

351029

P - 37.747

B 3083-2730
(Div.) EGS(WMP)

Memoria descriptiva

28 FEB 1969

28 FEB



para solicitar PATENTE DE INVENCION

por 20 años

a nombre de COMBUSTION ENGINEERING-SUPERHEATER LTD.

entidad / ~~de~~nacionalidad canadiense

con domicilio en 2015 Peel Street, Montreal, Quebec, Canadá

por: "UNA INSTALACION PARA PRODUCIR ENERGIA DE VAPOR DE AGUA" (Clase Internacional F 01k G 21d)



Esta invención se refiere a instalaciones de energía de vapor de agua nucleares y en particular a un aparato para obtener y usar vapor recalentado en dichas instalaciones de energía.

5 Debido a las limitaciones características meta-
lúrgicas y del combustible nuclear, la mayor parte de los
sistemas de reactores nucleares actuales están produciendo
vapor saturado de baja presión o baja temperatura. Sin em-
bargo, como es bien conocido, la eficiencia del ciclo de
10 la instalación de energía tiende a ser relativamente baja
cuando se utiliza un ciclo de vapor saturado. La turbina
de vapor en sí es algo menos eficiente debido a la expan-
sión que tiene lugar en la zona saturada, y la erosión
puede llegar a ser un problema debido a la formación de
15 agua en las paletas de la turbina. También son necesarios
separadores de agua externos situados entre los cilindros
de alta y baja presión, y algunas veces es necesario el
recalentamiento del vapor a presión con el fin de mante-
ner las paletas de evacuación fuera de una zona de hume-
20 dad demasiado alta. Con objeto de obtener una gran produc-
ción eléctrica, el flujo de vapor en el ciclo de vapor sa-
turado debe ser aumentado sustancialmente, dando por re-
sultado turbinas que son físicamente muy grandes, tendien-
do a ser la limitación de capacidad el tamaño de la turbi-
25 na. Paradójicamente, los reactores nucleares sólo se jus-
tifican económicamente para unidades muy grandes.

Ya que la mayor parte de estos problemas pueden
ser evitados por el uso de vapor recalentado, se han uti-
lizado recalentadores calentados separadamente, quemando
30 combustibles fósiles. Haciendo ésto, se disminuye el ré-

27.2.68



5

gimen calorífico del ciclo, y se consigue un incremento apreciable en la producción eléctrica de la turbina para el mismo flujo de vapor. Por ejemplo, la Estación de Indian Point, que fué prevista para funcionar a 23,1 Kgs por cm^2 y $226,7^{\circ}\text{C}$ de temperatura de vapor saturado, utiliza un recalentador calentado a petróleo para calentar el vapor a $537,8^{\circ}\text{C}$ mejorando ésto el régimen calorífico del ciclo en aproximadamente el 17 por ciento.

10

15

20

25

El diseño de un recalentador calentado separadamente con su hogar enfriado a vapor es siempre un problema muy difícil, debido a la elevada temperatura del metal del hogar. En tal unidad, el calor debe ser transmitido desde el hogar a través de la película de gas del exterior de los tubos, a través del tubo mismo, y a través de la película de vapor en el interior del tubo, hasta el propio vapor que es conducido a través de la misma para ser calentado. La temperatura del metal del tubo está por encima de la del vapor que es calentado en relación directa con el coeficiente de transferencia calorífica de la película de vapor interna. Ya que este coeficiente de transferencia calorífica es más pobre para el vapor que para el agua, las temperaturas del metal experimentadas en los tubos del hogar son sustancialmente más altas en un recalentador calentado separadamente que lo que serían en un hogar enfriado por agua de un generador de vapor convencional.

30

Ya que generalmente la presión del vapor que sale del generador de vapor nuclear es relativamente baja, la eficiencia del ciclo de vapor dicta una caída de presión del recalentador baja. Una caída de presión aumentada a



través del recalentador significaría o bien elevar la presión del generador de vapor nuclear (que está limitada por características metalúrgicas o del combustible nuclear) o disminuir la presión de la turbina, lo que tendría por resultado una inferior eficiencia térmica de la turbina y general. La baja presión y baja caída de presión asignadas al recalentador calentado separadamente, agravan la condición de elevada temperatura del metal. La baja caída de presión disponible necesita una reducción en los caudales máxicos de diseño a través de los tubos del circuito, que a su vez rebaja el coeficiente de transferencia calorífica. Además para cualquier caudal dado, el coeficiente de transferencia calorífica es pobre para el vapor de baja presión.

Por lo tanto, el diseño en el que vapor de baja presión debe ser calentado en un recalentador calentado separadamente que debe ser diseñado para caída de presión baja, es un problema extremadamente difícil. Esto requiere hogares relativamente grandes de forma que el régimen de absorción a través de los tubos pueda ser mantenido en valores bajos, y el uso extensivo de aceros de alto contenido de aleación. El requerimiento de baja caída de presión, combinado con el elevado volumen específico del vapor de baja presión, necesita el empleo de tubos de gran diámetro, que inherentemente requieren gruesos de paredes aumentados, lo que a su vez aumenta más la temperatura del metal. Las velocidades relativamente bajas que resultan de la multitud de circuitos paralelos, con objeto de cumplir con los requerimientos de baja caída de presión, hace muy dudosa una distribución uniforme del vapor



5 a través de los tubos a lo largo de la periferia del ho-
 gar. Cualquier mala distribución del flujo de vapor con
 que se tropiece, se refleja en mayores desequilibrios de
 temperatura y elevadas temperaturas locales del metal,
 que aumentan aún más los requerimientos de diseño de la
 temperatura del metal. A este respecto, se encuentran al-
 gunas veces condiciones de diseño que exceden los límites
 de los materiales actuales, bien desde el punto de vista
 de esfuerzo admisible, límites de oxidación del metal, o
 10 de corrosión a alta temperatura.

Un recalentador calentado separadamente en con-
 15 junción con algunos de los tipos de reactores, también en-
 cuentra dificultades respecto a las temperaturas de fun-
 cionamiento del metal durante el arranque del sistema.
 Cuando el vapor, a bajos caudales es pasado a través de
 los tubos, el bajo flujo tiene como resultado un coefi-
 ciente de transferencia calorífica muy bajo. Esto hace im-
 posible calentar la unidad con seguridad sin exceder tem-
 peraturas admisibles del metal, ya que los tubos están si-
 20 tuados en la zona de los quemadores de la unidad. Por lo
 tanto se instalan grandes sistemas de derivación de tur-
 binas, de manera que las turbinas diseñadas para tomar va-
 por recalentado pueden ser derivadas hasta que se obtiene
 un caudal suficiente en el recalentador calentado separa-
 25 damente para permitir calentarlo, con objeto de elevar la
 temperatura del vapor por encima de la saturación.

La aplicación de la recirculación de gas a un
 recalentador calentado separadamente tendrá el efecto de
 bajar en cierta medida los regímenes de adsorción calorí-
 30 fica del hogar. Ya que no hay superficie de absorción ca-



28

5

10

15

20

25

30

lorífica de baja temperatura en un recalentador calentado separadamente, el gas que es recirculado al hogar está a temperatura relativamente alta. También la recirculación del gas tiene el efecto de aumentar más la temperatura del gas que sale de la superficie del recalentador, y en consecuencia la del que es reintroducido en el hogar. Aplicando solamente la recirculación de gas a un recalentador calentado separadamente no se evitan por lo tanto satisfactoriamente los problemas de temperatura del metal descritos en los párrafos anteriores.

Los reactores nucleares al funcionar forman gas xenón que es un veneno. Durante el funcionamiento a toda potencia este gas es quemado a un régimen que lo mantiene a un nivel tolerable, mientras que a carga reducida se forman excesivas cantidades del gas. En consecuencia, cuando el reactor ha estado funcionando a muy poca carga o ha sido parado recientemente, se requiere un exceso considerable de reactividad con el fin de superar el efecto venenoso del gas xenon. Cuando se utilizan reactores con baja reactividad, particularmente los que utilizan uranio natural, hay insuficiente reactividad para superar el envenenamiento, y la unidad no puede ser arrancada de nuevo después de la parada hasta que el gas decaiga suficientemente, lo que toma de 36 a 48 horas aproximadamente.

Incluso reactores que tienen inicialmente una reactividad de exceso elevada experimentan agotamiento del combustible durante el funcionamiento. Por lo tanto, estos reactores, hacia el final de la vida del combustible tienen los mismos problemas que los reactores que están diseñados inicialmente para una reactividad de exceso



baja y no pueden fácilmente funcionar a poca carga o ser arrancados de nuevo.

5 Los reactores como los que emplean uranio natural, que tienen una reactividad de exceso baja, incluso equipados de barras de combustible reforzadoras, no pueden funcionar por debajo del 70 al 80 por ciento durante un largo período de tiempo sin que el envenenamiento por xenón obligue a una parada. En consecuencia, se emplea una derivación de turbina de gran capacidad que permite
10 al reactor continuar funcionando a todo régimen si la carga eléctrica de la instalación es cortada o reducida temporalmente. Es obvio que el equipo de conducción y de enfriamiento requerido para tal derivación de gran capacidad es bastante caro.

15 Cuando un tal reactor es utilizado para generar vapor en conjunción con recalentador calentado por combustible fósil, un fallo de recalentador o de cualquier otro componente requiere parar la instalación completa hasta por 48 horas, sin disponer de capacidad de generar vapor.

20 Se ve también que con una limitación en el funcionamiento con carga reducida del reactor, la instalación nuclear es más adecuada para una carga base, y no es práctica para una carga variable o funcionamiento a máxima potencia. Cuando la instalación nuclear se utiliza en
25 un sistema que genera la mayor parte de su electricidad por energía de bajo coste, tales como las instalaciones hidráulicas, es deseable por razones económicas, dar la carga base a la fracción hidráulica, y dar todas la variaciones de carga al reactor nuclear o unidades térmicas.
30 Debido a las limitaciones antes mencionadas con poca car-



ga, algunos de los reactores nucleares están escasamente adaptados a esta carga variable.

Se ha visto que una instalación nuclear tiene un elevado coste de capital, pero un coste de combustible relativamente bajo comparada con unidades de combustible fósil. Cuando se requiere que la instalación nuclear admita variaciones de carga, lo que significa esencialmente que es una unidad del tipo de máxima potencia, el uso de una instalación nuclear sería particularmente poco económico.

Las instalaciones nucleares son desventajosas actualmente debido al tiempo relativamente largo de construcción comparadas con una instalación de combustible fósil. Durante este tiempo, no se dispone en absoluto de energía eléctrica de la instalación.

Un objeto de esta invención es proporcionar una instalación mejorada de energía de vapor nuclear empleando vapor recalentado.

Otro objeto es proporcionar una instalación de energía que producirá energía a menor coste por kilowatio hora.

Otro objeto es proporcionar un diseño de recalentador barato que tiene una baja caída de presión y temperaturas del metal seguras.

