



351292

26 MAR 1956

PATENTE DE INVENCION

SECCION TECNICA
CLASIFICACION I. I. G.
CLASE <u>G</u> <u>21</u>
SUBCLASE <u>C</u>

MEMORIA DESCRIPTIVA

Sobre:

" PROCEDIMIENTO Y CENTRAL NUCLEAR DE PRODUCCION DE ENERGIA "

Solicitante: La Sociedad belga: SOCIÉTÉ BELGE POUR L'INDUSTRIE NUCLEAIRE, S. A. "BELGONUCLEAIRE", domiciliada en 35, rue des Colonies, BRUSELAS, Bélgica.

Inventores: Don Jean-Marie CHERMANNE, Don Emile FOSSOUL y Don Jean-Paul VAN DIEVOET.



La presente invención se refiere a una central nuclear que comprende un reactor de neutrones rápidos refrigerado por un refrigerante primario constituido por un metal alcalino y más particularmente a las centrales que utilizan

5. un reactor rápido refrigerado por sodio.

Para la mejor comprensión de la descripción, se designará también por el término sodio las aleaciones eutécticas del sodio (como por ejemplo el NaK).

Como la densidad de potencia en un corazón de un

10. reactor rápido es muy elevada, la refrigeración no puede efectuarse más que por medio de un gas o un vapor a presión muy elevada, con los evidentes peligros que resultarían de una fuga, o bien por un metal líquido a presión moderada. En general, se han utilizado metales líquidos en los reactores rápidos y

15. en particular el sodio o aleaciones eutécticas de sodio, a causa de los puntos de fusión relativamente bajos de los metales alcalinos y su excelente propiedad de transferencia del calor. En un reactor nuclear de neutrones rápidos refrigerado por sodio, el sodio primario es radiactivo y no debe estar jamás en

20. contacto directo de intercambio térmico con el ciclo agua-vapor que alimenta generalmente la turbina principal. El intercambio térmico entre el sodio primario y el ciclo de vapor se realiza generalmente por medio de un circuito intermedio.

En un cambiador de calor sodio/agua-vapor, siempre

25. existe el peligro de una reacción agua-sodio, en caso de fuga o rotura del tubo. Las consecuencias de semejante accidente son tanto más serias si el sodio es radiactivo. Además, como la presión del circuito agua-vapor es muy superior a la del circuito de sodio primario, la posibilidad de introducción de una masa de agua en el corazón del reactor no podría

30.



ser excluída.

Por consiguiente, habitualmente se prevé, entre el circuito del sodio primario radiactivo y el circuito vapor-agua, un circuito de transferencia de calor intermedio que

5. contiene sodio no activado.

La supresión de este circuito intermedio no puede ser considerada mientras exista una posibilidad de reacción peligrosa entre el refrigerante primario radiactivo y el flúido motor de la turbina.

10. Pero el circuito intermedio de sodio precipitado no suprime, en caso de accidente, la reacción sodio-agua; solamente hace sus efectos menos nefastos puesto que el sodio ya no es radiactivo y puesto que el agua no penetra en el corazón en caso de reacción sodio-agua.

15. La presente invención tiene por objeto la simplificación de este sistema de tres circuitos eliminando al mismo tiempo el peligro de la reacción agua-sodio y lograr una central de potencia con un reactor nuclear de neutrones rápidos, económica y eficaz.

20. De acuerdo con la invención, los circuitos intermedios y de turbina son reemplazados por un circuito de CO_2 que comprende una turbina de gas.

La invención consiste en un procedimiento de producción de energía que comprende el establecimiento en un corazón de un reactor nuclear de una reacción en cadena de neutrones rápidos, caracterizado por el paso, a través del corazón, de un metal alcalino líquido como refrigerante para extraer el calor producido por la reacción, el paso del metal líquido así calentado en un sistema de cambiador de calor, el paso de CO_2 gaseoso por el sistema de cambiador de calor para

25.

