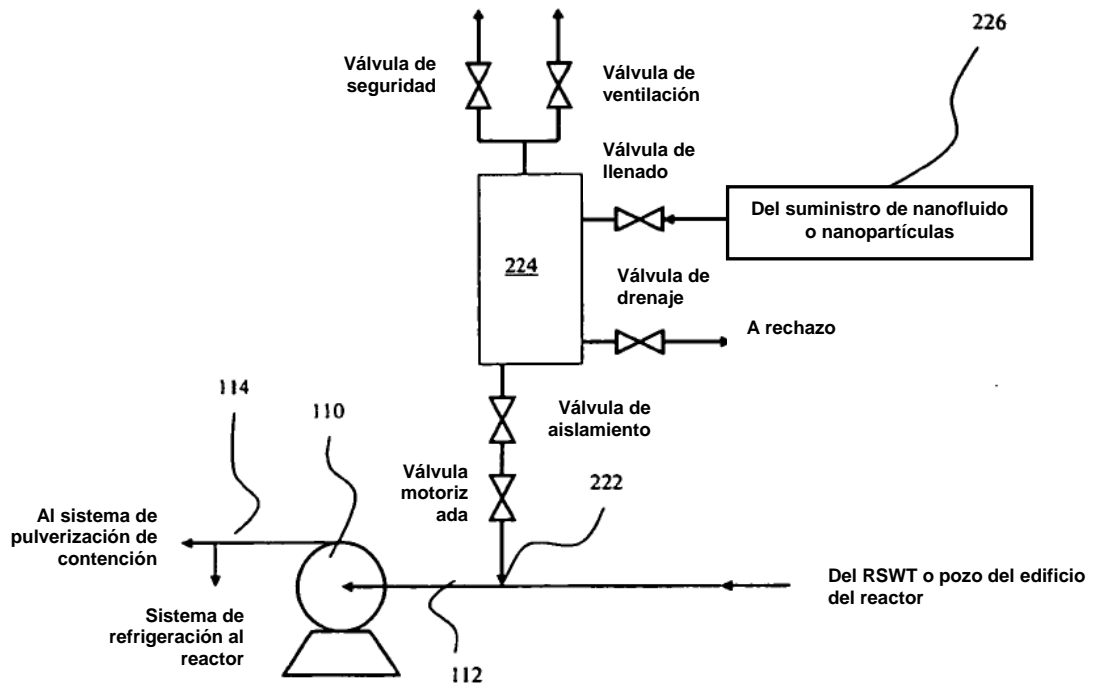


Figura 4