



ESPAÑA

05 FEB. 1979

ES

(11) NUMERO	(10) A1
(21) FECHA DE PRESENTACION	
(23)	

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

PATENTE DE INVENCION

(60) PRIORIDADES:	(32) FECHA	(33) PAIS
(31) NUMERO		
P 27 37 059.8	17 agosto 1977	Alemania

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL	(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	Folk	

(64) TITULO DE LA INVENCION
 "Procedimiento termodinámico e instalación para el aprovechamiento de energía térmica a alta temperatura".

(71) SOLICITANTE (S)
 Prof. Dr. Georg Alesfeld

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
 Josef-Strasse 3, 8000 München 40, (Alemania)

(72) INVENTOR (ES)
 el solicitante

(73) TITULAR (ES)

(74) REPRESENTANTE
 Carlos Fernández Candelas

El invento se refiere a un procedimiento según el preámbulo de la reivindicación primera. Asimismo, el invento concierne a centrales térmicas para la puesta en práctica de tal procedimiento.

5 Aún cuando la energía química contenida en los combustibles fósiles se puede transformar casi por completo en trabajo, las centrales térmicas actuales (que trabajan normalmente con turbinas de gas o de vapor de agua) alcanzan solo rendimientos comprendidos entre el 30 y el
10 40%. Lo correspondiente es válido para centrales térmicas que toman su energía primaria de combustibles nucleares.

 Como es sabido, el rendimiento de una central térmica aumenta con el incremento del gradiente de entalpía de la materia o sustancia de trabajo en el ciclo generador de trabajo, es decir, en la práctica con el incremento de la temperatura con la que se introduce la energía térmica en el ciclo generador de trabajo. Sin embargo, en centrales térmicas de turbina de vapor que trabajan con agua como materia de trabajo, una temperatura de
15 aproximadamente 560° representa actualmente un límite superior práctico, entre otras cosas porque una temperatura elevada está ligada a presiones correspondientemente elevadas. Asimismo, el ciclo de Clausius-Rankine con H₂O como materia de trabajo, conforme al cual trabaja normalmente una central térmica de turbinas de vapor, puede ser
20 "carnotizado" (es decir, conducido en un ciclo sustancialmente reversible y que, por tanto, proporciona como re-

sultado el rendimiento óptimo de Carnot) únicamente hasta alrededor de 300°C mediante precalentamiento del agua de alimentación, de modo que en la zona de recalentamiento del vapor de agua entre 300°C y 560°C se desarrollan

5 considerables irreversibilidades que reducen el rendimiento. Por consiguiente, los rendimientos no satisfactorios de las centrales térmicas de turbinas de vapor conocidas vienen condicionados por los materiales, y la parte principal de la irreversibilidad empeoradora del

10 rendimiento en el ciclo de una central térmica tiene su origen en que la energía térmica a temperatura elevada valiosa para la generación de trabajo, llega sin prestación de trabajo por procesos irreversibles a un nivel de temperatura más bajo, es decir, por ejemplo, de 1500°C

15 a 560°C en la parte de recalentamiento de la central o hasta un valor más bajo igual a 300°C.

No faltan publicaciones en las que se induce a utilizar la zona de alta temperatura mediante ciclos antepuestos para la generación de trabajo. Además de ciclos

20 cios de turbina de gas, de ciclos magnetohidrodinámicos y de la utilización de emisores termiónicos se han tomado en consideración en particular ciclos de vapor que trabajan con otra materia de trabajo, tal como el ciclo antepuesto de Hg, el ciclo antepuesto de K, el ciclo antepuesto de difenilo y combinaciones de tales ciclos de

25 vapor (véase, por ejemplo, "Brennstoff-Wärme-Kraft", volumen 21, número 7, páginas 347 a 394, julio de 1969 y

"R. G. T.", número 99, marzo de 1970, páginas 239 a 269).

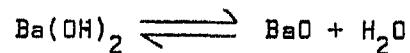
Sin embargo, para todos estos ciclos de vapor antepuestos se tienen que desarrollar turbinas propias que puedan ser accionadas con la nueva materia de trabajo en la zona de
5 alta temperatura.

Por una publicación de Koenemann en "Trans. World Power Conference", Berlín 1930, V.D.I-Verlag, Volumen V, páginas 325 a 336, se ha dado a conocer también la utilización de un sistema de varias materias o sustancias para
10 un ciclo antepuesto generador de trabajo: mediante la evaporación de NH_3 a partir de ZnCl_2 . 2NH_3 se produce amoníaco a alta presión que se expande en una turbina para la producción de trabajo y se reabsorbe a continuación en $\text{ZnCl}_2 \cdot \text{NH}_3$, generándose con el calor de absorción que en-
15 tonces queda libre vapor de agua para un ciclo de vapor de agua normal pospuesto. En este ciclo es desventajoso el hecho de que no se pueden utilizar temperaturas sustancialmente más altas que aproximadamente 300°C , dado que por encima de esta temperatura se presenta ya una descomposición considerable del amoníaco y no resulta ya despreciable la presión de vapor del ZnCl_2 , de modo que puede ocurrir entonces una obstrucción de tuberías y otras perturbaciones similares. Además, es necesaria también en este caso una turbina para una segunda materia de trabajo. Sin
20 embargo, la ventaja del ciclo antepuesto de varias materias consiste en que la materia de trabajo en forma de vapor se origina a causa de la disminución de la presión de

vapor con una presión más baja que en la evaporación a partir de la fase líquida o sólida pura, lo que es ventajoso particularmente al utilizar altas temperaturas debido a la menor sollicitación del material.

5 Por una publicación de Nesselmann en la revista "Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie", 42, (1935), número 1, páginas 8 a 11, se ha dado a conocer también el principio de un ciclo antepuesto de varias ma-
 10 terias que no proporciona trabajo y con el que se puede transformar energía térmica a alta temperatura de manera reversible, es decir, sin menoscabar el rendimiento, en energía térmica con una temperatura más baja situada en el intervalo de temperaturas técnicamente utilizables. Un "transformador de calor" de esta clase puede trabajar se-
 15 gún el principio de una bomba calorífica de absorción, y se menciona también aquí que se puede trabajar entonces con una reacción de materia sólida-gas que trabaja con una materia sólida y una materia de trabajo propiamente dicha que puede ser extraída de esta materia sólida y tam-
 20 bién reabsorbida nuevamente por ella. Las ventajas de una reacción de materia sólida-gas, a saber, que una temperatura determinada pertenece a una presión determinada (regla de fases de Gibbs), se explican con ayuda del ejemplo de la reacción

25



Sin embargo, ya a causa de su comportamiento de presión de vapor no resulta adecuada para la práctica esta combi-

nación de materias como sistema de medio de trabajo de varias materias.

Por consiguiente, el presente invento se basa en el problema de crear procedimientos que trabajen con sistemas nuevos de medio de trabajo de varias materias y que, entre otras cosas, se puedan utilizar para los ciclos antepuestos del tipo anteriormente mencionado a fin de reducir las irreversibilidades en el ciclo de Clausius-Rankine y aumentar con ello en conjunto el rendimiento de la central térmica.

En particular, se deberán indicar sistemas de medio de trabajo de varias materias que son estables a las elevadas temperaturas que interesan sobre todo, por ejemplo temperaturas superiores a 400°C ó 600°C, hasta temperaturas como las que se presentan al quemar combustibles fósiles, y que suministran preferiblemente un componente fluido (en forma de gas o de vapor) que se puede determinar técnicamente sin problemas y con facilidad, como, por ejemplo, H_2O o H_2 .

Este problema se resuelve de acuerdo con el invento por medio de un procedimiento de la clase citada al principio con los rasgos distintivos incluidos en la cláusula caracterizante de la reivindicación primera o de la reivindicación segunda.

Las demás reivindicaciones conciernen a perfeccionamientos y ejecuciones ventajosas de estos procedimientos y a centrales térmicas que trabajan según estos procedimientos.

En lo que sigue se explica con más detalle ejemplos de ejecución del invento haciendo referencia al dibujo, con lo que se expondrán también otras ventajas y características del invento.

5

Muestran:

La Figura 1, un diagrama simplificado de temperatura-entropía con la línea de abullición I y la línea de rocío II del agua (H_2O), en el que está dibujado un ciclo de Clausius-Rankine para explicar el principio del funcionamiento de una central térmica de turbinas de vapor, habiéndose establecido arbitrariamente en 100 bar la presión máxima del medio de trabajo (vapor de H_2O); en honor a la sencillez se han suprimido el precalentamiento del agua de alimentación usual en una central práctica y detalles análogos;

10
15

la Figura 2, un diagrama de temperatura-entropía análogo a la Figura 1, en el que se ha dibujado un ciclo antepuesto que no suministra trabajo exterior según un ejemplo de ejecución del invento y que trabaja con el sistema de medio de trabajo explicado con ayuda de la Figura 3;

20

la Figura 3, un diagrama para explicar un ejemplo de un sistema de medio de trabajo de varias materias de acuerdo con el invento, habiéndose registrado a lo largo de las ordenadas el logaritmo natural de la presión y a lo largo de las abscisas el valor recíproco de la temperatura absoluta multiplicado por el factor 10^3 ;

25

la Figura 4, una representación esquemática de -

una central térmica que trabaja según el principio del ciclo representado en la Figura 2 por medio de la curva de trazo continuo;

la Figura 5, una representación esquemática simplificada de una central térmica que corresponde a la de la Figura 4 y que trabaja según el principio de los tres ciclos parciales representados en la Figura 2;

la Figura 6, un diagrama correspondiente a la Figura 2, en el que se ha dibujado un ejemplo de ejecución de un ciclo antepuesto según una forma de ejecución del invento, cuyo ciclo genera trabajo exterior y mejora el rendimiento de un ciclo de Clausius-Rankine-
postpuesto;

la Figura 7, una representación esquemática de una central térmica que trabaja según el principio del ciclo de acuerdo con la curva dibujada con trazo continuo en la Figura 6;

la Figura 8, una representación esquemática simplificada de una central térmica que trabaja según el principio del ciclo antepuesto disociado explicado con ayuda de la Figura 6;

la Figura 9, un diagrama para explicar un sistema sencillo de metal-hidrógeno según el invento, habiéndose registrado a lo largo de las ordenadas el logaritmo natural de la presión del hidrógeno y a lo largo de las abscisas el valor recíproco negativo de la temperatura absoluta;

la Figura 10, una representación esquemática

de la realización de un ciclo antepuesto que no proporciona trabajo y que trabaja con un sistema de metal-hidrógeno de la clase explicada con ayuda de la Figura 9, en una central del tipo explicado con referencia a la Figura 4, y

las Figuras 11 y 12, representaciones correspondientes a las Figuras 9 y 10, respectivamente, para explicar un ciclo antepuesto disociado.