30.



extraer el calor del metal líquido, la expansión del CO_2 así calentado en una turbina de gas acoplada con un sistema consumidor y el retorno del CO_2 al sistema de cambiador de calor en ciclo cerrado.

5. La invención consiste además en una central nuclear provista de un reactor de neutrones rápidos refrigerado por sodio, caracterizado porque el calor extraído del corazón por el sodio es recuperado en un cambiador de calor por medio del CO_2 que circula en un circuito cerrado que comprende una turbina de gas.
10. Hay que tener en cuenta que el CO_2 no precisa ser puro, sino que puede contener aditivos destinados a reducir la corrosión o a mejorar la transferencia térmica como, por ejemplo el óxido de carbono o grafito.
15. La tecnología actual de los reactores rápidos es tal que la temperatura máxima del refrigerante primario está limitada a 580°C aproximadamente, lo que limita la temperatura máxima del refrigerante secundario a 550°C aproximadamente. Esto es inferior a lo que se considera generalmente como apropiado para una central eficaz con turbina de gas.
20. Sin embargo, a estas temperaturas y a altas presiones, por ejemplo del orden de 100 a 300 ata (atmósferas absolutas), el CO_2 no se comporta como un gas perfecto y puede demostrarse que es posible obtener rendimientos del orden del 35% y más si el gas, una vez dilatado en la turbina, es recomprimido y recalentado en un cambiador de calor de recuperación con ayuda de los gases de escape de la turbina; el CO_2 puede ser dilatado entonces en una turbina auxiliar, por ejemplo una turbina de arrastre del compresor de alta presión.
25. El rendimiento puede ser mejorado aún si una parte
- 30.



del gas, antes de ser elevada totalmente a su presión máxima, es refrigerada a su punto de saturación o a la proximidad del mismo, y si la otra parte es comprimida sin refrigeración, y si el gas refrigerado atraviesa posteriormente todo el lado secundario del cambiador de calor de recuperación, mientras que el gas no refrigerado no atraviesa más que la parte a alta temperatura del lado secundario de este cambiador de calor. Las ventajas de esta mejora son particularmente importantes a presión muy elevada, pudiendo obtenerse rendimientos del orden del 40%.

A presión muy elevada, puede ser deseable utilizar una turbina principal de etapas múltiples con un recalentamiento entre las etapas.

Seguidamente se describirá la invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos que representan, a título de ejemplo, unos modos de ejecución de las centrales nucleares de acuerdo con la invención.

En los dibujos:

La Figura 1 es un diagrama de circulación simple de una central que utiliza una turbina de gas con una sola etapa, y

La Figura 2 es un diagrama de circulación de una central que utiliza una turbina de gas de dos etapas con recalentamiento.

La central de la Figura 1 muestra un reactor de neutrones rápidos que comprende un corazón 1 refrigerado por medio de sodio líquido que circula dentro de un circuito primario 2 con ayuda de una bomba 4. El circuito primario 2 comprende un cambiador de calor 3 en el que el sodio transmite el calor extraído del corazón al CO_2 gaseoso que circula dentro de un circuito secundario 5. El CO_2 calentado suministra su ener-



gía a una turbina de gas 6 que atrastra un generador eléctrico 9. El circuito 5 comprende también un cambiador de calor 7 y un compresor 8 adaptado al ciclo elegido para el CO_2 .

La Figura 1 muestra, identificados con las referencias numerales que citamos a continuación, unos ejemplos de valores de la temperatura (en $^{\circ}\text{C}$) y de presión (en atmósfera absoluta) en diversos puntos. Tales referencias numerales y sus equivalencias son las siguientes:

	<u>Referencias numerales</u>	<u>Valores de temperatura</u>	<u>Valores de presión</u>
10.	101	580 $^{\circ}\text{C}$	-
	102	380 $^{\circ}\text{C}$	-
	103	300 $^{\circ}\text{C}$	100 ata
	104	550 $^{\circ}\text{C}$	97 ata
	105	367 $^{\circ}\text{C}$	20 ata
15.	106	30 $^{\circ}\text{C}$	-
	107	87 $^{\circ}\text{C}$	-

La temperatura más baja del circuito del CO_2 es de 30 $^{\circ}\text{C}$, elevándose esta temperatura a 300 $^{\circ}\text{C}$ en el cambiador de calor 7 antes de que vuelva el CO_2 al cambiador de calor 3.