De acuerdo con la invención, se crea una instalación de energía de vapor que incluye una unidad generadora de vapor calentada por combustible fósil que tiene un hogar que incluye una zona de quemadores y que tiene tubos enfriados por agua cubriendo las paredes de dicho hogar, y un tubo de gases para conducir los productos de la combustión fuera de dicha zona de quemadores, y que incluye



28

una máquina motriz que consume vapor, caracterizada por un medio generador de vapor de baja temperatura nuclear, asociado con la citada unidad generadora de vapor incluyendo el mencionado medio generador de vapor una superficie de recalentamiento de vapor nuclear situada en dicha unidad, por ejemplo, en dicho tubo de gases alejado de la mencionada zona de quemadores, estando previstos medios de conducción para conducir el vapor desde dicho medio generador de vapor nuclear a dicha superficie de recalentamiento de vapor nuclear, y medios de conducción para conducir el vapor desde la citada superficie de recalentamiento de vapor nuclear a la mencionada máquina motriz.

Con el fin de que la invención sea comprendida, se describirá ahora con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 muestra una aplicación de la invención a un ciclo que emplea dos turbinas separadas;

la figura 2 es un diagrama de Mollier en el cual están indicadas las condiciones del vapor a través de la turbina de vapor de ciclo nuclear en diversas condiciones de carga;

la figura 3 es una aplicación de la invención usando un generador de vapor de un sólo paso y en el cual el sistema de derivación para el generador de vapor de un sólo paso está integrado con el sistema de derivación de la turbina del ciclo nuclear;

la figura 4 es una aplicación de la invención a un sistema en el cual los generadores del sistema nuclear y de combustible fósil funcionan en paralelo sobre una sola turbina;



5

la figura 5 es una realización de la invención en la cual la unidad de combustible fósil funciona sobre las secciones de alta y baja presión de la turbina, mientras que la sección de presión más baja funciona también desde la unidad de vapor nuclear; y

la figura 6 muestra una realización de la invención en la cual se emplea un generador de vapor calentado por combustible fósil de doble hogar.

10

De acuerdo con la invención, un reactor nuclear que genera vapor saturado o de baja temperatura, se combina con un generador de vapor calentado por combustible fósil, de forma que el vapor generado por el reactor nuclear es recalentado en un recalentador situado en el generador de vapor calentado por combustible fósil. Este vapor es -

15

entonces conducido desde este recalentador a una turbina de vapor que funciona sobre el ciclo de vapor recalentado. Este recalentador está situado en el generador de vapor ca-

20

lentado por combustible fósil, en una posición alejada de la zona de quemadores, rodeando esta zona los tubos generadores de vapor del generador de vapor calentado por com-

25

combustible fósil. En general, cualquiera de estos generadores puede ser hecho funcionar independiente del otro. Como consecuencia, cuando el reactor nuclear está funcionando, con el generador de vapor calentado por combustible fósil fuera de servicio, se suministra a la turbina vapor saturado. En este caso está previsto derivar la turbina de alta presión, evitando con esto una humedad excesiva en las paletas de la turbina.

30

Refiriéndose a la Figura 1, el fluido primario es circulado a través del reactor 2, por medio de una bomba



de circulación 3. El cambiador de calor 4 funciona para generar vapor esencialmente saturado que pasa a través - de la tubería de vapor 5.

5 Este vapor es conducido a través del recalenta-
dor de vapor nuclear 7 y desde allí, a través de la tube-
ría de vapor 8 a la válvula de control de mariposa de la
turbina 9. El vapor pasa después en serie a través de las
diferentes secciones de la turbina de vapor, incluyendo -
la sección de alta presión 10, la sección de presión inter-
10 media 12, y las secciones de baja presión 13, hasta el con-
densador 14. Estas secciones de la turbina están conecta-
das directamente al generador eléctrico 15. El condensado
es entonces devuelto al generador de vapor nuclear o cam-
biador de calor 4 por la bomba de agua de alimentación 17,
15 pasando el agua a través de los calentadores de agua de -
alimentación 18 y el economizador nuclear 19.

El recalentador nuclear 7 y el economizador nu-
clear 19 están situados en el flujo de gas del generador
de vapor calentado por combustible fósil 22. Este genera-
20 dor de vapor funciona en un ciclo independiente del genera-
dor de vapor nuclear con vapor saturado que pasa desde el
colector de vapor 23 a través del recalentador de baja -
temperatura 24 y el recalentador de alta temperatura 25.
Este vapor pasa entonces a través de la válvula de maripo-
25 sa 27 que controla el flujo a través de la sección de alta
presión 28 y secciones de baja presión 29 de una turbina -
de vapor separada que acciona el generador eléctrico 30.
El vapor es condensado en el condensador 32, y pasado a -
través de los calentadores de agua de alimentación 33 y -
30 bomba de agua de alimentación 34 al generador de vapor 22.



Antes de entrar en el colector, el agua de alimentación -
pasa a través del economizador 35.

5 El agua es recirculada en el interior del gene-
rador de vapor por la bomba de circulación 37, pasando el
agua hacia abajo a través del tubo de bajada 38 hasta un
colector de alimentación 39, y de aquí hacia arriba a tra-
vés de los tubos 40 que cubren las paredes del hogar. La
mezcla de vapor y agua así formada es pasada a través del
colector de salida 42 y conducida al colector de vapor 23,
10 donde son separados el vapor y el agua, pasando el agua a
través del tubo de bajada 38 y continuando el vapor hasta
el recalentador 24.

15 Un combustible fósil tal como el petróleo es que-
mado por medio de quemadores 43, alimentados con el fuel-
oil. El aire de combustión es suministrado al quemador a
través de la caja de aire 44. Los gases formados por la -
combustión del petróleo en el hogar 45 pasan hacia arriba
a través del hogar sobre el recalentador de alta tempera-
tura 25, y después pasan a través de dos tubos de gases -
20 independientes. Uno de estos tubos de gases contiene el
recalentador de baja temperatura 24 en situación corrien-
te arriba y el economizador 35 en situación corriente aba-
jo. El segundo tubo de gases contiene el recalentador de
vapor nuclear 7 en una situación corriente arriba y el eco-
25 nomizador nuclear 19 en una situación corriente abajo. En
este mismo paso de gas hay situados unos reguladores de -
tiro 46 que pueden ser accionados para restringir el flujo
de gas a través del tubo de gases 47 que contiene la super-
ficie recalentadora de vapor nuclear 7. El gas de los tu-
30 bos de gases se combina y pasa a la salida a través del -



5 tubo de gases 48. Este tubo de gases contiene un calentador de aire, no representado, que funciona para calentar previamente el aire comburente que entra en la caja de - aire 44, y reduce la temperatura del gas del tubo de gases de salida a niveles económicos.

10 Corriente abajo del economizador nuclear 19 en el tubo de gases 47, el conducto de toma de gas de recirculación 49 funciona por medio de un ventilador de recirculación de gas 50, para recircular gases de combustión - enfriados nuevamente al hogar. El funcionamiento de este - ventilador de recirculación de gas aumenta el flujo de gas que pasa sobre las superficies de calentamiento del vapor nuclear en el interior del tubo de gases 47 de forma que - sea efectivo para aumentar el calor absorbido y como consecuencia, la temperatura del vapor nuclear. El transmisor de temperatura 83 aprecia la temperatura del vapor que sale del recalentador nuclear 7, a través de la tubería 8, y transmite una señal de control al controlador 84. Este controlador acciona los reguladores de tiro 46 en respuesta a la temperatura del vapor, y cuando los reguladores de tiro alcanzan una posición extrema, una señal de control pasa al controlador 85, el cual actúa para variar la velocidad del ventilador de recirculación de gas 50 en respuesta a la temperatura de vapor. Puede seleccionarse cualquier - 15 abertura deseada de los reguladores de tiro 46, como el - máximo de completamente abiertos a completamente cerrados. Si los reguladores de tiro se mantienen completamente cerrados, todo el control de temperatura del vapor es por medio del ventilador de recirculación de gas 50.

30 Durante el funcionamiento normal del ciclo de -



vapor nuclear, se suministra vapor recalentado a la sección de alta presión 10 de la turbina de vapor nuclear. Esto es efectuado por el uso del recalentador de vapor nuclear 7, que está situado en el interior del generador de vapor 22, en un lugar alejado de la zona de elevado desprendimiento de calor o combustión en el hogar 45. Esta zona de combustión está situada en una zona rodeada por los tubos generadores de vapor enfriados por agua 40, que están bien adaptados para funcionar con seguridad con los regímenes de absorción calorífica que se encuentra en tales zonas de temperatura elevada. El uso de tales tubos generadores de vapor hace posible usar regímenes de desprendimiento de calor muy elevados en el hogar 45, con una consiguiente reducción en el tamaño del hogar para el combustible quemado. Ya que el recalentador nuclear 7 está situado alejado de la zona de combustión, no encuentra los elevados regímenes de absorción calorífica que se hallan en un recalentador calentado separadamente o los del interior del hogar de este generador de vapor. Por consiguiente, el recalentador nuclear 7 puede ser diseñado con velocidades bajas y baja caída de presión sin temor de enfriamiento insuficiente de los tubos del recalentador nuclear.

El recalentador de vapor nuclear 7 es sustancialmente menos caro de construir que un recalentador calentado comparable. Sin embargo, ya que este ciclo de vapor nuclear funciona con vapor recalentado, consigue la alta eficiencia de un ciclo de vapor recalentado. Al mismo tiempo, se genera vapor adicional en el generador de vapor 22 y se generan kilowattios adicionales en el generador eléctrico -



Las instalaciones de energía nuclear tienen un elevado coste de capital y un bajo coste de combustible, mientras que una instalación de combustible fósil tiene un coste de capital relativamente bajo, con un elevado coste de combustible. El coste total de la producción de energía es una función del valor capitalizado de la inversión, - combustible y gastos de funcionamiento.

En este sistema combinado, el coste de un ciclo nuclear recalentado está reducido sustancialmente debido al coste significadamente inferior del recalentador nuclear, mientras que el coste del generador de vapor calentado por combustible fósil 22 se aumenta solo nominalmente debido a la adición de más equipo quemador de combustible y a la adición del tubo de gases 47. Combinando de esta manera - los dos sistemas, donde el generador de vapor calentado - por combustible fósil 22 es usado para obtener todas las ventajas del diseño de hogar ideal, mientras que el recalentador nuclear 7 efectúa el recalentamiento del vapor - nuclear por medio de un recalentador de baja caída de presión de bajo coste, se obtiene un sistema que es menos caro sobre la base capitalizada que cualquier sistema por - separado. También el coste de la producción de energía es menor, bajo las condiciones económicas usuales.