En los diagramas según las Figuras 1, 2 y 6 se han registrado a lo largo de las ordenadas la temperatura T en grados Celsius y a lo largo de las abscisas la entropía s en kcal/kg $^{\circ}K$, y se ha dibujado el diagrama de presión de vapor del agua.

Las temperaturas indicadas corresponden al caso ideal, habiéndose despreciado pérdidas de temperatura y de presión, por ejemplo en cambiadores de calor.

En la Figura 1 se ha representado el desarrollo de un ciclo de Clausius-Rankine, tal como es típico para una central de turbinas de vapor de agua convencional con recalentamiento intermedio. El tramo de curva A-B corresponde al aumento de la presión y de la temperatura del agua de alimentación hasta la presión y la temperatura en el generador de vapor o caldera (por ejemplo, $310^{\circ}C$ y aproximadamente 100 bar), el tramo C-D corresponde al recalentamiento isóbaro del vapor hasta una temperatura de, por ejemplo, $560^{\circ}C$ y el tramo D-E corresponde a la expansión del vapor recalentado en una primera turbina hasta

una temperatura de, por ejemplo, 220°C y una presión de alrededor de 10 bar en el punto E; el tramo E-F corresponde a un recalentamiento intermedio isóbaro del vapor a 560°C, el tramo F-G corresponde a una expansión del vapor sometido a recalentamiento intermedio en una segunda turbina hasta una temperatura de, por ejemplo, 20°C y una presión de aproximadamente 0,05 bar, y el tramo G-A corresponde a la condensación del vapor en el condensador. Dado que en una central térmica convencional la energía térmica primaria está disponible a una temperatura que es sustancialmente más alta que la temperatura de evaporación de aproximadamente 310°C o que las temperaturas en las zonas de recalentamiento C-D y E-F, se presentan considerables irreversibilidades que empeoran el rendimiento.

Utilizando los sistemas de medio de trabajo de acuerdo con el invento se puede realizar en la práctica ahora; entre otras cosas, por ejemplo, el ciclo antepuesto no generador de trabajo de la clase indicada por Nesselmann (l.c.), tal como se ha representado, por ejemplo en la Figura 2, y se pueden reducir con ello considerablemente las irreversibilidades mencionadas. Por consiguiente, en el ciclo antepuesto según la Figura 2 se utiliza un sistema de medio de trabajo de varias materias al que se puede aportar la energía primaria a una temperatura sustancialmente más alta que en un ciclo de Clausius-Rankine convencional de la clase explicada en principio con

cada caso en dependencia del vapor recíproco de la temperatura absoluta.

Ayudándose del diagrama de temperatura-entropía según la Figura 2 se describirá ahora a título de ejemplo, en primer lugar, un ciclo de transformación térmica que trabaja con el sistema de medio de trabajo de varias materias según la ecuación (1), el cual corresponde a la curva dibujada con línea de trazo continuo en la Figura 2. Los puntos diferentes de la curva dibujados en la Figura 2 se han designado con números; los puntos correspondientes del diagrama según la Figura 3 se han designado con los mismos números. En la Figura 2 se han dibujado también curvas V y VI para el sistema de medio de trabajo según la ecuación (1), que corresponden a la línea de ebullición I y a la línea de rocío II, respectivamente, del sistema sencillo de H_2O . La curva VI es idéntica a la curva IV de la Figura 3.

En el punto 1 del ciclo representado en la Figura 2 mediante la curva dibujada con trazo continuo se encuentra presente $Ca(OH)_2$. Mediante la aportación de energía térmica primaria Q_p desde un hogar, un reactor nuclear o similar durante el ciclo representado a título de ejemplo con la ayuda de la curva de trazo continuo, se extrae de este compuesto vapor de agua a los valores límites supuestos a título de ejemplos de $700^\circ C$ y 100 bar, - siendo necesarios aproximadamente 5200 kJ por kg de vapor de agua. La extracción del vapor de agua corresponde al tramo de curva 1-2.

En el tramo 2-3 se enfría el vapor en contracorriente con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, lo que corresponde al tramo 10-1, hasta una temperatura de, por ejemplo, aproximadamente 560°C y en el tramo 3-4 se enfría este vapor en 5 contracorriente de forma isóbara hasta una temperatura de 310°C bajo intercambio de calor con el vapor en el tramo 8-9. (El valor de temperatura de 560°C elegido a título de ejemplo corresponde a la temperatura de entrada de 10 turbina máxima utilizada con frecuencia en las centrales de vapor convencionales).

En el tramo 4-5 se licúa el vapor de forma isoterma, y el calor de condensación que entonces se libera se utiliza para generar vapor en el tramo B-C en el ciclo de Clausius-Rankine. (Si se utilizaran allí presiones más 15 altas, se podrían elevar de forma correspondiente la presión y, por tanto, la temperatura de condensación aumentando la temperatura de extracción en el tramo 1-2 desde 700°C hasta $700^\circ\text{C} + \Delta t$).

En el tramo 5-6 se enfría el agua condensada 20 en contracorriente con el vapor en el tramo 7-8 o con el agua de alimentación en el tramo A-B en el ciclo de Clausius-Rankine hasta, por ejemplo, 100°C y se expande el agua hasta 1 bar.

En el tramo 6-7 se evapora el agua por efecto 25 del calor de condensación de una cantidad parcial del vapor parcialmente gastado procedente del ciclo de Clausius-Rankine.

En el tramo 7-8-9 se calienta el vapor de forma isóbara hasta 500°C. A continuación tiene lugar en el tramo 9-10 la absorción del vapor de CaO a 500°C. El calor de absorción Q_{500} que entonces se libera puede ser utilizado en el ciclo de Clausius-Rankine para la evaporación del agua (tramo B-C) y/o para el recalentamiento de vapor (tramos C-D y/o E-F).

Por último, el medio de trabajo saturado $\text{Ca}(\text{OH})_2$ procedente del absorbedor es calentado en el tramo 10-1 hasta la temperatura de extracción de 700°C.

Los valores de presión y temperatura indicados anteriormente y en lo que sigue son solo datos aproximados a título de ejemplo que se basan en obras bibliográficas determinadas. Para el sistema $\text{CaO}/\text{H}_2\text{O}$ existen todavía otros datos de presión de vapor que permitirían incluso temperaturas de extracción aún más altas para una presión prefijada.

En el proceso de transformación térmica descrito a título de ejemplo se transforma energía térmica en el sentido de reducción pasando de 700°C a 500°C y 310°C, con absorción adicional de energía térmica de 120°C. La transformación puede realizarse de forma que sea en la práctica totalmente reversible por medio de los procesos de intercambio de calor interiores mencionados; de todos modos, la cantidad de energía térmica que se libera en el tramo 5-6 es mayor que la cantidad de energía térmica que se necesita en el tramo 7-8; por este motivo, es más favorable even

tualmente la realización siguiente del proceso:

La parte 3-4-5-6 del proceso de transformación de calor, correspondiente al circuito absorbedor de una bomba calorífica, se conduce en contracorriente con la parte A-B-C-D del ciclo de Clausius-Rankine, ya que aquí se corresponden plenamente las cantidades de las energías térmicas. La parte 7-8-9 del proceso de transformación de calor según la Figura 2 se carnotiza por extracción de energía térmica del ciclo de Clausius-Rankine.

El CaO presente en el punto 1 se lleva de nuevo en el tramo 11-12 esquemáticamente representado al estado correspondiente al punto 10, de modo que se encuentra entonces disponible nuevamente para la absorción de vapor de agua. Mediante un intercambio de calor interno se pueden evitar también aquí pérdidas en cantidad apreciable. El transporte del CaO en forma de polvo puede tener lugar en un denominado lecho fluidificado, es decir, el CaO sólido en forma de polvo puede ser llevado por medio de un gas inerte introducido, tal como helio, a un estado susceptible de fluir con facilidad ("fluidificado"). Lo mismo es válido para el $\text{CaO}(\text{OH}_2)$ en forma de polvo.

El sistema de medio de trabajo de $\text{CaO}/\text{H}_2\text{O}$ descrito tiene la ventaja de que son conocidas en amplio grado las condiciones durante la absorción (la absorción corresponde al apagado de cal viva); asimismo, son de esperar pequeños problemas por corrosión; y por último el

medio de trabajo eficaz es vapor de agua cuyas propiedades y tecnología son muy bien conocidas.

El sistema de medio de trabajo de varias sustancias descrito puede modificarse mediante la adición de otros óxidos de metal alcalinotérreo. Por ejemplo, se puede conseguir, por sustitución parcial del calcio por magnesio, una presión de vapor prefijada a temperaturas más bajas, mientras que por sustitución parcial del calcio por estroncio o bario se puede conseguir una presión de vapor deseada a temperaturas más altas que cuando se utiliza óxido o hidróxido de calcio puro. Sin embargo, los sistemas puros de óxido de magnesio/agua o de óxido de bario/agua no se pueden utilizar en la práctica debido a las desfavorables presiones de vapor.

El óxido o hidróxido de calcio puede contener también otras adiciones de mezcla, por ejemplo óxido o hidróxido de silicio y/o eventualmente también óxido o hidróxido de aluminio.