El cambiador 7 es un recuperador que transfiere el calor de los gases de escape de la turbina 6 al CO_2 a la salida del compresor 8 antes de volver al cambiador 3.

La central de la Figura 1 que funciona con las temperaturas y presiones indicadas tendrá un rendimiento termodinámico del 37,6% aproximadamente y un rendimiento neto del 35,8% aproximadamente.

La temperatura máxima del CO_2 está limitada a 550 $^{\circ}\text{C}$ aproximadamente por la temperatura máxima del refrigerante primario a la salida del reactor, la cual es limitada en la práctica a 580 $^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. No obstante, se pueden obte-



ner rendimientos sensiblemente más elevados trabajando con presiones de CO₂ más elevadas de manera que las calidades efectivas del CO₂ queden aún más distanciadas de las de un gas perfecto.

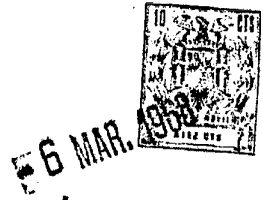
5. La Figura 2 muestra la posibilidad de un ciclo de CO₂ a presión muy elevada que comprende una turbina de gas con dos etapas y recalentamiento entre etapas y separación con condensación parcial del CO₂.

Los valores de temperaturas y de las presiones aparecen en la Figura 2 identificados con las referencias numerales que citamos a continuación, según las equivalencias que también se indican:

	<u>Referencias numerales</u>	<u>Valores de temperatura</u>	<u>Valores de presión</u>
15.	108	580°C	-
	109	430°C	-
	110	550°C	240 ata
	111	540°C	62 ata
	112	-	70 ata
	113	53°C	-
20.	114	150°C	-
	115	30°C	34 ata
	116	482°C	35 ata

En particular, la presión máxima del CO₂ es de 240 ata.

25. El CO₂ calentado que sale del cambiador 3a se expande en una primera etapa de la turbina 6a. Seguidamente es recalentado en una sección 3b del cambiador de calor 3 y nuevamente es dilatado en la segunda etapa de la turbina 6b. Estas etapas de turbina constituyen la turbina principal que arrastra el generador eléctrico 9 y un compresor 13 con dos 30. etapas a baja presión.



El cambiador de calor 7 está constituido por un cambiador de calor de recuperación 10 y unos refrigeradores intermedios 11 y 12; el sistema de compresión 8 está constituido por un compresor 13 de dos etapas a baja presión y un

5. compresor 14 de dos etapas a alta presión, estando arrastrado este último por una turbina de gas auxiliar 15. El CO_2 a baja presión que sale de la etapa 6b de la turbina es refrigerado en el lado primario 18 del cambiador 10 y transmite el calor al CO_2 comprimido que vuelve al cambiador 3 antes de

10. ser comprimido en el compresor 13 a baja presión. La corriente de CO_2 que sale del compresor 13 está dividida en dos ramificaciones 16 y 17. La corriente más fría que ha atravesado el refrigerador intermedio 12 en la ramificación 16 es comprimida en el compresor 14 a alta presión y seguidamente

15. atraviesa totalmente el lado secundario 19 del cambiador de calor 10; la otra corriente de la ramificación 17 es comprimida en el compresor 14 a alta presión y seguidamente atraviesa solamente la parte 20 a alta temperatura del lado secundario del cambiador 10.