El sistema nuclear o el de combustible fósil puede hacerse funcionar solo, independiente del otro. Si se desea hacer funcionar el generador de vapor 22 solo, los reguladores de tiro 46 se cierran, evitando el flujo de - gas a través del tubo de gas 47 efectuándose toda la generación en el generador eléctrico 30. Alternativamente, puede hacerse funcionar el reactor 2 con el generador de va-



28

por 22 parado. En este caso, sin embargo, no habría recalentamiento en el vapor que sale del recalentador nuclear 7 y en consecuencia se suministraría vapor saturado a la turbina 10. Con el fin de evitar condiciones de humedad elevada en las paletas de evacuación de la sección de alta -
5 presión de la turbina 10, se ha incorporado una tubería de derivación de turbina de alta presión 51, incluyendo una válvula de derivación 52, para derivar la turbina de alta presión.

10 La función de esta derivación en relación con la condición del vapor en las turbinas de alta y baja presión se muestra mejor con referencia al diagrama de Mollier de la Figura 2. En condiciones normales de funcionamiento a plena carga, es generado vapor saturado a 38,6 kgs. por -
15 cm^2 por el generador de vapor nuclear 4 siendo por lo tanto las condiciones del vapor las indicadas por el punto 53. Pasa a través del recalentador nuclear, siendo recalentado a lo largo de la línea 54 hasta una temperatura de 537,8° C según se indica por el punto 55. El vapor se
20 expandiona a lo largo de 56 siendo la condición a la salida de la turbina de alta presión 10 la designada por el punto 57. El vapor continúa expansionándose a través de las turbina de presión intermedia y baja a lo largo de la línea 58, alcanzando la presión del condensador de 25,4
25 mm de mercurio en el punto 59.

Si la turbina está funcionando con solo recalentamiento parcial de aproximadamente 393,3° C según se indica por el punto 60, la expansión se produce a lo largo de la línea 61 a través de la turbina de alta presión, siendo
30 las condiciones del vapor que sale de la turbina de alta



26 F

5 presión las indicadas por el punto 62. El vapor se expansiona a lo largo de la línea 63, a través de las turbinas de presión intermedia y baja, alcanzando el condensador - en las condiciones del vapor indicadas por el punto 64. En estas condiciones, deberá hacerse notar que no se produce humedad en la turbina de alta presión, aunque se forma humedad en la turbina de presión intermedia y baja; sin embargo, la humedad en las últimas paletas de baja presión no excederá del 12 por ciento, evitando así excesivos problemas de erosión por agua.

10

Sin embargo, cuando el recalentamiento cae por debajo de una cifra determinada, siendo la situación extrema el caso en el cual el generador de vapor térmico está fuera de servicio se forma humedad en la turbina de alta - presión y se forma una humedad considerable en las turbinas de presión intermedia y baja. Por ejemplo, suponiendo que el generador de vapor térmico está fuera de servicio, el vapor suministrado a la turbina está en una condición que se muestra por el punto 53. La caída de presión por estrangulación de la turbina reduce la presión del vapor, de forma que el vapor entra en la turbina de alta presión en la condición que se muestra por el punto 65. El vapor que se expansiona a través de la turbina de alta presión a lo largo de la línea 66, sale de esta turbina en las condiciones del vapor indicadas por el punto 67, que muestra el 5 por ciento aproximadamente de humedad. La expansión continuada a través de las turbinas de presión intermedia y baja - tiene lugar a lo largo de la línea 68, alcanzando el vapor la turbina de baja presión en una condición como la indicada por el punto 69, que contiene el orden del 16 por ciento

15

20

25

30



de humedad. En consecuencia, puede verse que existe humedad en la turbina de alta presión, la cual no está diseñada normalmente para aceptar tales condiciones del vapor, con los consiguientes problemas de erosión de paletas. La humedad que sale de la turbina de baja presión excede sustancialmente la cifra aceptada del 12 por ciento, produciendo por lo tanto una seria erosión de paletas en la turbina de baja presión.

Para evitar tales dificultades, la turbina de alta presión está derivada a través de la tubería 51 y la válvula 52, de forma que el vapor pasa estrangulado del punto 53 al punto 70. Vapor en esta condición entra en la turbina de presión intermedia expansionándose a través de las turbinas de presión intermedia y baja a lo largo de la línea 71, saliendo de la turbina de baja presión con las condiciones de vapor según se muestran por el punto 72. Ya que la turbina de alta presión es derivada por completo, evidentemente no hay problema de humedad en las paletas de esa turbina, mientras que la humedad que sale de la turbina de baja presión es ahora menor que el 12 por ciento, evitando por lo tanto una erosión excesiva de las paletas próximas al punto de salida. Más aún, la eficiencia de la turbina se mantendrá más en la línea de su cifra de diseño, ya que los cilindros de presión intermedia y baja están mejor adaptados para hacer frente a las condiciones de vapor que se producen a lo largo de la línea de expansión. Aunque el problema de la humedad hay que tomarlo en consideración a una temperatura de entrada de aproximadamente 371,1° C, el control puede ser basado ventajosamente en la condición del vapor que sale de la turbina de alta presión. En



consecuencia, las condiciones del vapor son apreciadas a la salida de la sección de turbina de alta presión 10, y la válvula de derivación 52 está regulada para responder a estas. En consecuencia, se evitan los problemas causados por la humedad en las secciones de turbina de alta y baja presión.

El transmisor de temperatura 87 y el transmisor de presión 88 están situados de forma que aprecien la temperatura y presión del vapor que sale de la sección de turbina de alta presión 10. Son enviadas señales de control desde los transmisores al controlador 89, que acciona las válvulas 52 y 9 de acuerdo con las condiciones del vapor que sale de la sección de la turbina de alta presión para evitar humedad en este lugar. Como se ha indicado en el estudio de la Figura 2, se conocerá generalmente de los cálculos de diseño o funcionamiento de pruebas, qué temperatura de entrada de la turbina corresponderá a qué condiciones de salida de la sección de turbina en diferentes condiciones de funcionamiento. Sería posible por lo tanto regular las válvulas 52 y 9 de acuerdo con la temperatura de entrada, si se desea,

Debido a los problemas de arrancar de nuevo un reactor después de haberlo parado, a causa del envenenamiento por xenón, se incluyen frecuentemente en torno de la turbina derivaciones de capacidad total. Haciendo referencia otra vez a la Figura 1, la derivación de la turbina 81 incluyendo la válvula de derivación de turbina 82, deriva el flujo completo de vapor alrededor de las secciones de turbina 10, 12 y 13 hasta el condensador 14. En caso de que la instalación esté funcionando a plena capacidad,

28 FEB 1968



5 con el generador de vapor 22 y el reactor 2 funcionando a la máxima carga, y se pierda la carga eléctrica, ambos generadores deben ser parados. El suministro de combustible al generador de vapor de combustible fósil puede cortarse también. En este punto el reactor está funcionando a toda salida de vapor, pero con vapor saturado pasando a través de la tubería de vapor 8, en vez de vapor recalentado. En consecuencia, la tubería de derivación 31 y la capacidad de condensación del condensador 14 deben tener una magnitud tal que admitan solamente la cantidad de vapor que está produciendo el generador de vapor nuclear 4 en condiciones de saturación, y es por lo tanto, una derivación muy pequeña comparada con el tamaño total de la instalación.

15 Con este ciclo combinado, la mayor parte, si no toda la variación de carga se toma sobre la unidad de combustible fósil. El reactor 2 que tiene un bajo coste de combustible está cargado básicamente a su máxima potencia, mientras que la cantidad de combustible fósil que pasa a través del quemador 44 se regula para cubrir los requerimientos generales del sistema. Durante este funcionamiento la temperatura del vapor que sale del recalentador nuclear 7 es regulada por la manipulación de los reguladores de flujo de gas 45 en respuesta a la temperatura del vapor que sale del recalentador nuclear 7, poniéndose en función el ventilador de recirculación de gas 49 si hubiera insuficiente control por medio de los reguladores de flujo de gas. Es obvio que pueden incorporarse otros medios de control de recalentamiento, tales como quemadores inclinables y atemperación del vapor.

27.2.68

28



La temperatura del gas que entra en el recalentador nuclear 7 es sustancialmente más baja que la temperatura de los gases que salen del hogar 45, ya que los gases pasan sobre el recalentador de alta temperatura 25.

5 Esta situación del recalentador nuclear, corriente abajo de una superficie de recalentamiento tal como 25, es ventajosa, ya que la baja temperatura del gas permite el uso de materiales de aleación baja en el recalentador nuclear.

10 Más aún, la posición del economizador nuclear 19 corriente arriba del conducto de toma de recirculación de gas 49 es efectiva para reducir la temperatura de los gases que están siendo recirculados, disminuyendo por lo tanto la posibilidad de que el ventilador de recirculación 50 deba ser de un material de alta aleación. El recalentador nuclear 7 está en relación de flujo paralelo con respecto

15 al flujo de gas con el economizador 35 y el recalentador de baja temperatura 24. Cuando el gas es pasado sobre el recalentador nuclear para obtener recalentamiento, esto reduce el flujo de gas sobre el economizador 35 y el recalentador de baja temperatura 24. La reducción en la absorción calorífica que resulta en el economizador 35 disminuye la temperatura del agua de alimentación suministrada al colector y en consecuencia, disminuye la salida del generador de vapor 22, mientras que la disminución de absorción calorífica del recalentador 24 trabajando en

20 conjunción con la salida de vapor reducida, tiende a estabilizar la temperatura del vapor recalentado que sale del generador de vapor 22.

25

Alternativamente, los reguladores de tiro 45 pueden ser mantenidos en la posición cerrada todo el tiempo,

30



o puede colocarse una pared sólida en la posición del regulador, de forma que el flujo de gas sobre el recalentador nuclear se obtiene sólo cuando el ventilador de recirculación de gas está funcionando. Con tal paso sin salida, la temperatura del vapor que sale del recalentador nuclear 7 es regulada accionando el ventilador de recirculación de gas 49 en respuesta a la temperatura del vapor en la tubería de vapor 8.

Este sistema de instalación de energía puede ser puesto en marcha de varias maneras, dependiendo de las condiciones existentes. Cuando la turbina de vapor ha sido parada recientemente y está caliente, es deseable arrancar de nuevo con vapor caliente. Para tal arranque, se encendería primero la unidad 22 calentada por combustible fósil. Cuando hay disponibles gases calientes de combustión que pueden ser pasados sobre el recalentador nuclear 7, puede arrancarse el reactor 2 pasando vapor desde el generador de vapor nuclear 4, a través del recalentador 7, a la sección de turbina 10, efectuando por lo tanto el arranque con vapor recalentado.

La turbina que acciona al generador 15 puede ser arrancada inicialmente con vapor saturado del generador de vapor nuclear 4, si se desea. En tal operación, el reactor nuclear 2 se arrancaría con el vapor que pasa a través del recalentador nuclear 7, pero sin recoger calor y siendo después conducido a la turbina. La sección de alta presión 10 de la turbina sería derivada por medio de la tubería de derivación 51 en este momento. Más tarde, cuando se enciende el generador de vapor calentado por combustible fósil 22, y hay disponible vapor recalentado en la



26 F

tubería de vapor 8, se abre la válvula 9, mientras que se cierra la válvula 52, por lo que el vapor pasa a través de la turbina de alta presión.