La Figura 4 muestra esquemáticamente una central térmica que trabaja sin recalentamiento intermedio y que opera sobre la base del proceso de transformación de calor explicado con ayuda de la curva de trazo continuo en la Figura 2, en combinación con un ciclo de Clausius-Rankine pospuesto. En honor a la sencillez, se han representado únicamente las partes absolutamente necesarias para el entendimiento del invento, mientras que, por ejemplo, se han suprimido el precalentamiento del agua -

de alimentación y otras partes de la instalación usuales en las centrales térmicas convencionales a fin de simplificar el dibujo y la explicación. Cabe hacer notar que la central térmica, hasta donde no esté descrita en lo que -
5 sigue, puede hallarse estructurada a modo de una central térmica usual que sirve, por ejemplo, para la generación de electricidad.

Siempre que ha resultado conveniente, se han indicado la temperatura y la presión del medio de trabajo -
10 H_2O en las tuberías correspondiente, significando (f1) el estado líquido y (d) el estado en forma de vapor o de gas del medio de trabajo H_2O . Los números indicados en círculos corresponden a los números en los puntos dibujados en el diagrama según la Figura 2.

15 En la Figura 4 y en las representaciones esquemáticas siguientes de estas instalaciones de centrales, la disposición de los bloques que simbolizan las diferentes - partes de la instalación en la dirección vertical del dibujo constituye una medida cualitativa de la temperatura a la
20 que trabajan las partes respectivas de la instalación.

La parte de la central térmica según la Figura - 4, correspondiente al proceso antepuesto de transformación de calor, contiene un extractor 30 al que se alimenta energía térmica primaria Q_p desde una fuente de calor 31, tal
25 como un hogar, una central nuclear o similar. En el extractor 30 se extrae vapor de agua a $700^{\circ}C$ y 100 bar desde el $Ca(OH)_2$ en correspondencia con el tramo de curva 1-2. Este

vapor de agua recorre entonces por turno los lados de entrega de calor de tres cambiadores de calor 32a, 32b y 32c que sirven para el intercambio de calor interno. En el cambiador de calor 32a se enfría el calor a 500°C (correspondiente al tramo 2-3 en la Figura 2); en el cambiador de calor 32b se enfría el vapor a 300°C y alcanza la temperatura de rocío en el punto 4 (Figura 2). En el cambiador de calor 32c se condensa el vapor de manera correspondiente al tramo 4-5 en la Figura 2, entregando calor de condensación. El H₂O líquida presente en la salida del lado de entrega de calor del tercer cambiador de calor 32c recorre entonces el lado de entrega de calor de un cuarto cambiador de calor 32d, donde es enfriada a 100°C, lo que corresponde al punto 6 en la Figura 2. El agua se expande entonces a través de un punto de estrangulación o una válvula 34 hasta una presión de 1 bar y luego es alimentada a un evaporador 36 en el que por absorción de energía térmica del ciclo de Clausius-Rankine se transforma en vapor de agua con una temperatura de 100°C y una presión de 1 bar. El vapor de agua circula entonces por los lados de absorción de calor de los cambiadores de calor 32d y 32b y se calienta por ello hasta 300°C y 500°C, respectivamente, lo que corresponde al tramo de curva 7-9 en la Figura 2. El vapor de agua caliente a 500°C es introducido después en un absorbedor 44, en el que es absorbido por CaO, formándose Ca(OH)₂ y entregándose calor de absorción (tramo 9-10 en la Figura 2). El Ca(OH)₂ produ-

cido en el absorbedor 44 es devuelto después, por ejemplo en un lecho fluidificado, al extractor 30 por medio de una bomba 45, con incremento de la presión, elevándose su temperatura en el cambiador de calor 32a por absorción de calor hasta aproximadamente 700°C. El CaO que se produce en el extractor 30 por la extracción del vapor de agua es transferido al absorbedor 44, con entrega de calor en una segunda parte de entrega de calor del cambiador de calor 32a y un equipo reductor de presión 43, lo que puede tener lugar también en un lecho fluidificado.

La parte de la central térmica que trabaja según el principio del Clausius-Rankine contiene una instalación de turbinas representada esquemáticamente con una primera turbina 37 y una segunda turbina 38, un condensador 49, una bomba de agua de alimentación 50, un evaporador 47 y un recalentador 48. La bomba de agua de alimentación 50 transporta agua líquida desde el condensador 49 al evaporador 47, donde el agua es evaporada por el calor de absorción que se libera en correspondencia con el tramo 9-10, y el vapor producido es calentado en el recalentador 48 hasta 500°C. El vapor a 500°C recorre entonces la primera turbina 37. El vapor que sale de la primera turbina 37 tiene en el ejemplo descrito una temperatura de 100°C y una presión de aproximadamente 1 bar. Una parte de este vapor, por ejemplo los dos tercios, recorre luego la segunda turbina, a cuya salida reina, por ejemplo, una presión de aproximadamente 0,05 bar. El vapor se

licúa luego por último en el condensador 49.

Una segunda parte, por ejemplo un tercio, del vapor que sale de la primera parte de turbina es alimentada al lado de entrega de calor del cambiador de calor 36, donde se condensa cediendo calor de condensación que evapora el agua en la parte de la bomba calorífica anteriormente descrita (tramo 6-7). El agua líquida es llevada después por una bomba de alimentación 52 hasta una presión de 100 bar, es precalentada en una segunda parte de absorción de calor del cambiador de calor 32d hasta 300°C y seguidamente es transformada en vapor en la parte de absorción de calor del cambiador de calor 32c. El vapor caliente a 300°C es alimentado después junto con el vapor procedente del evaporador 47 al lado de entrada del recalentador 48, de modo que queda cerrado también este circuito parcial.

El ciclo de Clausius-Rankine se disocia en dos circuitos parciales (entre los puntos X e Y) por medio de la parte de la bomba calorífica de la central térmica según la Figura 4. El rendimiento se mejora con ello en aproximadamente un 50%, por ejemplo, pasando de 35% al utilizar el ciclo de Clausius-Rankine normal hasta un orden de magnitud de aproximadamente 50% al utilizar el ciclo de bomba calorífica descrito y la disociación del ciclo de Clausius-Rankine en dos circuitos parciales.

El proceso de transformación de calor descrito se diferencia de los procesos de transformación de calor

conocidos por el hecho de que la entrega de la energía -
térmica útil tiene lugar en los tramos 4-5 y 9-10 según
la Figura 2 a dos niveles de temperatura diferentes, lo -
que hace posible el considerable incremento mencionado del
5 rendimiento debido a la "carnotización" originada por -
ello. Se ha mencionado ya anteriormente que un proceso de
transformación de calor de la clase descrita en esta memo-
ria se puede realizar en la práctica solamente sobre todo
por medio de los sistemas de medio de trabajo de varias -
10 sustancias que aquí se indican.

Se puede conseguir un incremento adicional del
rendimiento global de una central térmica del tipo mencio-
nado con ayuda de la Figura 4 disociando una parte del -
proceso de transformación de calor explicado de tal mane-
ra que se entregue desde éste energía térmica al ciclo de
15 Clausius-Rankine postpuesto a niveles de temperatura aún más
diferentes y se reduzcan así en mayor medida aún las va-
riaciones de estado irreversibles en el ciclo de Clausius-
Rankine. En la Figura 2 se ha representado por medio de -
20 las partes de curva adicionales en línea de trazos y en lí-
nea de trazos y puntos un ejemplo para una disociación de
una parte del proceso de transformación de calor en tres -
partes.

En el tramo 1-2-3-4-5 el proceso de transforma-
25 ción de calor se desarrolla como se ha explicado anterior-
mente con ayuda de la curva dibujada con trazo continuo en
la Figura 2. Sin embargo, el agua total condensada no se -

enfria ahora hasta 100°C (punto 6), sino que una parte, por ejemplo un tercio, se expansiona solo hasta una temperatura de, por ejemplo, 160°C y a una presión correspondiente, lo que corresponde al punto 6'. El agua a 160°C se evapora entonces por absorción de calor del ciclo de Clausius-Rankine (tramo 6'-7'), lo que se explica con más detalle - todavía ayudándose de la Figura 5. El vapor se calienta entonces hasta el punto 9', que corresponde a una temperatura de 560°C, y a esta temperatura el vapor de agua es -
5
10 absorbido entonces por una parte del CaO, liberándose energía térmica Q_{560} , que puede utilizarse en el ciclo de Clausius-Rankine para el recalentamiento de vapor.

De manera correspondiente, se puede enfriar una parte adicional, por ejemplo un segundo tercio, del agua condensada hasta un punto 6'', que corresponde, por ejemplo, a una temperatura de 50°C, y luego se puede evaporar el agua enfriada según el tramo 6''-7'', obteniéndose vapor con una presión de aproximadamente 0,1 bar, calentándose luego el vapor hasta el punto 9'', que corresponde a una temperatura de 440°C, y dejando que sea absorbido después a esta temperatura por una parte adicional del CaO, liberándose energía térmica de absorción Q_{440} a la temperatura de 440°C (tramo 9''-10'').

15
20

Una tercera parte del agua condensada, por ejemplo el tercer tercio, es tratada adicionalmente en correspondencia con el proceso descrito con ayuda de la curva dibujada con trazo continuo.

25

Como quiera que se puede alimentar ahora al ciclo de Clausius-Rankine energía térmica a las tres temperaturas diferentes de 560°C, 500°C y 440°C, las variaciones de estado se hacen reversibles en medida aún más alta y el rendimiento de la central térmica se incrementa de manera correspondiente en su conjunto.

La Figura 5 muestra esquemáticamente una central térmica que trabaja sobre la base del proceso de transformación de calor disociado que se acaba de explicar. La representación corresponde a la Figura 4; sin embargo, no se ha representado una parte de los cambiadores de calor que sirven para el intercambio de calor interior, a fin de no hacer innecesariamente complicada la representación. No obstante, cabe subrayar que las medidas explicadas con ayuda de la Figura 4 para el intercambio de calor interior pueden utilizarse también en la central térmica según la Figura 5.