20. El CO_2 atraviesa el refrigerador intermedio 12 a una presión de aproximadamente 70 ata y alcanza, por consiguiente, su punto de saturación y se condensa. Se puede esperar que la central representada en la Figura 2 tenga un rendimiento termodinámico de aproximadamente el 43% y un rendimiento

25. neto de aproximadamente el 41%.

Se observará que el empleo del CO_2 como refrigerante secundario y como fluido motor de la turbina suprime totalmente el circuito intermedio de metal líquido del reactor reemplazando al mismo tiempo el circuito convencional agua-

30. vapor por otro que utiliza un material mucho más compacto.



Otra ventaja del procedimiento y de la central de acuerdo con la invención, es eliminar el peligro de reacción sodio-agua y por consiguiente reducir de manera significativa los períodos de puesta fuera de servicio requeridos para
5. eliminar toda la sosa cáustica que pudiera haberse producido por una reacción sodio-agua y extenderse en toda la instalación y para verificar todas las superficies que pudieran así haberse corroído.

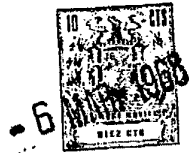
Además, la reacción química del CO_2 con el sodio aunque es exotérmica no resulta peligrosa porque no libera
10. moléculas de gas y toda fuga puede ser fácilmente detectada.

La turbina de gas de CO_2 en ciclo cerrado da unos rendimientos aceptables a pesar de las temperaturas máximas relativamente bajas impuestas por la tecnología actual de
15. los reactores rápidos.

Entre las otras ventajas conviene citar la compacidad del material (en particular la turbina) en comparación con las máquinas correspondientes de vapor o de helio. Esta compacidad conduce a una reducción de las dimensiones de los
20. edificios necesarios así como a ahorros considerables de inversión.

N O T A

La Patente de Invención, que se solicita por veinte años, para España, de acuerdo con la vigente Legislación, deberá recaer sobre:
25. "PROCEDIMIENTO Y CENTRAL NUCLEAR DE PRODUCCION DE ENERGIA", con Prioridad de la demanda de Patente en Gran Bretaña nº 10.471/67, de fecha 6 de Marzo de 1967, según las características esenciales de las siguientes:



REIVINDICACIONES

51. 1ª.- Procedimiento de producción de energía, que comprende el establecimiento en un corazón de un reactor nuclear de una reacción en cadena de neutrones rápidos, caracterizado por el paso a través del corazón de un metal alcalino líquido como refrigerante para extraer el calor producido por la reacción, el paso del metal líquido así calentado por un sistema de cambiador de calor, el paso de CO₂ gaseoso por el sistema de cambiador de calor para extraer el calor del
10. metal líquido, la expansión del CO₂ así calentado en una turbina de gas acoplada con un dispositivo consumidor y el retorno del CO₂ al sistema de cambiador de calor en un circuito cerrado.
15. 2ª.- Procedimiento de producción de energía, según la reivindicación 1ª, caracterizado porque el metal alcalino es el sodio.
20. 3ª.- Procedimiento de producción de energía, según la reivindicación 1ª ó 2ª, caracterizado porque el CO₂ después de su expansión es comprimido por lo menos hasta 100 ata.
25. 4ª.- Procedimiento de producción de energía, según la reivindicación 1ª, 2ª ó 3ª, caracterizado porque el CO₂ dilatado es comprimido y pasa seguidamente a un cambiador de calor de recuperación para cambiar el calor con el CO₂ dilatado procedente de la turbina.
30. 5ª.- Procedimiento de producción de energía, según la reivindicación 4ª, caracterizado porque una parte del CO₂, antes de ser completamente comprimido, es refrigerada hasta el o la proximidad de su punto de saturación y después de la compresión atraviesa todo el lado secundario del cambiador de calor de recuperación y la otra parte del CO₂ atraviesa, des-



pués de la compresión, solamente una parte a elevada temperatura del lado secundario del cambiador de calor de recuperación.