5

La realización de la figura 3 comprende dos ciclos independientes en una forma similar a la realización de la figura 1. El fluido primario es circulado a través del reactor 302 por medio de una bomba de circulación 303. El cambiador de calor 304 actúa para generar vapor esencialmente saturado que pasa a través de la tubería de vapor 305.

10

El vapor es conducido a través del recalentador nuclear 307, y de aquí a través de la tubería de vapor 308 a la válvula de mariposa de control de la turbina 309. El vapor pasa después en serie a través de las diferentes secciones de la turbina de vapor, incluyendo la sección de alta presión 310, la sección de presión intermedia 312, y la sección de baja presión 313, hasta el condensador 314. Estas secciones de la turbina están conectadas directamente al generador eléctrico 315. El condensado es entonces devuelto al generador de vapor nuclear o cambiador de calor 304 por la bomba de agua de alimentación 317, pasando el agua a través de los calentadores de agua de alimentación 318 y el economizador nuclear 319.

15

20

25

30

El recalentador nuclear 307 y el economizador nuclear 309 están situados en la parte de flujo de gas del generador de vapor del tipo de un sólo paso calentado por combustible fósil 322. Este generador de vapor funciona en un ciclo independiente del generador de vapor nuclear, con el vapor pasando desde el colector de salida de la pared del hogar 323, a través del recalentador de baja tempera-



5 tura 324 y del recalentador de alta temperatura 325. El vapor pasa después a través de la válvula de mariposa 327, que controla el flujo de vapor de la turbina. El vapor continúa en serie a través de la turbina de superpresión 326, el recalentador 331, la sección de turbina de presión intermedia 328 y la sección de turbina de baja presión 329. Las turbinas están conectadas directamente para accionar el generador eléctrico 330. El vapor es condensado en el condensador 332, pasando a través de los calentadores de agua de alimentación 333 y bomba de agua de alimentación 334 hasta el generador de vapor 322.

10 El agua, al entrar en el generador de vapor pasa primero a través del economizador 335, y después al colector de alimentación 339, del cual pasa a través de los tubos 340 que cubren las paredes del hogar 345.

15 Combustible fósil, tal como petróleo, es quemado por medio del quemador 343, que es alimentado con fuel-oil y aire comburente. Los gases formados por la combustión del petróleo en el hogar 345 pasan hacia arriba a través del hogar que se divide en dos tubos de gases independientes. Uno de estos tubos de gases contiene el recalentador de alta temperatura 325 y recalentador 331, mientras que el segundo tubo de gases contiene el recalentador de vapor nuclear 307. Unos reguladores de flujo de gas 353 y 346 están situados en los respectivos conductos para controlar el flujo de gas que pasa por los mismos. El gas de los tubos de gases se combina y pasa a la salida a través del tubo de gases 348. Este tubo de gases contiene el recalentador de baja temperatura 324, el economizador 335 y el economizador nuclear 319. El tubo de gases contiene

27.2.68



también un recalentador de aire (no representado) que actúa para precalentar el aire comburente que entra a través del quemador 343.

5 Corriente abajo del recalentador nuclear en el tubo de gases 347, un conducto de toma de gas de recirculación 349 funciona por medio de un ventilador de gas de recirculación 350 para recircular gases de combustión enfriados de vuelta al hogar. El funcionamiento de este ventilador de recirculación de gas aumenta el flujo de gas
10 que pasa sobre la superficie de calentamiento de vapor nuclear 307, situada en el interior del tubo de gases 347, de forma que sirva para aumentar el calor absorbido, y en consecuencia, la temperatura del vapor nuclear.

15 La temperatura del vapor que sale del recalentador nuclear 307 es controlada durante el funcionamiento por la manipulación de los reguladores de flujo de gas 353 y 346 y el ventilador de recirculación de gas 350. La temperatura del vapor que sale del recalentador de vapor nuclear 307 es apreciada por el transmisor de temperatura
20 360 y la señal de control es transmitida al controlador 361. Este controlador acciona los reguladores de flujo de gas 346 y 353, abriendo los reguladores 346 cuando se requiere una temperatura aumentada del vapor, mientras que simultáneamente cierra los reguladores 353. Cuando los
25 reguladores alcanzan una posición máxima preseleccionada, el posterior control de temperatura es efectuado en respuesta a una señal de control enviada por el controlador 361 al controlador 363, el cual varía el funcionamiento del ventilador de recirculación de gas 350. Los reguladores de gas recirculado 356 están mantenidos en posición
30



cerrada siempre que el ventilador de recirculación de gas no está funcionando, para evitar que el flujo de gas retroceda a través del ventilador.

5 Los reguladores 346 pueden funcionar en la posición cerrada todo el tiempo, o ser reemplazados por una pared sólida, formando realmente en estos casos un paso sin salida. Con este funcionamiento, el controlador 361 desde luego no accionaría los reguladores, sino que la señal de control pasaría inmediatamente al controlador 362, de manera que el ventilador de recirculación de gas está controlado en respuesta a la temperatura apreciada por el transmisor de temperatura 360.

10 Cuando una unidad de combustible fósil está funcionando con la unidad nuclear fuera de servicio, no hay vapor pasando a través del recalentador de vapor nuclear 307. Aunque los reguladores 346 están cerrados, hay una posibilidad de filtraciones a través de estos reguladores o corrientes térmicas de gas que serían suficientes para recalentar los tubos del recalentador 307. Para evitar esto, un gas inerte tal como helio es introducido en este momento a través de la válvula de entrada de gas inerte 370, pasado a través de la superficie del recalentador nuclear 307, y sale a través de la válvula de salida de gas inerte 371. El gas así pasado a través de la superficie es enfriado y vuelve a efectuar el ciclo, o puede ser descargado a la atmósfera si esto puede justificarse económicamente. Desde luego, se recomienda un gas inerte en vez de aire, para evitar la corrosión interna de las superficies de vapor.

30 El generador de vapor 304 del reactor nuclear se-



28 FEB 1968

rá diseñado generalmente para funcionar a una presión inferior a la del generador de vapor de combustible fósil 322. Para ciclos de vapor típicos, la temperatura del agua de alimentación del generador de vapor nuclear será más
5 baja que la de la unidad de combustible fósil, y en consecuencia, el economizador nuclear 319 está situado en el tubo de gases 340, en una posición corriente abajo de forma que actúe para enfriar eficientemente los productos de la combustión.

10 El sistema del ciclo de vapor nuclear incluye una derivación de turbina 381 y una válvula de derivación de turbina 382 que descargan en un separador de agua 383. El agua del separador es descargada a través de la tubería de descarga de agua 384 al condensador 314 a través de la
15 tubería 385, o al condensador 332 a través de la tubería 386. El vapor separado en el separador de agua 383 pasa hacia fuera a través de la tubería 387, yendo al condensador 314 a través de la tubería 388, o al condensador 332 a través de la tubería 389. Este sistema de derivación es
20 usado durante cortas interrupciones eléctricas, como se ha descrito en relación con la figura 1.

 El mismo sistema de derivación incluyendo el separador 383 y tuberías 384 a 389 se utiliza en conjunción con el generador de vapor de un solo paso 322 para el arran
25 que del mismo. La tubería de derivación de turbina 390 es usada para derivar las turbinas 326, 328 y 329 de forma que el flujo pueda ser pasado a través de los tubos de la pared del hogar 340 durante el arranque sin que el vapor pase a través de la secciones de la turbina. Los generadores de vapor de un solo paso del tipo que se muestra in-
30



5

10

15

20

25

30

cluyen generalmente un sistema de derivación de turbina para facilitar el arranque. Estos sistemas están diseñados generalmente para derivar del orden del 30 por ciento de la salida del generador de vapor durante el arranque como es este sistema que aquí se muestra. Debe darse al condensador suficiente capacidad de enfriamiento para condensar el vapor que pasa al condensador sin pérdida de vacío en el mismo. También respecto a la derivación de la turbina nuclear se requiere una considerable capacidad de condensación. La disposición que aquí se muestra permite el uso de un condensador o de ambos en cualquier momento. En el caso de un corte eléctrico, la unidad de combustible fósil puede ser incomunicada por completo, con la unidad nuclear funcionando en derivación a ambos condensadores. Cuando se reanuda la carga eléctrica, el ciclo nuclear toma la carga inicial en el generador eléctrico 315, con el generador de vapor nuclear 304 saliendo por el sistema de derivación. En este momento el sistema de derivación está disponible para el arranque del generador de vapor de un solo paso de combustible fósil 322.

En esta realización el recalentador nuclear 307 recibe gases calientes de combustión directamente del hogar con poca o ninguna superficie de calentamiento corriente arriba. En consecuencia, gases muy calientes pasan sobre este recalentador nuclear. Con la elevada temperatura del gas, en el recalentador nuclear 307 se requiere una superficie de calentamiento relativamente pequeña, debido al colector de alta temperatura disponible, por lo que puede ser necesario material de aleación relativamente alta. Ya que este gas a elevada temperatura tiene un contenido de



calor elevado, esta disposición es particularmente efectiva cuando un calor sustancial debe ser absorbido en el recalentador nuclear. La recirculación de los gases desde la posición justo corriente abajo de este recalentador permite que gases relativamente calientes sean recirculados al hogar, si se compara con la recirculación desde las posiciones más alejadas en el tubo de gases 348 y en consecuencia, tiende a mantener un alto nivel de contenido calórico en los gases del hogar, y evita el efecto perturbador de recirculación de gas en otras superficies corriente abajo. La instalación del economizador nuclear próxima a la salida del tubo de gases 348 obra para reducir efectiva y económicamente la temperatura de los gases del tubo que pasan a la atmósfera. Ya que el ciclo nuclear está trabajando generalmente a una presión inferior a la del ciclo de combustible fósil, la temperatura del agua que entra en el economizador nuclear 319, generalmente bajará la temperatura del agua que entra en el economizador de combustible fósil 335.

La figura 4 muestra una realización en la que las unidades nuclear y de combustible fósil están combinadas de forma que el vapor producido por cada una pasa a través de secciones de turbina comunes. El gas es circulado a través del reactor enfriado por gas 402 por medio del ventilador de gas 403. El cambiador de calor 404 actúa para generar vapor esencialmente saturado que sale a través de la tubería de vapor 405. El vapor es después conducido al colector mezclador 406.

El vapor saturado pasa desde el colector de vapor 423 al colector mezclador 406, donde el vapor del ge-



nerador de vapor nuclear 404 es mezclado con él. El flujo de vapor mezclado es pasado en serie a través de las secciones de recalentamiento 407, 424 y el recalentador de flujo mezclado de alta temperatura 425. Este vapor es después conducido a través de la tubería de vapor 426 y la válvula de mariposa de turbina 427 a través de las secciones de alta presión 428, presión intermedia 429 y baja presión 431 de la turbina, las cuales están conectadas para accionar el generador eléctrico 430. El vapor es condensado en el condensador 432, siendo pasado el condensado por medio de la bomba de agua de alimentación 434, a través de los calentadores de agua de alimentación 433, a los generadores de vapor. Esta agua que es devuelta a los generadores de vapor, pasa primero a través de un economizador de flujo mezclado 436.