En las Figuras 4 y 5 se han utilizado los mismos números de referencia para partes correspondiente de la instalación. Las partes adicionales de la instalación de la central según la Figura 5, que se han añadido debido a la disociación del proceso de transformación de calor y que corresponden en cuanto a su función a las partes de la instalación de la central térmica según la Figura 4, se han designado por medio de una prima adicional o dos primas adicionales y trabajan de forma correspondiente a las partes del proceso según la Figura 2 que se han designado

por números con una o dos primas.

La central térmica según la Figura 5 contiene nuevamente un (o varios) extractor 30, cuya energía térmica primaria Q_p es alimentada por una fuente de calor 31. El agua líquida a 300°C y 100 bar que se encuentra disponible a la salida del lado de entrega de calor del cambiador de calor 32c, se expansiona ahora por medio de tres válvulas 34, 34' y 34" hasta alcanzar estados que corresponden a los puntos 6, 6' y 6", respectivamente. El agua se evapora después en evaporadores 36, 36' y 36" absorbiendo energía térmica del ciclo de Clausius-Rankine, el vapor se calienta luego por intercambio de calor interno (no representado en la Figura 5) y las distintas corrientes parciales de vapor son absorbidas seguidamente en absorbedores correspondiente 44, 44' y 44" a las temperaturas indicadas. La energía térmica de absorción Q_{440} , Q_{500} y Q_{560} que entonces se libera se utiliza para evaporar el agua de alimentación en el evaporador 47 y para el recalentamiento del vapor producido en tres recalentadores 48", 48, 48' montados uno tras otro. El vapor producido alimenta entonces la primera parte 37 de la instalación de turbinas.

De la parte de la central térmica según la Figura 5 que trabaja conforme al ciclo de Clausius-Rankine, dicho más exactamente, de la parte de las turbinas, se toman a través de tuberías 54, 55 y 56 corrientes parciales de vapor a temperaturas de aproximadamente 50°C, 100°C y

160°C, las cuales suministran la energía térmica de entrada para los evaporadores 36", 36' y 36" respectivamente, El agua condensada que entonces se produce es llevada a través de bombas de alimentación 52, 52' y 52" hasta una presión de 100 bar y es alimentada a una tubería común 58 que está conectada al lado de absorción de calor del cambiador de calor 32c, en el que se evapora el agua. El vapor se calienta después como en la instalación según la Figura 4 hasta la temperatura de entrada de la turbina de 560°C su puesta a título de ejemplo y, después de reunirse con el vapor procedente del recalentador 48', es alimentado a la entrada de la instalación de turbinas 37-38.

La Figura 6 muestra el diagrama de un ciclo antepuesto generador de trabajo del tipo indicado por Koenemann (l.c.), pero utilizando el sistema de medio de trabajo de varias sustancias CaO/H₂O ya mencionado anteriormente. Se supondrá nuevamente aquí que la entrega de trabajo, es decir, el funcionamiento de las turbinas, comienza a 560°C. Como ya se ha explicado con ayuda de la Figura 2, el calor primario puede ser alimentado a 700°C debido a la curva de presión de vapor del Ca(OH)₂, sin que la presión sobrepase el valor de 100 bar.

Los tramos de curva individuales corresponden a las operaciones siguientes:

25 1 - 2: Extracción de vapor de H₂O a 700°C y p = 100 bar, con aportación de aproximadamente 5200 kJ de entalpía por kg de vapor de H₂O. El vapor ha de liberarse even

tualmente del polvo de CaO arrastrado,

2 - 3: Enfriamiento isóbaro del vapor bajo intercambio de calor interno (en contracorriente con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ saturado en el sector 6-1 que se ha de calentar hasta la temperatura de extracción) hasta $t = 560^\circ\text{C}$. Gracias a este intercambio de calor interno se hace reversible en amplio grado del ciclo entre 700°C y 560°C , es decir, se carnotiza, de modo que la temperatura superior efectiva con la que entra en acción el calor primario permanece en aproximadamente 700°C .

3 - 4: Expansión del vapor en una turbina a $t = 120^\circ\text{C}$ y $p = 2$ bar; en la Figura 6 se ha supuesto para el tramo 3-4 un rendimiento de turbina de 0,85.

4 - 5: Calentamiento isóbaro del vapor a 530°C ($p = 2$ bar). Esto puede realizarse eventualmente por intercambio de calor con el ciclo de Clausius-Rankine subsiguiente o por medio de gases de humo.

5 - 6: Absorción del vapor a 520°C dejando en libertad aproximadamente 5200 kJ de entalpía por kg de vapor absorbido. Este calor se utiliza para la generación de vapor y el recalentamiento del medio de trabajo (H_2O) en el ciclo de Clausius-Rankine subsiguiente.

6 - 1: Calentamiento del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hasta la temperatura de extracción de 700°C en contracorriente con el vapor de agua que se ha de enfriar (tramo 2-3) y el CaO que se ha de enfriar (tramo 7-8 representado esquemáticamente), el cual se utiliza nuevamente para la absorción.

El ciclo antepuesto generador de trabajo anteriormente descrito se puede realizar en la práctica únicamente con ayuda del nuevo sistema de medio de trabajo de varias sustancias $\text{CaO}/\text{H}_2\text{O}$ (y de los sistemas de medio de trabajo de metal-hidrógeno que se describen todavía a continuación). El rendimiento global de la central térmica se puede incrementar considerablemente por medio de este ciclo antepuesto, ya que se puede generar vapor de H_2O de una presión prefijado a temperaturas sustancialmente más altas que en una central térmica clásica, donde se evapora agua sustancialmente pura, y dado que la transmisión de calor desde la temperatura de producción del vapor (700°C en el ejemplo descrito) hasta la temperatura de entrada de turbina máxima admisible (560°C en el ejemplo descrito) se efectúa en la práctica sin variaciones de estado irreversibles. El trabajo obtenido en el tramo 3-4 se obtiene adicionalmente al que se deriva del ciclo de Clausius-Rankine subsiguiente.

La Figura 7 muestra esquemáticamente las partes esenciales para el invento en una central térmica que trabaja sobre la base del ciclo anteriormente descrito según la curva dibujada con trazo continuo en la Figura 6. La central contiene un extractor 70 en el que por medio de calor primario Q_p procedente de una fuente de calor primario 71 se extrae de Ca(OH)_2 vapor de H_2O con una presión de 100 bar a una temperatura de 700°C (tramo 1-2 del diagrama según la figura 6). El vapor de agua se alimenta luego

go a través de una tubería 72 a una parte de entrega de -
calor de un cambiador de calor 74, en el que se reduce a -
560°C la temperatura del vapor en correspondencia con el
tramo 2-3 en la Figura 6, lo que se ha supuesto también -
5 aquí nuevamente como temperatura de entrada de turbina má
xima admisible. El vapor recorre entonces una primera tur
bina 76, de la que sale con una temperatura de 120°C y una
presión de 2 bar. Este vapor se calienta luego de forma -
isóbara en un segundo cambiador de calor 78 hasta, por -
10 ejemplo, 530°C (punto 5 en la Figura 6) y se alimenta se
guidamente a un absorbedor 80, donde es absorbido por CaO
generando calor de absorción (tramo 5-6 en la Figura 6).
El Ca(OH)_2 que entonces se produce es retroalimentado nue
vamente al extractor 70 por medio de un sistema de trans
15 porte de lecho fluidificado que contiene una bomba 82 que
eleva la presión del fluido del lecho fluidificado a 100
bar, pasando por el cambiador de calor 74 que eleva la tem
peratura del hidróxido de calcio hasta aproximadamente -
700°C, siendo extraído después nuevamente vapor de agua -
20 en dicho extractor. 70. El CaO que queda después de la ex
tracción del vapor de agua es devuelto nuevamente al absor
bedor por medio de un sistema de lecho fluidificado, pa
sando por el cambiador de calor 74, en el que se reduce
la temperatura hasta 530°C, y por un dispositivo reductor
25 de presión 84, en el que se reduce la presión hasta la -
presión del absorbedor de 2 bar. Con esto queda cerrado el
sistema de circulación del ciclo antepuesto.

La parte de la central térmica que trabaja según el ciclo de Clausius-Rankine contiene una turbina 90 que es alimentada por el vapor que ha sido generado en el evaporador 86 mediante el calor de absorción que se libera en el absorbedor 80 y que se ha recalentado en el recalentador 88 hasta 530°C. El vapor, después de que éste ha recorrido la turbina 90, es condensada de la manera usual en un condensador 96, y el agua condensada es alimentada luego también a través de una bomba de alimentación principal 98 al lado de entrada del evaporador 86. La energía térmica necesaria para el recalentamiento del vapor en el tramo 4-5 (Figura 6) puede aplicarse, por ejemplo, por medio de gases de humo, derivación de vapor del ciclo de Clausius-Rankine o de alguna otra manera adecuada.

Utilizando el ciclo antepuesto generador de trabajo anteriormente descrito con ayuda de las Figuras 6 y 7 se puede aumentar también aún más el rendimiento si este ciclo antepuesto se disocia en varios ciclos parciales para poder carnotizar en el más amplio grado posible el ciclo de Clausius-Rankine subsiguiente.

En el ciclo antepuesto según la Figura 6, esto puede ocurrir, por ejemplo, haciendo que cantidades parciales del vapor presente en el punto 3 se expansionen (se gasten) en varias turbinas o en una turbina de varias etapas con tomas, generando trabajo a varios niveles de temperatura y presión diferentes. Por ejemplo, se puede gastar una parte del vapor hasta un punto 4' que corresponde

a una temperatura de aproximadamente 190°C y una presión de 5 bar, y se puede gastar otra parte hasta un punto $4''$ que corresponde a una temperatura de 50°C y aproximadamente 0,1 bar, y mediante un recalentamiento intermedio del vapor gastado hasta el punto 4 (120°C , 2 bar) se consigue gastar vapor hasta un punto $4a$ y puntos subsiguientes en una turbina (tramo $4a - 4''$). Como se ha descrito anteriormente, una parte adicional del vapor se gasta desde el punto 3 - hasta el punto 4.