5. 6ª.- Central nuclear de producción de energía, para la utilización del procedimiento descrito en reivindicaciones anteriores, provista de un reactor de neutrones rápidos refrigerado por sodio, caracterizada porque el calor extraído del corazón por medio del sodio es recuperado en un cambiador de calor por el CO_2 que circula en un circuito cerrado que comprende una turbina de gas.

15. 7ª.- Central nuclear de producción de energía, según la reivindicación 6ª, caracterizada porque el circuito secundario comprende un dispositivo para comprimir el CO_2 después de su expansión en la turbina y un cambiador de calor de recuperación destinado a ser atravesado por el CO_2 dilatado y por el CO_2 comprimido para transferir el calor del primero al segundo.

20. 8ª.- Central nuclear de producción de energía, según la reivindicación 7ª, caracterizada porque el CO_2 dilatado que abandona el lado primario del cambiador de calor de recuperación está dividido, teniendo una primera ramificación que comprende en serie un dispositivo de refrigeración del CO_2 hasta el o la proximidad de su punto de saturación, un dispositivo de compresión a alta presión y todo el lado secundario del cambiador de calor de recuperación, y una segunda ramificación que comprende otro sistema de compresión a alta presión y una parte a temperatura más elevada en el lado secundario del cambiador de calor de recuperación.

30. 9ª.- Central nuclear de producción de energía, según la reivindicación 8ª, caracterizada porque se ha previsto un com



presor a baja presión dispuesto en serie entre el lado primario del cambiador de calor de recuperación y el punto de división del circuito del CO₂.

5. 10ª.- Central nuclear de producción de energía, según las reivindicaciones 7ª, 8ª ó 9ª, caracterizada por una turbina auxiliar destinada a ser atravesada por el CO₂ comprimido que sale del cambiador de calor de recuperación.

10. 11ª.- Central nuclear de producción de energía, según las reivindicaciones 6ª á 10ª, caracterizada porque la turbina de gas principal es una turbina de etapas múltiples que tiene una parte del cambiador de calor primario conectada en serie entre las etapas para calentar el CO₂ entre las etapas.

15. 12ª.- PROCEDIMIENTO Y CENTRAL NUCLEAR DE PRODUCCION DE ENERGIA.

Según queda sustancialmente descrito en la presente memoria, que consta de doce hojas, escritas a máquina por una sola cara y dibujos.

Madrid, 6 de Marzo de 1968

SOCIÉTÉ BELGE POUR L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE, S.A.
"BELGONUCLÉAIRE"