Una porción del flujo del economizador de flujo mezclado 436 pasa a través de la tubería de agua de alimentación 416 y válvula de control de agua de alimentación 417 al generador de vapor nuclear. La porción restante pasa a través de la tubería de agua de alimentación 418 y válvula de agua de alimentación 419 al economizador de la sección de combustible fósil 435. De aquí pasa al colector de vapor 423.

El agua circula desde el colector 423 por la tubería descendente 438 al colector de alimentación 439, desde el cual sube a lo largo de las paredes que rodean el hogar 445, a través de los tubos 440 de la pared del hogar. La mezcla agua-vapor es después recogida en el colector de salida 442 y conducida al colector 423, donde son separados el agua y el vapor.



El combustible y el aire son suministrados al hogar para la combustión a través de quemadores tangenciales inclinables 443. Los productos de la combustión suben a través del hogar sobre el recalentador de flujo mezclado de alta temperatura 425 y el recalentador de flujo mezclado de temperatura intermedia 424. El gas pasa después a través de tubos de gases independientes 444 y 446. El tubo de gases 446 contiene el economizador de combustible fósil 435, y el gas a través de este tubo de gases está controlado por los reguladores de paso de gas 447. El otro tubo de gases independiente 444 contiene el recalentador de flujo mezclado de baja temperatura 407, y el flujo de gas a través de este tubo de gases está controlado por medio de los reguladores de paso de gas 448. El gas después pasa para salir a través del tubo de gases 441 que contiene el economizador de flujo mezclado 436 y un calentador de aire (no representado).

El conducto de toma de gas de recirculación 449 está situado corriente arriba del economizador de flujo mezclado 436 y funciona por medio del ventilador de recirculación de gas 450 para recircular gases de combustión enfriados al hogar 445. Como un porcentaje creciente del flujo de vapor total es generado en el generador de vapor nuclear 404, se impone una mayor labor de recalentamiento al generador de vapor de combustible fósil. Abriendo los reguladores 448 y cerrando los reguladores 447, el aumento de flujo de gas sobre el recalentador de baja temperatura 407 efectúa dicho recalentamiento aumentado. El ventilador de recirculación de gas 450 actúa para aumentar más el recalentamiento, extendiendo por lo tanto el margen de control. La temperatura del vapor que sale del recalentador es apreciada por el transmisor de temperatura 490 y



los reguladores de tiro son controlados en respuesta a la misma. Cuando los reguladores de tiro alcanzan una posición extrema, la señal de control es transferida al ventilador de recirculación de gas 450.

5

La tubería de derivación de la turbina de alta presión 451 y la tubería de derivación de turbina 481 funcionan de la manera anteriormente descrita en las otras realizaciones. El uso de la superficie del economizador de flujo mezclado 436 y superficies del recalentador de flujo mezclado tiene la ventaja de que evita los problemas de recalentar las superficies que pueden ser instaladas durante el periodo en que el generador de vapor nuclear está fuera de servicio. Ya que en el caso actual el combustible fósil es más caro que el combustible nuclear, el uso de un economizador para el agua de alimentación que es conducida al generador de vapor nuclear tiene una ventaja particular solo cuando es conveniente para reducir la temperatura del gas. Es por consiguiente mala economía quemar combustible fósil adicional con objeto de ahorrar combustible nuclear. En consecuencia cuando el agua de alimentación para el generador de vapor de combustible fósil 442 es conducida a través del economizador de flujo mezclado y un economizador de combustible fósil separado 435, se produce menos calentamiento de agua de alimentación de la suministrada al reactor. La posición de la toma de recirculación de gas corriente arriba del economizador de flujo mezclado 436 es ventajosa, ya que permite al economizador de flujo mezclado reducir sustancialmente la temperatura del gas de la chimenea cuando está funcionando la recirculación de gas. Si la recirculación de gas se to-

10

15

20

25

30



mara corriente abajo del economizador de flujo mezclado, el flujo aumentado de gas sobre el mismo aumentaría sustancialmente la temperatura del gas que sale del economizador de flujo mezclado.

5

10

15

La realización de la figura 5 incluye un sistema en el que el generador de vapor de combustible fósil está combinado con el generador de vapor nuclear y una turbina de vapor, de forma que el vapor de combustible fósil pasa a través de toda la turbina, mientras que el vapor nuclear pasa solo a través de las porciones de más baja presión. El fluido primario es circulado a través del reactor 502 por medio de la bomba de circulación 503. El cambiador de calor 504 actúa para generar vapor, esencialmente saturado, que sale a través de la tubería de vapor 505.

20

25

30

El vapor es conducido a través del recalentador de vapor nuclear 507, y después a través de la tubería de vapor 508 a través de la válvula de control 509 a una cámara de mezcla 510. El vapor es conducido desde esta cámara de mezcla a través de la válvula de cuello de control de la turbina 506, pasando a través de la sección de alta presión 511 la sección de presión intermedia 512 y la sección de baja presión 513 de la turbina, al condensador 514. Estas secciones de la turbina están conectadas directamente al generador eléctrico 515. El condensado es después de vuelta al generador de vapor nuclear 504 por la bomba de agua de alimentación 517, pasando a través de los calentadores de agua de alimentación 518 y economizador nuclear 519. El caudal que entro en el generador de vapor nuclear 504 se controla regulando la válvula de agua de alimentación 516.



28

5

10

15

20

25

30

El recalentador nuclear 507 y el economizador nuclear 519 están situados en la trayectoria del flujo de gas del generador de vapor calentado por combustible fósil 522. El vapor pasa desde el colector de vapor 523 de este generador de vapor a través del recalentador de baja temperatura 525. De aquí pasa después a través de la válvula de mariposa 526 que controla el flujo a través de la sección de superpresión 527 de la turbina que acciona al generador eléctrico 515. El vapor que sale de la turbina de superpresión 527 pasa a través de la tubería de vapor 528 al recalentador de vapor 529, y después a través de la válvula de control 530, al colector de mezcla 510. Aquí, este vapor del generador de vapor calentado por combustible fósil se combina con el vapor del generador de vapor nuclear, y el vapor combinado continúa a través de las secciones de presión intermedia 512 y baja presión 513 de la turbina y del resto del ciclo anteriormente descrito.

Después de salir de los calentadores de agua de alimentación 518, una parte del agua de alimentación es suministrada al generador de vapor calentado por combustible fósil 522, a través de la tubería de agua de alimentación 531. La bomba de agua de alimentación de alta presión 532 separada, actúa para pasar el agua de alimentación a través de los calentadores de agua de alimentación de alta presión 533 y del economizador de la unidad de combustible fósil 534, al colector de vapor 523. El flujo al colector de vapor es controlado por la regulación de la válvula de agua de alimentación 535.

El agua es recirculada en el interior del gene-



5 rador de vapor por la bomba de circulación 537, pasando
el agua hacia abajo a través de las tuberías descendentes
538 a los colectores de alimentación 539, y después hacia
arriba a través de los tubos 540 que cubren las paredes
del hogar 541. La mezcla de vapor y agua así formada es
pasada a través del colector de salida 542 y conducida al
colector de vapor 523, donde el vapor y el agua son sepa-
rados, pasando el agua a través de la tubería descendente
538, y continuando el vapor al recalentador 524.

10 Combustible fósil, tal como petróleo es quemado
por medio del quemador 543, que es alimentado con el fuel-
oil y aire comburente. Los gases formados por la combustión
del petróleo en el hogar 541, pasan a través de los tubos
de gases 544 y 545, siendo regulada la cantidad que pasa
15 a través de cada uno de estos tubos de gases por la mani-
pulación de los reguladores de flujo de gas 546 y 547,
respectivamente. El gas que sale de cada uno de estos tu-
bos de gases, es combinado y conducido a la salida a tra-
vés del tubo de gases 548 que contiene el economizador
20 534, el economizador del generador de vapor nuclear 519
y un calentador de aire (no representado).

25 El conducto de recirculación de gas 549 está si-
tuado de forma que recoja gases del tubo de gases 548 en
una posición corriente abajo del economizador 534, pero
corriente arriba del economizador nuclear 519. El ventila-
dor de recirculación de gas 550 situado en el interior
del conducto de recirculación actúa para recircular estos
gases enfriados del tubo de gases de vuelta al hogar. Es-
tos gases pueden ser introducidos en el hogar más bajo,
30 junto a la salida de gases al tubo de gasss 545, por medio



del conducto 552 o a una posición en el hogar justamente encima de los quemadores 543 por medio del conducto 553.

5 El transmisor de temperatura 554 está situado de forma que aprecie la temperatura del vapor que sale del recalentador de vapor nuclear 507. Una señal de control es emitida por el transmisor de temperatura y conducida al controlador 556, que acciona los reguladores de tiro 546 y al controlador 557 que acciona los reguladores 547. Estos controladores actúan para abrir los reguladores 547 10 mientras que cierran los reguladores 546, siempre que haya una deficiencia de temperatura apreciada por el transmisor de temperatura 554. El controlador 556 es bloqueado de forma que ponga una posición de regulación mínima en los reguladores 546.

15 Cuando los reguladores 547 alcanzan una posición seleccionada próxima a completamente abiertos, la señal de control es emitida desde el controlador 557 al controlador 558 que acciona el regulador de control de gas 559, recirculando gases enfriados del tubo de gases al hogar, a través del conducto 553. Tal recirculación actúa 20 para aumentar el flujo de gas de gases calientes del hogar desde el hogar 541 a través del tubo de gases 545, y por consiguiente aumentando el flujo sobre el recalentador nuclear 507. Cuando el regulador 559 se aproxima a una posición preseleccionada próxima a completamente abierto, una señal de control es emitida desde el controlador 25 558 al controlador 560 y por lo tanto actúa para aumentar la velocidad del ventilador de recirculación de gas 550.

30 El transmisor de temperatura 561 está situado para apreciar la temperatura de los gases en el tubo de gas



5 ses 545 que entran en el recalentador nuclear 507. Cuando estos gases exceden de una temperatura máxima preseleccionada, es emitida una señal de control al controlador 562, el cual actúa para abrir el regulador de flujo de gas 563, que está situado en el conducto de gas 552. Esto introduce en el hogar más bajo junto a la abertura entre el hogar más bajo y tubo de gases 545 gases enfriados del tubo de gases que han sido recogidos del tubo de gases 548. Esta introducción de gases enfriados en este lugar actúa para disminuir la temperatura del gas en el tubo de gases 545 y proteger con esto la superficie del recalentador nuclear 507 contra temperatura de gas excesiva o problemas de escorias asociados con la alta temperatura. Cuando los reguladores de control 563 se aproximen a una posición preseleccionada cerca de completamente abiertos, una señal de control es emitida desde el controlador 562 al controlador 560 para acelerar el ventilador de recirculación de gas 550.