10 El vapor gastado se calienta entonces en cada caso de forma isóbara, pasando el punto $4'$ al punto $5'$ - (560°C , 5 bar) y del punto $4''$ al punto $5''$ (440°C , 0,1 bar). El vapor es absorbido después a estas temperaturas y presiones en absorbedores separados de CaO , liberándose calor de absorción a los niveles de temperatura correspondientes. La energía térmica que se libera a los tres niveles de temperatura de 440°C , 520°C y 560°C puede alimentarse después a puntos correspondientes de un generador de vapor, de una parte de recalentamiento o de una parte de recalentamiento intermedio (por ejemplo, tramos correspondientes B-C, C-D y E-F en la Figura 1) de la parte de la central que trabaja según el ciclo de Clausius-Rankine. Como quiera que la energía térmica de absorción se genera sustancialmente a aquellos niveles de temperatura a los que la misma se necesita en el ciclo de Clausius-Rankine, se reducen considerablemente los procesos irreversibles y se aumenta de manera correspondiente el rendimiento.

15

20

25

Cabe mencionar en este punto que el transporte de las sustancias sólidas CaO y Ca(OH)_2 en forma de polvo puede tener lugar también de manera discontinua, en vez de por medio de un procedimiento de lecho fluidificado continuo, para lo cual se conectan dos (o tres) recipientes de reacción alternativamente como extractor o absorbedor.

El rendimiento de un ciclo antepuesto disociado y generador de trabajo de la clase anteriormente citada - asciende en el caso ideal hasta aproximadamente 70%; en la práctica se podrán conseguir sin un gasto excesivo rendimientos superiores al 50%, ya que como pérdidas sustanciales en el proceso global permanecen únicamente junto a las pérdidas de turbina y de caldeo las pérdidas por procesos de intercambio de calor y por efectos de histéresis en el proceso de absorción y de extracción, las cuales dependen de la velocidad de realización del proceso.

En la figura 8 se han representado esquemáticamente las partes esenciales de una central térmica con las que se puede realizar el ciclo antepuesto disociado que se acaba de explicar con ayuda de la Figura 6. En un extractor 100, que corresponde al extractor 30 en las Figuras 4 y 5 y que obtiene energía térmica primaria Q_p de una fuente de calor 102, se extrae vapor de agua de Ca(OH)_2 a una temperatura de 700°C y una presión de 100 bar (tramo 1-2 en la figura 6). El vapor producido recorre en el lado de entrega de calor de un cambiador de calor 104 y se enfría allí de forma isóbara hasta 560°C , o sea, la temperatura

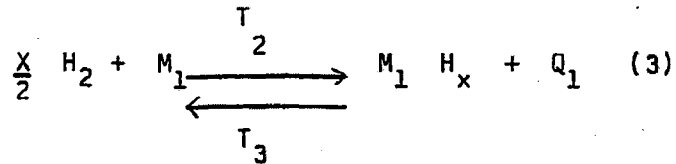
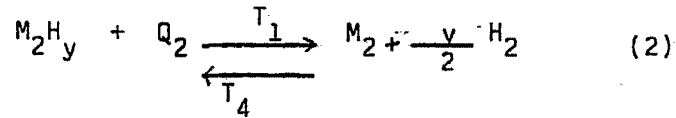
de entrada de una turbina antepuesta 106 de varias etapas. De la turbina 106 se toman a través de tuberías 108, 110 y 112 tres corrientes parciales de vapor que se han gastado hasta tres valores de temperatura y presión diferentes (el recalentamiento intermedio según el tramo 4-4a en la Figura 6 no está representado en la Figura 8).

Las tuberías 108, 110 y 112 conducen a través de cambiadores de calor 114a, 114b y 114c, en los que se calienta el vapor gastado de forma isóbara a temperaturas correspondientes a los puntos 5', 5 y 5", respectivamente (Figura 6), hasta absorbedores correspondiente 116a, 116b y 116c, donde el vapor calentado es absorbido por CaO en correspondencia con los tramos de curva 5'-6', 5-6 y 5"-6". El Ca(OH)_2 que se produce en los absorbedores es llevado a una tubería colectora 122 a través de dispositivos para aumentar la presión 118a, 118b y 118c, y cambiadores de calor 120a, 120b y 120c y es conducido desde esta tubería colectora, en caso de que sea necesario, de nuevo al extractor 100 a través de un dispositivo adicional 124 de aumento de la presión y el cambiador de calor 104. El CaO que se produce en el extractor 100 es llevado a una tubería distribuidora 130 a través de una tubería 126, que pasa por el cambiador de calor 104, y de un primer dispositivo reductor de presión 128, y desde allí es introducido en los absorbedores 116a, 116b, y 116c a través de los cambiadores de calor 120a, 120b y 120c, así como otros dispositivos individuales reductores de presión 132a, 132b y

132c.

La parte de la central térmica según la Figura 8 que trabaja con arreglo al ciclo de Clausius-Rankine contiene una bomba de agua de alimentación 134 que transporta
5 agua llevándola a un evaporador 136 que es calentado por el calor de absorción que se libera en el absorbedor 116c. El vapor producido recorre sucesivamente tres recalentadores 136a, 136b y 136c que son calentados por la energía -
térmica de absorción que se produce en los absorbedores -
10 116c, 116b y 116a. El vapor recalentado es alimentado desde el último recalentador 136c a una turbina 138 cuya salida está unida con un condensador 140 en el que se condensa el vapor gastado. El condensado es transportado después
nuevamente por la bomba de agua de alimentación 134 al eva-
15 porador 136. Los absorbedores 116a, 116b y 116c pueden - trabajar, por ejemplo, a las temperaturas de 560°C, 500°C y 440°C. Los cambiadores de calor 114a, 114b, y 114c pueden abastecerse con calor, por ejemplo, por medio de los gases de humo de un hogar.

20 Otro sistema de medio de trabajo de varias sustancias según el invento, con el que se pueden realizar - ventajosamente los ciclos antepuestos descritos con ayuda de las Figuras 2 y 6, es el sistema de metal-hidrógeno, que trabaja sobre la base de las ecuaciones siguientes:



En estas ecuaciones M_1 y M_2 significan metales. El concepto "metal" se entenderá aquí en su sentido más amplio y abarcará tanto elementos químicos metálicos puros o técnicamente puros como también aleaciones, compuestos intermetálicos y similares.

La ecuación (2) corresponde a una descomposición o desorción y es equivalente a una evaporación, siendo Q_2 la cantidad de agua que ha de gastarse para el desarrollo de la ecuación hacia la derecha.

La ecuación (3) corresponde a una reacción o absorción y es equivalente a una condensación, significando Q_1 es valor que se libera al desarrollar la ecuación hacia la derecha.

Los sistemas de metal-hidrógeno tienen la ventaja de que con una distribución correspondientemente fina de los metales queda garantizado un establecimiento rápido de los equilibrios de sustancia sólida-gas, de modo que para la realización de las reacciones son necesarias sólo cantidades de sustancia relativamente pequeñas y recipientes de reacción pequeños.

Otra ventaja consiste en que las presiones de vapor o de gas que se establecen a una temperatura prefijada en el estado de equilibrio con el metal, se pueden adaptar a un ciclo deseado eligiendo una aleación de composición adecuada.

Como metales entran en consideración, por ejemplo circonio, titanio, niobio, vanadio, niobio, tántalo, metales de las tierras raras, uranio, torio y aleaciones de estos metales entre sí y con otros metales, por ejemplo, ZrV, ZrCr, ZrCo, TiNi, TiV, ThNi, ThCo y ThFe. Asimismo, se pueden utilizar, por ejemplo, metales alcalinos y alcalinotérreos por sí solos o en aleaciones, por ejemplo Li, Na, LiAl, Mg₂Ni, y otros metales.

Con ayuda del diagrama según la Figura 9 se explicará el principio de un sistema de metal-hidrógeno, para lo cual se ha registrado a lo largo de las abscisas el valor recíproco negativo de la temperatura (es decir, temperaturas crecientes corresponden a un progreso hacia la derecha) y a lo largo de las ordenadas el logaritmo natural de la presión de hidrógeno p . Las rectas 150, 152 indican la presión de hidrógeno p que se establece en el estado de equilibrio a una temperatura determinada T sobre un metal M_1 o M_2 , es decir, estas rectas corresponden a las curvas de presión de vapor de un sistema de líquido-vapor.

En el punto (1) está presente el compuesto de metal-hidrógeno M_2H_y , a partir del cual se extrae hidrógeno por aportación de energía térmica (flecha 154) a una tempe

ratura relativamente alta T_1 y una presión relativamente alta p_1 . El hidrógeno es absorbido ("resorbido") en el punto (2) por un metal M_1 a la misma presión p_1 , pero a una temperatura más baja T_2 , formando el compuesto de metal-hidrógeno M_1H_x . A una presión correspondientemente baja p_2 se libera entonces nuevamente del compuesto M_1H_x el hidrógeno en el punto (3) (a pesar de la temperatura T_3 aún más baja), alimentándose una cantidad de calor (flecha 156) a la temperatura T_3 . El hidrógeno liberado nuevamente es fijado ahora de nuevo al metal M_2 a una temperatura T_4 que queda por debajo de T_1 , produciéndose otra vez el compuesto M_2H_x . Se puede extraer ahora nuevamente el hidrógeno por aportación de la energía térmica 154 a la temperatura T_1 .

Durante los procesos de absorción correspondientes a los puntos (2) y (4) se libera calor de absorción en correspondencia con las flechas 158 y 160, respectivamente, a las temperaturas T_2 y T_4 .

La Figura 10 muestra el esquema de una central térmica en la que, análogamente a como ocurre en la central térmica según la Figura 4, se ha previsto un ciclo antepuesto sencillo que no genera ningún trabajo exterior y que opera con un sistema de metal-hidrógeno. Dado que en este caso no es posible una condensación del fluido de trabajo gaseoso H_2 , ésta se ha sustituido por una segunda absorción ("resorción") del hidrógeno por medio de otro metal a una temperatura diferente a la que había durante la liberación del hidrógeno, tal como se ha explicado con ayuda de la Fi

gura 9.