P. FRANCISCO GARCIA CABRERIZO

P. P.

Firmado: M.ª Dolores Jerquera



6 MAR 1968

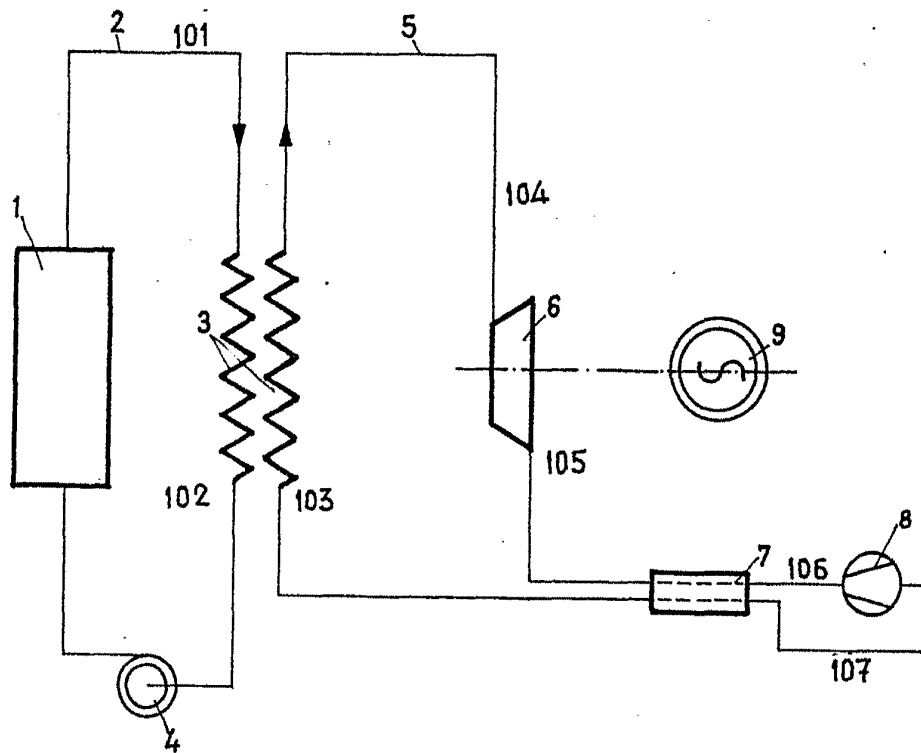


FIG. 1

Madrid, 6 MAR. 1968

SOCIETE BELGE POUR L'INDUSTRIE NUCLEAIRE, S.A.
"BELGONUCLEAIRE"

P. FRANCISCO GARCIA CABRERIZO

E. P.

Escala variable

6 MAR 1968

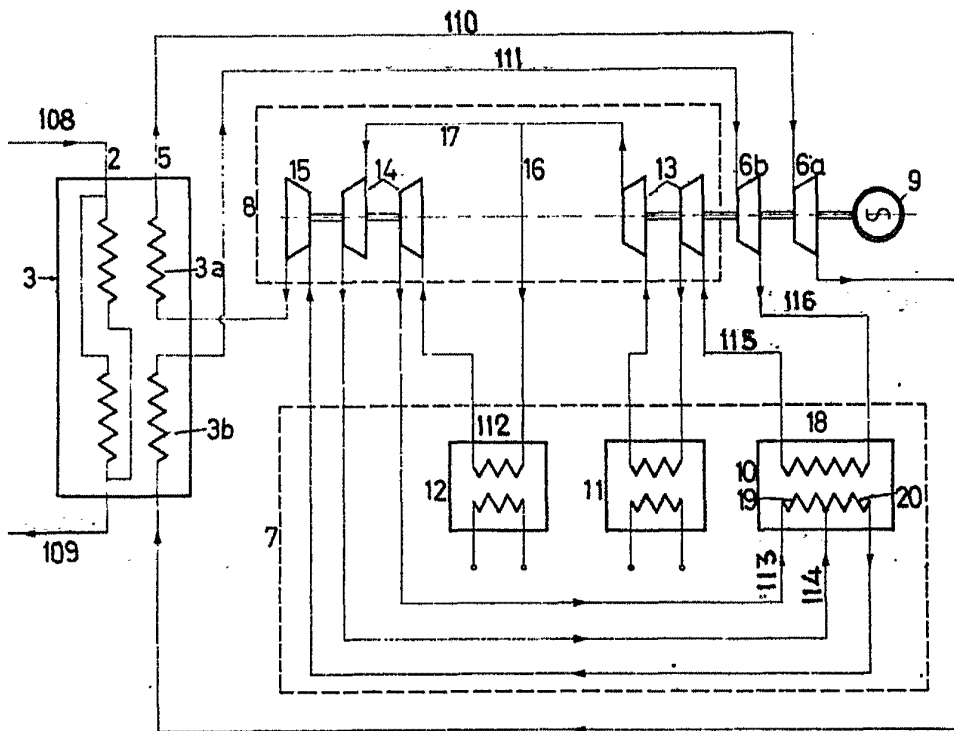


FIG. 2

Madrid, - 6 MAR. 1968

SOCIETE BELGE POUR L'INDUSTRIE NUCLEAIRE, S.A.
"BELGONUCLEAIRE"

P. P. FRANCISCO GARCIA CABREIZO
P. P.

Remada: M.ª Dolores Jorquera

Escala variable