10
15
20 Aunque el sistema de control que ha sido descrito muestra los controles funcionando en una dirección tal que la velocidad del ventilador de recirculación de gas es aumentada, es obvio que también están adoptados para disminuir la velocidad del ventilador cuando los reguladores de tiro 559 y 563 tienden a cerrarse. Sin embargo, la velocidad del ventilador de recirculación de gas debe ser siempre satisfactoria para cumplir con los requerimientos del regulador más próximo a estar completamente abierto, ya que el otro regulador puede regular el flujo de gas cuando el ventilador tiende a excederse.

25
30 La tubería de derivación de la turbina de alta



presión 551 y la tubería de derivación 581 de la turbina, funcionan como se ha descrito en las realizaciones anteriores. La colocación de toda la superficie de recalentamiento nuclear en un tubo de gases, mientras que toda la superficie de recalentamiento calentada con combustible fósil está en el segundo tubo de gases, extiende el margen de control de la unidad, ya que evita la interacción de la absorción de calor de los dos circuitos. El uso de un tubo de gases común con el economizador de combustible fósil baja la temperatura de la chimenea y aumenta la eficiencia de la unidad. El uso de un economizador nuclear corriente abajo del economizador de combustible fósil es particularmente efectivo para disminuir la temperatura de la chimenea, debido al fluido de temperatura más baja que entraría en el economizador nuclear. Esto permite que una temperatura de gas más elevada salga del economizador de combustible fósil y que por consiguiente exista un colector de combustible fósil, con un consiguiente ahorro de superficie. Esta temperatura de gas más elevada es efectiva de modo similar para reducir los requerimientos de superficie del recalentador de combustible fósil y del recalentador nuclear.

Ya que los tubos de gases salen del hogar desde posiciones alejadas una de la otra, es menos difícil mantener el recalentador nuclear frío cuando funciona sólo el ciclo de combustible fósil. Con los reguladores de tiro 547 cerrados y sin flujo de gas sobre el recalentador nuclear 507, todos los gases del hogar pasan hacia arriba a través del hogar y salen a través del tubo de gases 544. En consecuencia, hay relativamente poca perturbación de



5 los gases en el hogar más bajo, y como resultado poca tendencia de los gases calientes del hogar a recalentar el recalentador nuclear 507. Además el ventilador de recirculación de gas 550 puede ser accionado, pasando gases enfriados a través del conducto 552, enfriando el tubo de gases 545 adyacente del hogar más bajo.

10 La realización de la figura 6 emplea el ciclo de vapor nuclear en combinación con un generador de vapor calentado por combustible fósil de hogar doble. El vapor obtenido del reactor de agua hirviendo 602 pasa a través de la tubería de vapor 603 a las secciones de baja temperatura 604, temperatura intermedia 605 y alta temperatura 606 del recalentador de vapor nuclear. El vapor así calentado a 537,8°C pasa a través de la tubería de vapor 607 y a través de la válvula de mariposa 608 de la turbina, pasando a través de y accionando así la sección de alta presión 609, la sección de presión intermedia 610 y la sección de baja presión 611 de la turbina. El vapor que sale de la sección de baja presión 611 es condensado en el condensador 613. La turbina está conectada directamente para accionar el generador eléctrico 614.

25 El agua así condensada es devuelta al reactor 602 por medio de los calentadores de agua de alimentación 617, válvula de agua de alimentación 618 y economizador nuclear 619.

30 El generador de vapor de combustible fósil 622 es del tipo de hogar doble que tiene un primer hogar u hogar de vapor nuclear 623 que está predominantemente asociado con las superficies de recalentamiento de vapor nuclear 604, 605 y 606 y un segundo hogar u hogar de calenta-



miento de vapor de combustible fósil 624 que está asociado solamente con la superficie de calentamiento de vapor de combustible fósil. El vapor pasa desde el colector de vapor 624 a través de la sección de recalentamiento de vapor primario 625 asociada con el primer hogar 623 y de aquí a través de un recalentador de baja temperatura 627 situado en el tubo de gases asociado con el segundo hogar. El vapor pasa después en serie a través del recalentador de temperatura intermedia 628, recalentador de alta temperatura 629 y recalentador final 630. De aquí el vapor a una temperatura de 537,8°C pasa a través de la tubería de vapor 632 y válvula de mariposa de la turbina 633. El vapor pasa a través de la sección de alta presión 634 y sección de baja presión 635 de una turbina que acciona el generador eléctrico 637. El vapor que sale de la sección de turbina de baja presión es condensado en el condensador 638 y devuelto a la caldera por la bomba de alimentación 639, pasando a través de los calentadores de agua de alimentación 640 y válvula de control de agua de alimentación 642. Antes de entrar en el colector 624, el agua es pasada a través de un economizador de baja temperatura 643.

El agua en el interior del generador de vapor de combustible fósil es circulada hacia abajo a través de la tubería descendente 644, siendo ayudada la circulación por la bomba de circulación 645, y alimenta los colectores de entrada 647 y 648. El agua pasa después hacia arriba a través de los tubos 649 que cubren las paredes del hogar respectivo, entrando en los colectores de salida 650 y siendo conducida desde aquí al colector de vapor 624A. En el interior del colector de vapor, la mezcla de

20/12/68

agua y vapor formada en los tubos de la pared del hogar 649, se separa, pasando el agua hacia abajo a través de la tubería descendente 644 y pasando el vapor a la sección del recalentador primario 625.

5

Carbón pulverizado es quemado en cada uno de los hogares por medio de quemadores tangenciales inclinables 653. La ceniza es extraída como escoria derretida a través de los extractores de escoria 654, pasando la escoria a los tanques de enfriamiento 655. Los gases del tubo

10

de gases suben a través de los hogares respectivos, con los gases del hogar de calentamiento de vapor de combustible fósil 624 pasando a descargar a través del tubo de gases 656, mientras que los gases del tubo de gases del hogar 623 pasan a descargar a través del tubo de gases

15

657. Ya que el combustible quemado en cada hogar actúa para generar vapor en la unidad calentada por combustible fósil, mientras que solo el combustible quemado en el hogar 623 actúa para recalentar el vapor de la unidad de vapor nuclear, la salida del generador de vapor calentado

20

por combustible fósil es controlada regulando la entrada de combustible en el hogar 624, mientras que la temperatura del vapor que sale del recalentador de vapor nuclear 607 es controlada regulando el régimen de combustión en el hogar 623.

25

La tubería de derivación 651 de la turbina de alta presión y la tubería de derivación 681 de la turbina funcionan como se ha descrito en el estudio de la figura 1.

30

Aunque hemos mostrado y descrito una realización preferida de la invención, debe entenderse que es solamente ilustrativa y no restrictiva, y que pueden hacerse en la misma variaciones y modificaciones sin



apartarse del espíritu y objeto de la invención. Por lo tanto no deseamos estar limitados a los detalles precisos establecidos, sino que queremos aprovechar aquellos cambios comprendidos dentro del alcance de la invención.

5 Por ejemplo, ya que en el generador de vapor nuclear usual se genera vapor saturado, la descripción se ha dirigido hacia tal aparato productor de vapor. Esta invención, sin embargo, sería igualmente aplicable a un generador de vapor nuclear en donde se produce vapor con cierto grado de

10 recalentamiento, si se desea recalentar más el vapor hasta un alto nivel de temperatura, de forma que la temperatura del vapor producido en conjunción con el reactor nuclear sea vapor de temperatura relativamente baja. Cuando un reactor nuclear por sí mismo funciona para producir

15 vapor recalentado de alta presión a alta temperatura, el sistema nuclear puede funcionar sobre el ciclo de recalentamiento. El vapor para este ciclo puede ser recalentado en una superficie situada en la unidad de combustible fósil.

20

- N O T A -

25

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los siguientes.

27.2.68

- 42 -



1.- Una instalación para producir energía de vapor de agua que incluye una unidad generadora de vapor calentada por combustible fósil que tiene un hogar incluyendo una zona de quemadores y teniendo tubos enfriados por agua cubriendo las paredes del citado hogar, y un tubo de gases para conducir productos de combustión lejos de dicha zona de quemadores, e incluyendo una máquina motriz consumidora de vapor, para realizar el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por un medio generador de vapor nuclear de baja temperatura, asociado con dicha unidad generadora de vapor, incluyendo el citado medio generador de vapor una superficie de recalentamiento de vapor nuclear situada en dicha unidad, por ejemplo en el citado tubo de gases alejado de la citada zona de quemadores, estando previstos unos medios de conducción para conducir vapor desde dicho medio generador de vapor nuclear a la citada superficie de recalentamiento de vapor nuclear, y unos medios de conducción para conducir vapor desde dicha superficie de recalentamiento de vapor nuclear a la citada máquina motriz.

2.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por el hecho de que la citada superficie de recalentamiento de vapor nuclear está protegida contra la radiación directa intensa de la citada zona de quemadores.

3.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizada por el hecho de que el reactor nuclear del citado medio generador de vapor del reactor nuclear tiene una reactividad de exceso baja, por lo



que no es adecuado para el funcionamiento con poca carga debido a la formación de venenos nucleares.

5 4.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 1, 2 ó 3, caracterizada por el hecho de que la citada máquina motriz comprende una turbina de varias secciones, teniendo una primera sección destinada exclusivamente a vapor recalentado, estando previstos medios para derivar de forma regulada dicha primera sección de la turbina, e introducir el vapor derivado en las restantes secciones de la turbina, y medios para regular dicha derivación.

10 5.- Una instalación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por el hecho de que dicha unidad generadora de vapor está conectada por medios de conducción con la primera máquina motriz citada o con una segunda máquina motriz.

15 6.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizada por el hecho de que un primer generador eléctrico está conectado directamente a la citada primera máquina motriz, y un segundo generador eléctrico está conectado directamente a dicha segunda máquina motriz, disponiendo de un sistema de carga eléctrica común, al cual los citados primer y segundo generadores eléctricos están conectados eléctricamente.

20 7.- Una instalación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por el hecho de que la citada unidad generadora de vapor contiene un paso de gas cerrado en un extremo, y medios para recircular productos de combustión desde el extremo cerrado del citado paso de gas cerrado al hogar, estando

27.2.68



situada la citada superficie de recalentamiento de vapor nuclear en el interior de dicho paso de gas cerrado.

5 8.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizada por medios para percibir la temperatura del vapor que sale la citada superficie de recalentamiento nuclear y medios para variar la recirculación de productos de combustión en respuesta a los citados medios de percepción de la temperatura.

10 9.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, caracterizada por el hecho de que también está situado un economizador nuclear en el citado paso de gas sin salida en el lado cerrado de la citada superficie de recalentamiento nuclear, pero corriente arriba de los citados medios de recirculación de productos de combustión, estando previstos medios para conducir fluido desde
15 el citado economizador nuclear al citado medio generador de vapor del reactor nuclear.