En un extractor 170 se extrae hidrógeno H_2 de un compuesto de metal-hidrógeno M_2H_y por aportación de calor primario Q_p a la temperatura T_1 (Figura 9) y a una presión p_1 .

El hidrógeno, después de su enfriamiento a una temperatura T_2 en un cambiador de calor, no representado, que corresponde al cambiador de calor 32a de la Figura 4, es introducido luego en un resorbedor 172 que contiene metal M_1 . Aquí se produce, bajo liberación del calor de fijación 158 (Figura 9), el compuesto M_1H_x , el cual es alimentado a un evaporador 176 a través de un dispositivo 174 para reducir la presión y de un cambiador de calor que no se ha representado. En el evaporador 176 se libera nuevamente el hidrógeno por aportación de calor en correspondencia con el punto 3 de la Figura 9. El hidrógeno liberado se alimenta luego a un absorbedor 178, donde es absorbido por el metal M_2 en correspondencia con el punto (4) del diagrama según la Figura 9, liberando energía térmica (flecha 160) a la temperatura T_4 . El M_2H_y que entonces se produce es retroalimentado nuevamente al extractor 170 a través de un dispositivo 180 para aumentar la presión. El metal M_2 liberado del hidrógeno es llevado desde el extractor 170 al absorbedor 178 a través de un dispositivo 182 para reducir la presión.

La energía térmica que se libera en el resorbedor 172 y que corresponde al punto 2 del diagrama según

la Figura 9 se utiliza en un evaporador 184 para evaporar agua de alimentación. El vapor que entonces se produce se calienta adicionalmente en un recalentador 186 por medio del calor que se libera en el absorbedor 178 a la temperatura T_4 ; y el vapor recalentado obtenido de esta manera se alimenta a una primera parte 188 de una instalación de turbinas de la central. A la salida de la parte 188 de la instalación de turbinas están conectadas dos tuberías 190, 192. La tubería 190 conduce a una segunda parte de la instalación de turbinas, cuya salida está unida con un condensador 196. La tubería 192 conduce a un serpentín de caldeo 197 en el evaporador 176, donde se condensa el vapor de agua cediendo el calor según la flecha 156 a la temperatura T_3 . El H_2O líquida que entonces se produce es alimentada al evaporador 184 a través de una primera bomba de alimentación 198 y el agua condensada procedente del condensador 196 es alimentada al evaporador 184 a través de una segunda bomba de alimentación 200.

En la central térmica según la Figura 10 se prevén en la práctica también cambiadores de calor para evitar pérdidas, tal como se ha explicado con ayuda de la Figura 4.

El ciclo antepuesto explicado con ayuda de las Figuras 9 y 10 se puede disociar análogamente a como se ha explicado con ayuda de la Figura 2, de modo que el ciclo de Clausius-Rankine pospuesto pueda recibir aporte de energía térmica a más niveles de temperatura todavía

y este ciclo pueda ser así "carnotizado".

El ciclo antepuesto explicado con ayuda de las Figuras 9 y 10 puede disociarse en tres circuitos parciales, por ejemplo, entre el resorbedor 172 y el absorbedor 178. En la disociación del ciclo antepuesto viene a recaer una ventaja especial de los sistemas de metal-hidrógeno, a saber que, con una elección de metales adecuados, en particular aleaciones, los resorbedores de todos los circuitos parciales pueden hacerse funcionar a la misma presión y los evaporadores de todos los circuitos parciales pueden hacerse trabajar a la misma temperatura. (Sin embargo, esto no es necesario). Se ha de trabajar con temperaturas y presiones diferentes cuando se utilice el mismo metal (M_1) en todos los circuitos parciales.

En las Figuras 11 y 12 se ha supuesto que el ciclo antepuesto explicado con ayuda de las Figuras 9 y 10 deberá escindirse en tres ciclos parciales. Por consiguiente, en lugar del único resorbedor 172 se necesitan tres resorbedores 172a, 172b y 172c, a los cuales se alimenta el hidrógeno liberado en el extractor 170. Los resorbedores trabajan a tres temperaturas diferentes T_a , T_b y T_c (Figura 11), pero a la misma presión p_1 , y contienen metales M_{1a} , M_{1b} , y M_{1c} que se han elegido de modo que resulten las "curvas de presión de vapor" 150a, 150b y 150c, respectivamente. Los resorbedores 172a, 172b y 172c llevan asociados unos evaporadores correspondientes 176a, 176b y 176c, respectivamente, todos los cuales trabajan a la misma temperatura T_v . El hidrógeno libera-

do en los evaporadores 176a, 176b y 176c es alimentado a tres absorbedores 178a, 178b y 178c que trabajan a temperaturas y presiones correspondientes a los puntos (4a), (4b) y (4c) en la Figura 11 y que corresponden al absorbedor 178 de la Figura 10. Para las restantes partes constructivas de la central térmica según la Figura 12 se han utilizado números de referencia iguales o correspondientes a los de la Figura 10, de modo que no deberá resultar necesaria una explicación adicional.

10 Por supuesto, los sistemas de metal-hidrógeno se pueden utilizar también para la realización de ciclos antepuestos productores de trabajo de la clase descrita anteriormente con ayuda de las Figuras 6 a 8, necesitando entonces solo un único metal.

15 El transporte de los metales o compuestos de metal-hidrógeno presentes en general en forma de polvo puede efectuarse nuevamente por medio de un procedimiento de lecho fluidificado. Por supuesto, como alternativa se puede trabajar también en este caso por cargas o -
20 tandas, es decir, se pueden prever varios recipientes de reacción que sean hechos funcionar alternativamente como extractor y absorbedor o como evaporador y resorbedor. En general, se prevén en este caso tres recipientes de reacción respectivos para un circuito o para un circuito parcial,
25 cial, de modo que se encuentren dos en servicio y el tercero pueda enfriarse mientras tanto.

Las centrales nucleares según el estado actual de la técnica tienen, por ejemplo, un rendimiento relati-

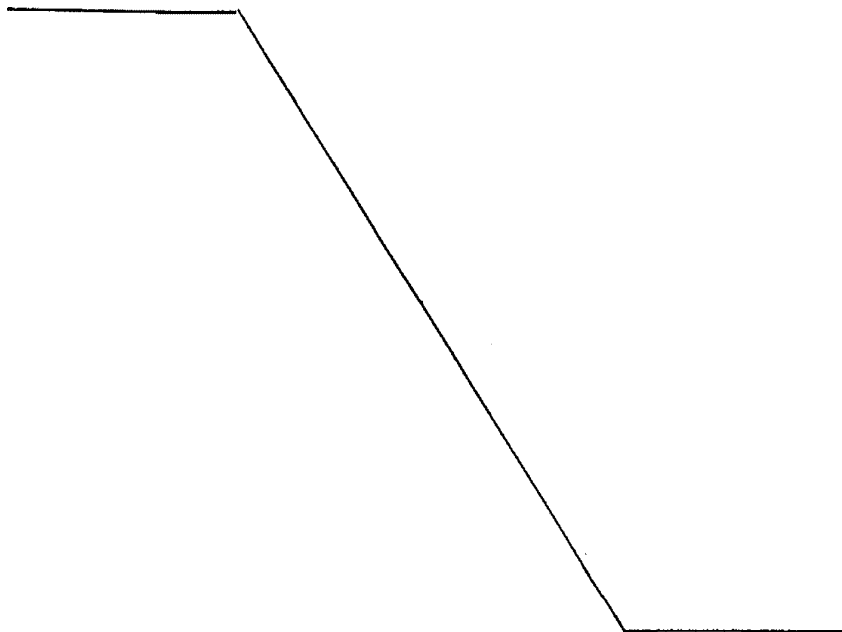
vamente malo, ya que, por diferentes motivos, no se puede generar con un reactor nuclear vapor de agua altamente recalentado. Mediante los sistemas de medio de trabajo y procesos anteriormente descritos a la manera de una

5 bomba calorífica se puede acoplar ahora a la central de vapor, que toma su energía térmica en primer lugar de la central nuclear, un ciclo de bomba calorífica de la clase descrita con ayuda de las Figuras 2 a 5 y 9 a 12, el

10 cual toma la energía térmica a alta temperatura necesaria de combustibles fósiles y suministra energía térmica para el recalentamiento o el recalentamiento intermedio del vapor generado por la central nuclear.

Cuando se encuentre justificado el gasto, se pueden utilizar en una misma central térmica tanto un ciclo antepuesto de bomba calorífica como también un ciclo

15 antepuesto productor de trabajo de la clase descrita.



- REIVINDICACIONES -

1.- Procedimiento termodinámico para el aprovechamiento de energía térmica a alta temperatura, en el que un medio de trabajo de varias sustancias es descompuesto en una zona de temperatura alta por esta energía térmica a alta temperatura en un primer componente condensado, sólido o líquido, y un segundo componente en forma de gas, y estos dos componentes son reunidos nuevamente en una zona de temperatura más baja dejando libre calor útil, caracterizado por que el medio de trabajo de varias sustancias contiene una de las combinaciones de sustancias $\text{CaO}/\text{H}_2\text{O}$ y metal/hidrógeno, comprendiendo el término "metal" elementos químicos metálicos y aleaciones que se combinan con hidrógeno con tonalidad térmica positiva.

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el medio de trabajo de varias sustancias se descompone a una temperatura de al menos 300°C .

3.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el metal contiene al menos un elemento químico, tal como Li y Na, que forma un hidruro.

4.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el metal contiene al menos un componente de aleación adicional, tal como Al.

5.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el metal contiene al menos uno de los elementos circonio, titanio, hafnio, vanadio, niobio, tántalo, uranio y torio y/o un metal de las tierras

raras.

6.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el metal contiene además al menos uno de los elementos níquel, cobalto, cromo y vanadio.

5 7.- Procedimiento según las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque para aumentar el rendimiento de una central térmica que contiene una parte principal que genera trabajo exterior y que opera según el principio del ciclo de Clausius-Rankine, así como una parte adicional que
10 opera según el principio de una bomba calorífica, en donde el medio de trabajo de varias sustancias se descompone por calor primario a una temperatura en una primera zona de temperatura elevada, se transfiere el componente gaseoso que entonces se produce a un estado condensado, se lleva luego
15 nuevamente al estado gaseoso y por último se reúne nuevamente con el componente condensado del medio de trabajo de varias sustancias, se establece que la condensación tiene lugar a una temperatura en una segunda zona de temperatura que se encuentra por debajo de la primera zona de temperatura elevada, la transferencia al estado gaseoso tiene lugar a una temperatura en una tercera zona de temperatura que se encuentra por debajo de la segunda zona de temperatura y la reunión tiene lugar a una temperatura en una cuarta zona de temperatura diferente de la segunda zona de temperatura y que
20 se encuentra entre la primera y la tercera zona de temperatura, y porque las cantidades de energía térmica que se liberan durante la condensación y la reunión son alimentadas al
25

ciclo de Clausius-Rankine sustancialmente a la temperatura que reina en la segunda y en la cuarta zona de temperatura.

8.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la energía térmica que es necesaria para transferir el segundo componente del medio de trabajo de varias sustancias al estado gaseoso, se toma del ciclo Clausius-Rankine.

9.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sistema de medio de trabajo de varias sustancias es un sistema de metal-hidrógeno; y porque la condensación se origina por resorción del hidrógeno en un segundo metal y la transferencia al estado gaseoso se origina por extracción del hidrógeno de este segundo metal.

10.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el segundo componente gaseoso liberado por la energía térmica a alta temperatura se condensa a varias temperaturas diferentes en la segunda zona de temperaturas y se reúne nuevamente con el primer componente condensado a varias temperaturas diferentes en la cuarta zona de temperaturas; y porque las cantidades de energía térmica que se liberan a las diferentes temperaturas de condensación y las cantidades de energía térmica que se liberan a las diferentes temperaturas de reunión se alimentan al ciclo de Clausius-Rankine sustancialmente allí donde se necesita energía térmica a estas temperaturas.

11.- Procedimiento según las reivindicaciones pre

cedentes caracterizado porque para aumentar el rendimiento de una central térmica que contiene una parte principal que genera trabajo exterior y que opera según el principio del ciclo de Clausius-Rankine, así como una parte antepuesta, en donde por alimentación de energía térmica primaria en una -- primera zona de temperatura alta se descompone un medio de trabajo de varias sustancias en un primer componente condensado, líquido o sólido, y en un segundo componente gaseoso, se expande el segundo componente gaseoso en una instalación de turbinas y se reúne luego nuevamente este componente con el primer componente, se establece que el segundo componente gaseoso que sale de la instalación de turbinas es calentado por energía térmica procedente del ciclo Clausius-Rankine a una temperatura en una segunda zona de temperatura que se encuentra por debajo de la primera zona de temperatura, y porque el segundo componente calentado es reunido con el primer componente a una temperatura en una segunda zona de temperatura que se encuentra por debajo de la primera zona de temperatura, y porque la energía térmica que se libera durante la reunión es alimentada al ciclo de Clausius-Rankine.

12.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el segundo componente gaseoso se expande en la instalación de turbinas a varias presiones diferentes, y a temperaturas correspondientes a estas -- presiones se reúne con un número correspondiente de cantidades parciales del primer componente, alimentándose las cañ

tidades de energía que se liberan a las temperaturas diferentes a puntos determinados del ciclo de Clausius-Rankine en que se necesitan estas temperaturas.

5 13.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la primera zona de temperatura alta se encuentra por encima de una temperatura de entrada máxima admisible de la instalación de turbinas, y porque el segundo componente gaseoso liberado por la energía térmica primaria a la temperatura en la primera zona de temperatura alta es enfriado por intercambio de calor hasta una temperatura que a lo sumo es igual a la temperatura de entrada máxima admisible de la instalación de turbinas.

10

14.- Instalación para la puesta en práctica del procedimiento según las reivindicaciones anteriores caracterizado porque previniéndose que presenta una parte principal que trabaja con H_2O como medio de trabajo y que contiene un circuito de medio de trabajo principal que comprende en sucesión una bomba de alimentación principal, un evaporador un recalentador de vapor nuevo, una instalación de turbinas de varias etapas alimentada con vapor nuevo recalentado y dotada de entrada de vapor nuevo y salida de vapor de escape, y un condensador conectado a la salida de vapor de escape y unido con la entrada de la bomba de alimentación principal, se establece que la parte principal presenta también al menos un circuito de medio de trabajo auxiliar con una tubería de derivación para derivar una cantidad parcial del medio de trabajo, cuyo comienzo está unido con un punto de

15

20

25

la instalación de turbinas colocado entre la entrada de vapor nuevo y la salida de vapor de escape, y que contiene en sucesión un condensador auxiliar, una bomba de agua de alimentación auxiliar y un evaporador auxiliar y que está conectado con su extremo a un punto del circuito principal colocado delante de la entrada de vapor nuevo de la instalación de turbinas y porque la parte adicional que trabaja con el medio de trabajo de varias sustancias contiene un extractor en el que el medio de trabajo de varias sustancias se descompone en los dos componentes por efecto de calor primario a alta temperatura a la temperatura situada en la primera zona de temperatura por ejemplo 700°C, y que contiene también un condensador en el que se licúa de forma sustancialmente isóbara el segundo componente extraído en el extractor a una primera presión prefijada, por ejemplo 100 bar, a una temperatura 300°C, situada en la segunda zona de temperatura, y este segundo componente entrega el calor de condensación que entonces se libera al evaporador auxiliar, lado derecho, un dispositivo de expansión (para expansionar el segundo componente licuado a una segunda presión más baja por ejemplo 1 bar, un evaporador en el que el segundo componente líquido expansionado es transferido nuevamente al estado gaseoso a una temperatura por ejemplo 100°C, situada en la tercera zona de temperatura por efecto del calor de condensación procedente del condensador auxiliar, un absorbedor en el que el segundo componente gaseoso procedente del evaporador se reúne nuevamente con el primer componente del medio de tra-

bajo de varias sustancias, y un dispositivo para transferir el primer componente del medio de trabajo de varias sustancias desde el extractor al absorbedor y para transferir el medio de trabajo de varias sustancias reunido desde el absorbedor al extractor.

15.- Instalación según las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque con varios puntos de la instalación de turbinas que conducen un medio de trabajo de -- temperaturas diferentes están unidas varias tuberías de derivación a cada una de las cuales está asociado un evaporador, así como un absorbedor, trabajando los evaporadores y los absorbedores en cada caso a temperaturas diferentes.

16.- Instalación según las reivindicaciones anteriores, caracterizada por unos cambiadores de calor para el intercambio de calor interno.

17.- Instalación según las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque, cuando se utiliza un sistema de metal-hidrógeno en calidad de medio de trabajo de varias sustancias, se presenta en lugar de cada condensador -- un resorbedor que forma junto con el evaporador correspondiente de la parte adicional un circuito de medio de trabajo auxiliar de varias sustancias utilizándose metales diferentes en los distintos circuitos de medio de trabajo de varias sustancias.

18.- Instalación, según las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque con una parte principal que trabaja con H_2O en calidad de medio de trabajo y que con--

tiene un circuito de medio de trabajo principal y, en sucesión, una bomba de alimentación principal, un evaporador, un recalentador de vapor nuevo, una instalación de turbinas de varias etapas alimentada con vapor nuevo recalentado y dotada de entrada de vapor nuevo y salida de vapor de escape y un condensador conectado a la salida de vapor de escape y unido por la entrada de la bomba de alimentación principal, y con una parte adicional que contiene un extractor, en el que el medio de trabajo de varias sustancias se descompone en ambos componentes por efecto de calor primario a una temperatura elevada situada en una primera zona de temperatura, una instalación de turbinas alimentada con el segundo componente gaseoso que entonces se libera bajo una presión prefijada y un absorbedor unido con la salida de la instalación de turbinas, en el que el segundo componente gastado se reúne nuevamente con el primer componente, se establece que entre la salida de la instalación de turbinas, alimentada con el segundo componente extraído, y el absorbedor está intercalado un cambiador de calor en el que se calienta el segundo componente gastado por efecto de la energía térmica tomada de la parte principal antes de que este componente sea alimentado al absorbedor y porque el absorbedor contiene un dispositivo por medio del cual se puede alimentar el calor de absorción que se libera en él al medio de trabajo de la parte principal.

25 19.- Instalación según las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la parte adicional contiene varios absorbedores a los que se alimenta el segundo componen

te gaseoso con temperaturas diferentes desde puntos diferentes de la instalación de turbinas de la parte adicional.

20.- Instalación según las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque, cuando se utiliza un sistema de metal-hidrógeno se presenta en lugar de cada absorbedor, un resorbedor porque a cada resorbedor está asociado un evaporador auxiliar y porque los sistemas de resorbedor-evaporador auxiliar trabajan con medios de trabajo de varias sustancias de metal-hidrógeno que contienen primeros componentes diferentes.

21.- Instalación según las reivindicaciones anteriores, caracterizada por unos cambiadores de calor para el intercambio de calor interno.

22.- "PROCEDIMIENTO TERMODINAMICO E INSTALACION PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGIA TERMICA A ALTA TEMPERATURA".