20 10.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por un segundo tubo de gases para conducir productos de combustión lejos de la zona de quemadores citada, estando situada la citada superficie de recalentamiento de vapor nuclear en el interior de uno de los citados tubos de gases, y estando previstos medios para controlar el flujo relativo de productos de combustión que pasan a través de cada uno de los citados tubos
25 de gases.

30 11.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizada por medios para percibir la temperatura del vapor que sale de la citada superficie de recalentamiento de vapor nuclear y medios para controlar



el flujo relativo de productos de combustión que pasan a través de cada uno de los citados tubos de gases en respuesta a los citados medios de percepción de temperatura, siendo controlados los citados medios de control en respuesta a los citados medios de percepción de temperatura.

5

12.- Una instalación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la cual la citada máquina motriz tiene un condensador, caracterizada por medios para derivar el vapor que sale del citado generador de vapor nuclear alrededor de la citada máquina motriz al citado condensador.

10

13.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizada por el hecho de que dichos medios de derivación están limitados al tamaño capaz de conducir toda la salida del generador de vapor nuclear en condiciones de saturación al citado condensador, y la capacidad de condensación del condensador está limitada a la requerida para condensar toda la salida del generador de vapor nuclear en condiciones de saturación.

15

20

14.- Una instalación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por medios para recoger productos de combustión del tubo de gases que contiene la superficie de recalentamiento de vapor nuclear en una situación inmediatamente corriente abajo de dicha superficie de recalentamiento de vapor nuclear, y reintroducir los citados productos de combustión en el hogar.

25

15.- Una instalación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la cual la citada

30



5 unidad generadora de vapor calentada por combustible fósil es del tipo de un sólo paso, caracterizada por un primer condensador, recibiendo normalmente vapor de la citada máquina motriz consumidora de vapor, un segundo condensador, recibiendo normalmente vapor de una segunda máquina motriz, estando previsto un sistema de derivación que recibe vapor de la citada unidad generadora de vapor nuclear y de la citada unidad generadora de vapor calentada con combustible fósil, y que actúa para conducir vapor a uno de los condensadores citados en un recorrido en paralelo con la máquina motriz asociada.

15 16.- Una instalación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por el hecho de que la citada superficie de recalentamiento de vapor nuclear es también utilizada para recalentar el citado segundo flujo de vapor.

20 17.- Una instalación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye un recalentador de vapor calentado por combustible fósil situado en el flujo de productos de combustión de la citada zona de quemadores, caracterizada por una segunda máquina motriz, medios para conducir vapor desde el citado generador de vapor calentado por combustible fósil a través del citado recalentador calentado por combustible fósil, a la citada segunda máquina motriz, estando previstos medios para conducir vapor desde la citada segunda máquina motriz a la citada primera máquina motriz.

30 18.- Una instalación de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, caracterizada por un tubo de gases común que recibe productos de combustión de los citados dos tu-



primer hogar y medios para conducir vapor desde la superficie de recalentamiento de vapor de combustible fósil en el primer hogar a la superficie de recalentamiento de vapor de combustible fósil en el segundo hogar.

5

21.- Una instalación para producir energía de vapor de agua.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

10

Esta memoria consta de cuarenta y nueve hojas escritas a máquina por una sola cara.

28 FEB. 1968

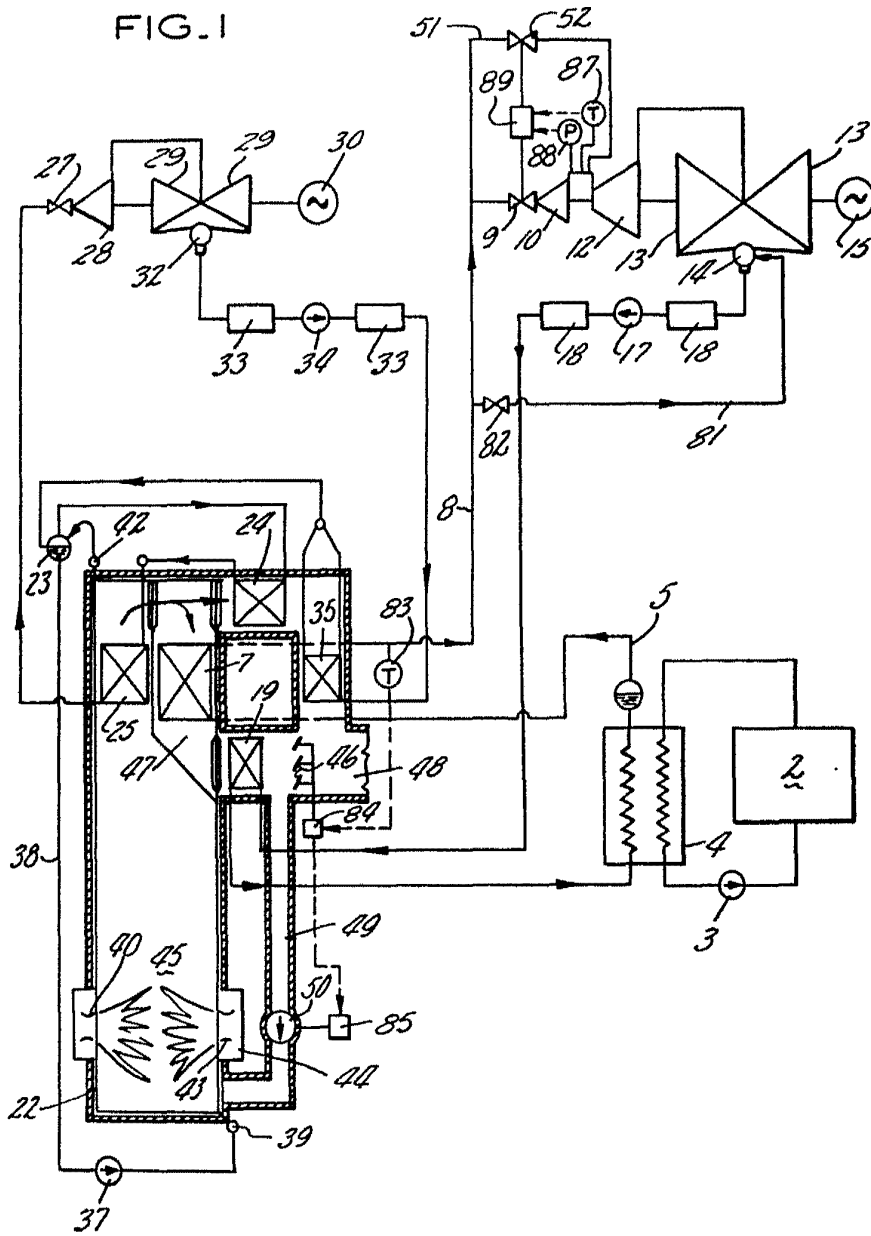
Madrid,

P. A.

Alberto de Alaba
Ingeniero



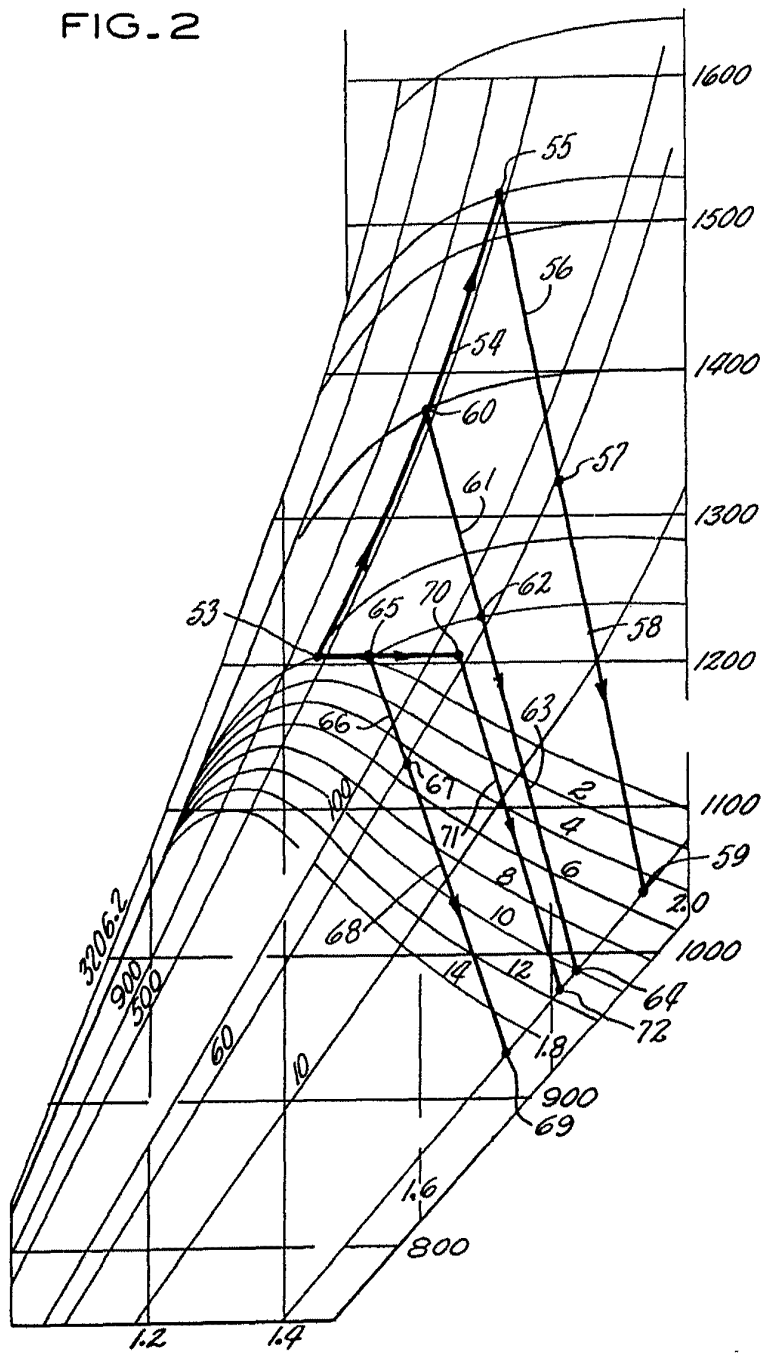
FIG. 1



Handwritten signature:
 Arthur G. Ely
 Patent Attorney



FIG. 2



[Handwritten signature or mark]



FIG. 3

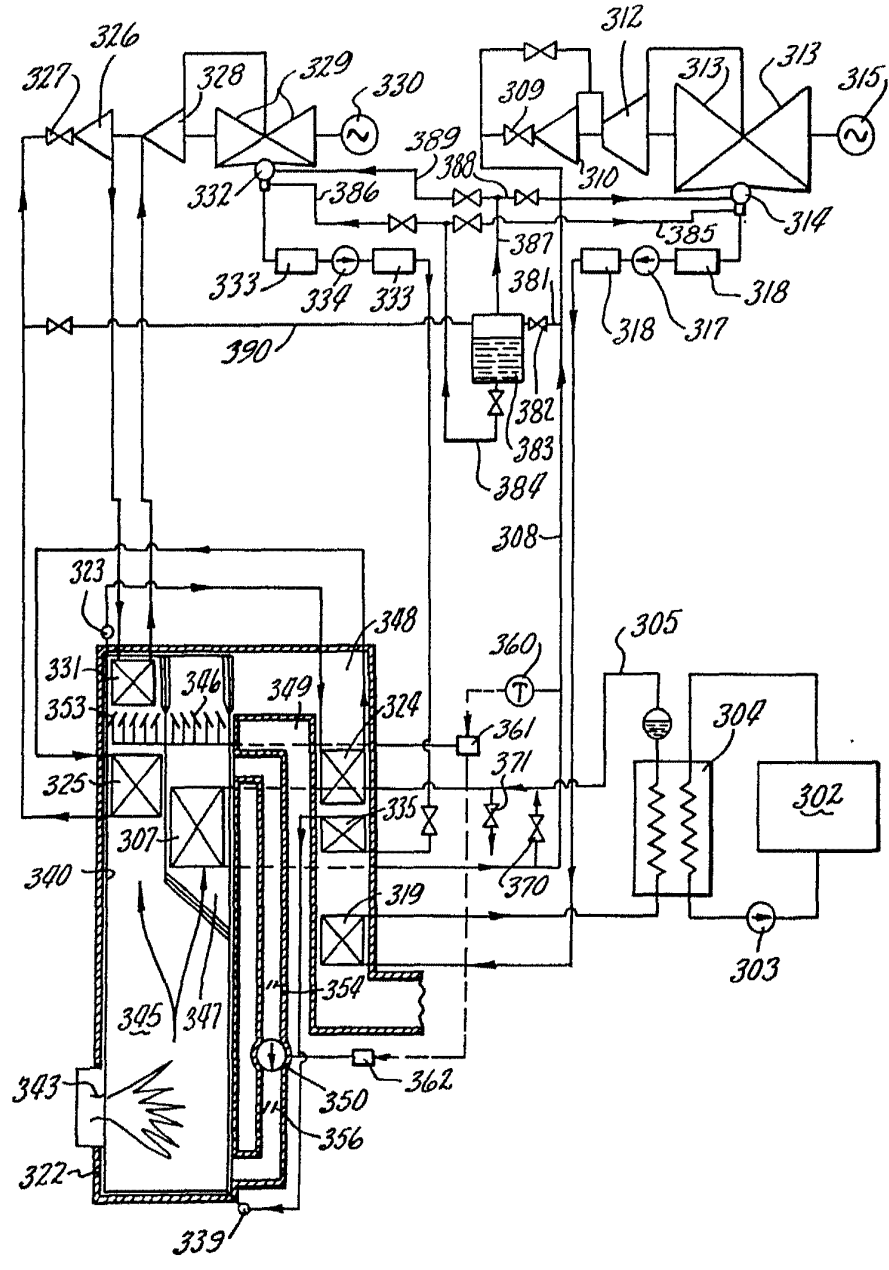




FIG. 5

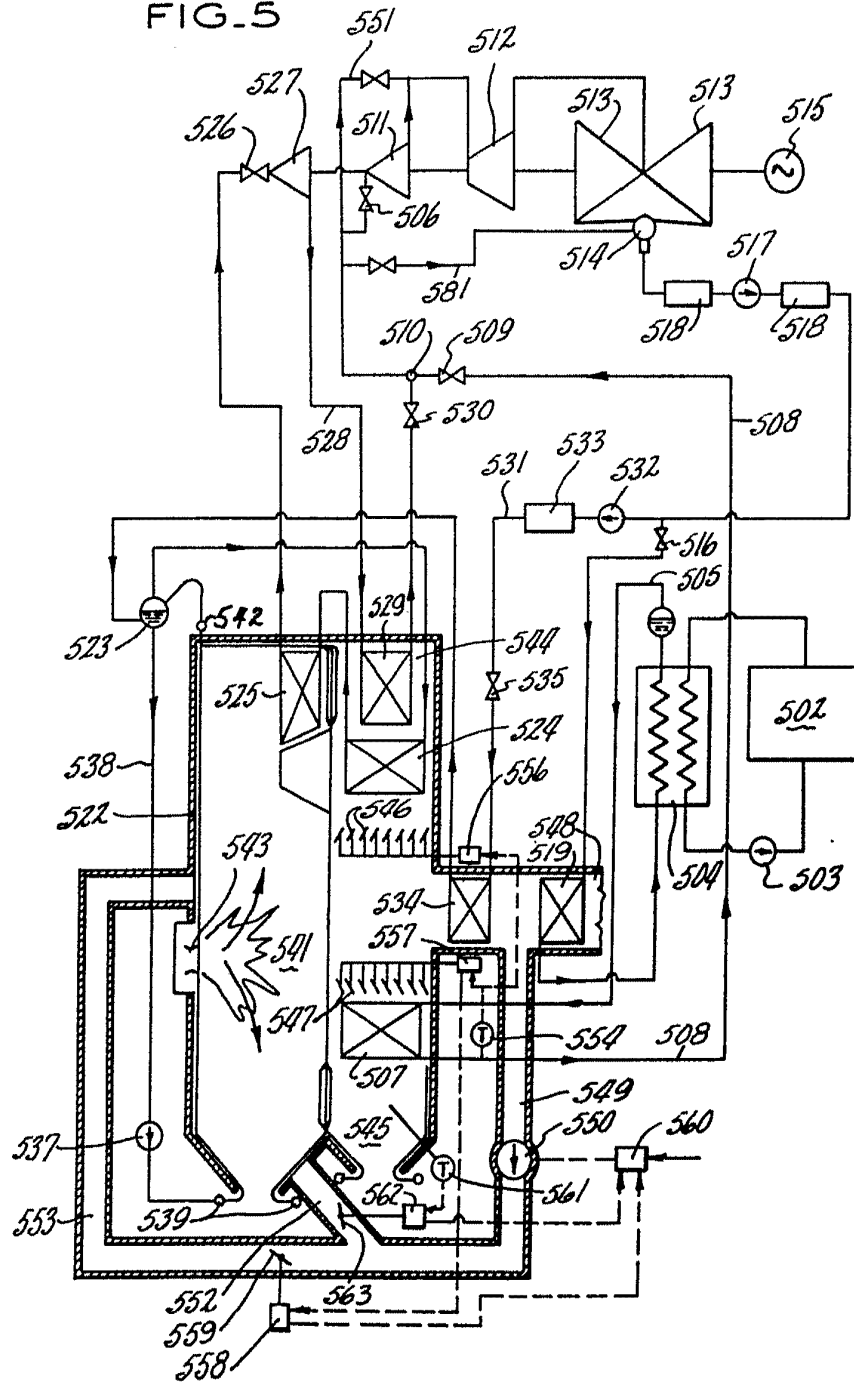
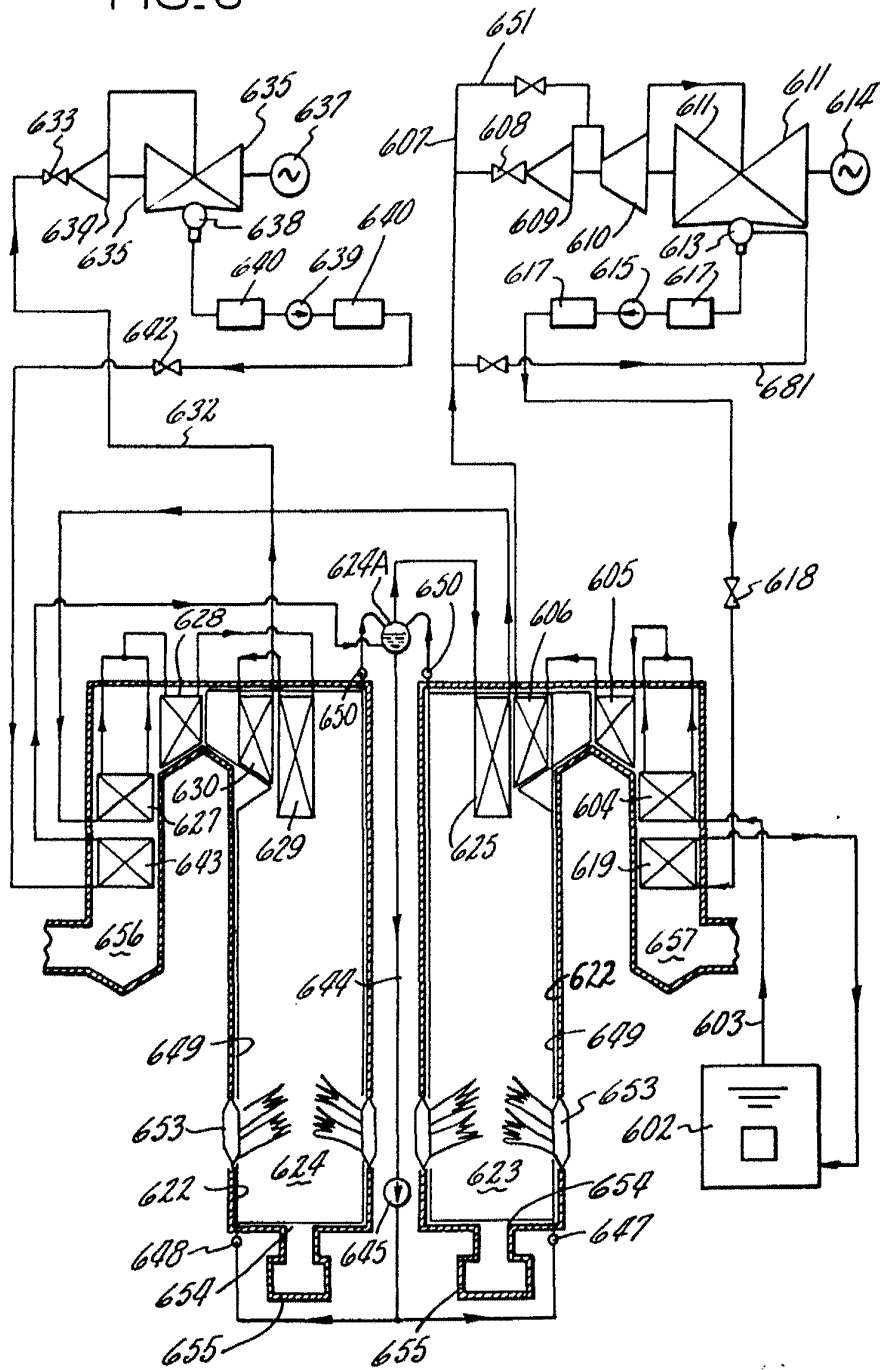




FIG. 6



Handwritten signature or initials at the bottom right of the diagram.