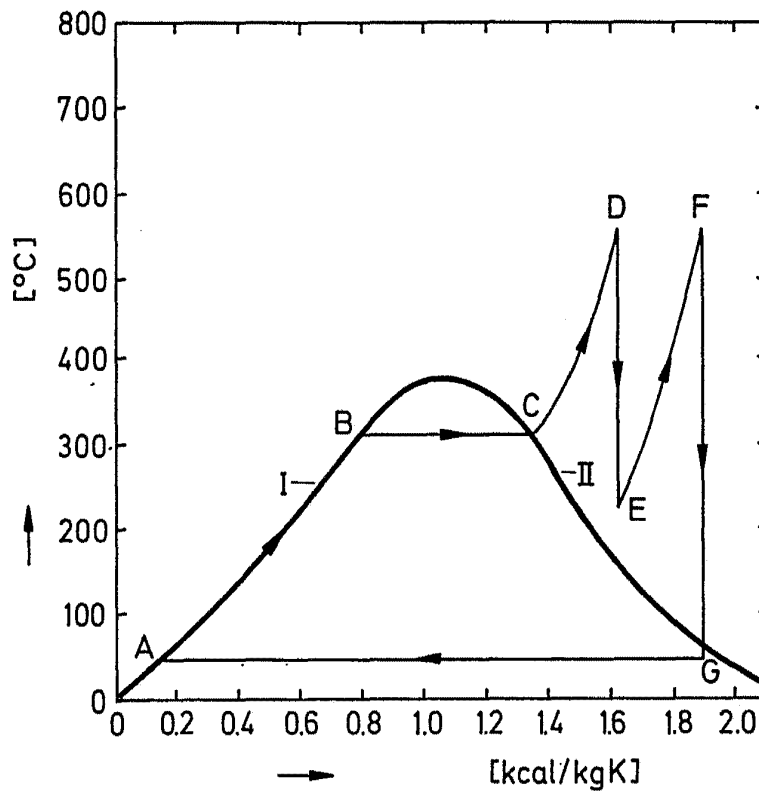
Tal como se describe y reivindica en la presente Memoria Descriptiva, que consta de cuarenta y nueve hojas escritas a máquina por una sola cara y de sus correspondientes dibujos.

Madrid, 17 AGO. 1978

CARLOS FERNANDEZ CANOELAS
PP



Fig.1

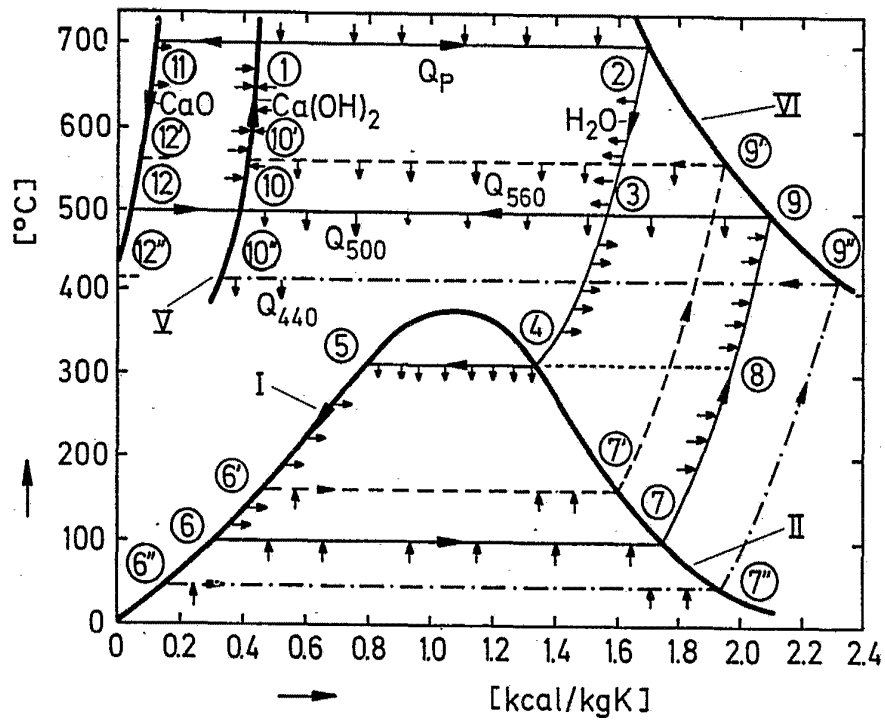


Escala variable

Madrid, 17 Agosto 1978

CARLOS FERNANDEZ MANDELAN
P P

Fig. 2

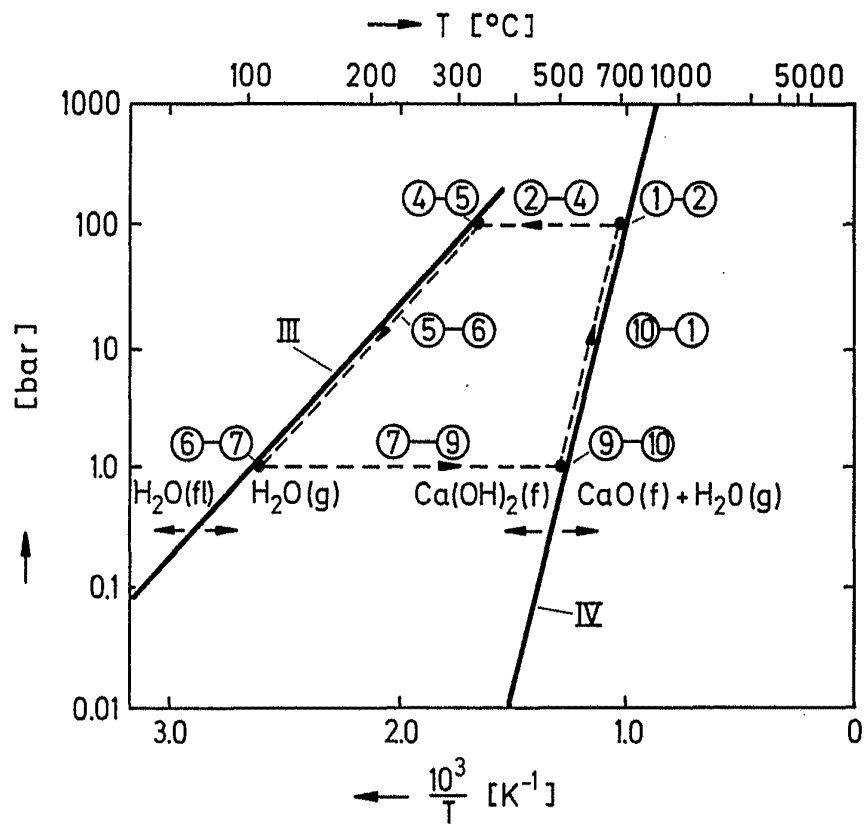


Escala variable

Madrid, 17 Mayo 1978

CARLOS FERNÁNDEZ BANCELAS
P P

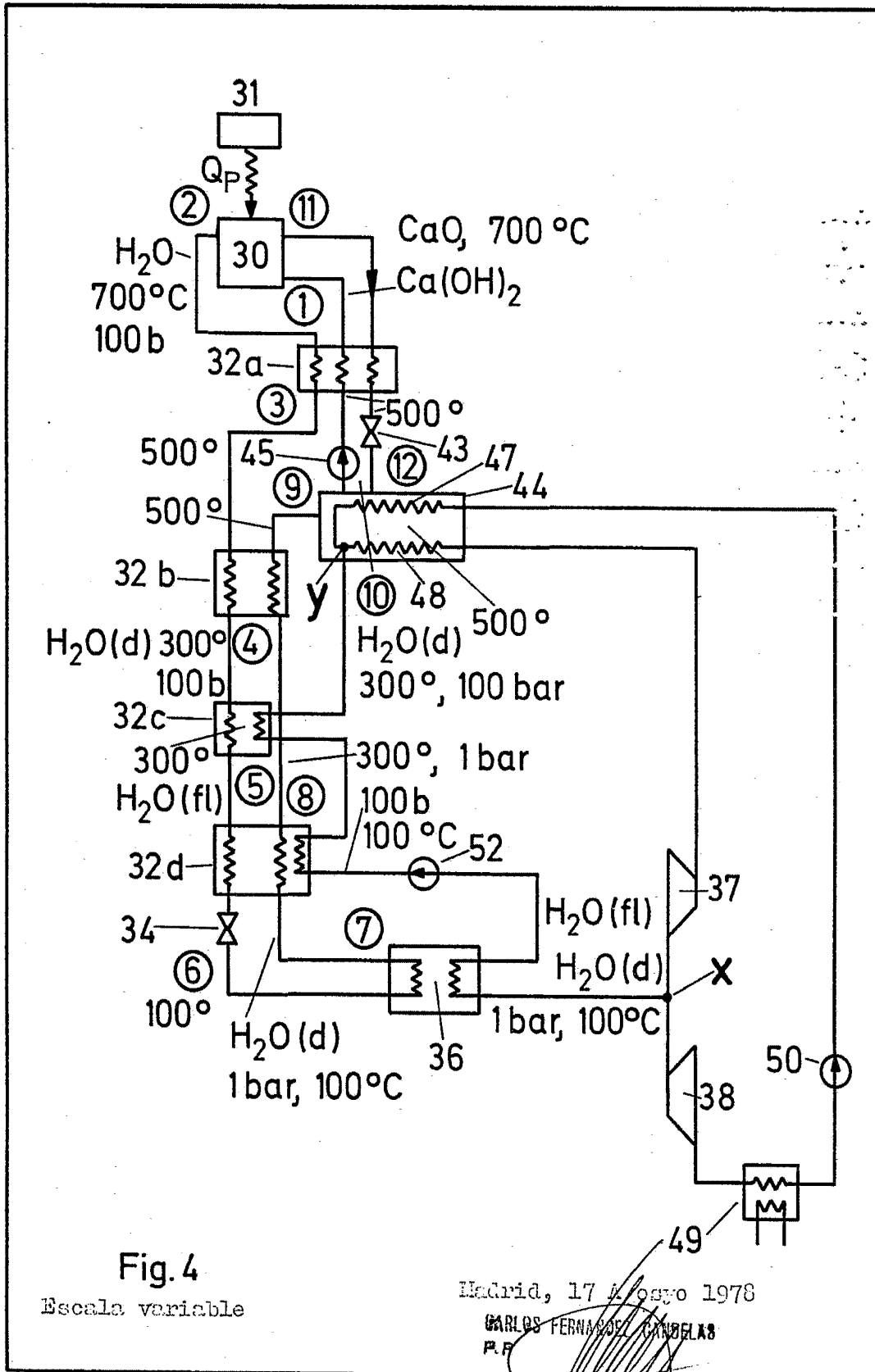
Fig.3



Escuela variable

Madrid, 17 Agosto 1978

CARLOS FERNANDEZ BARRERO
 PP



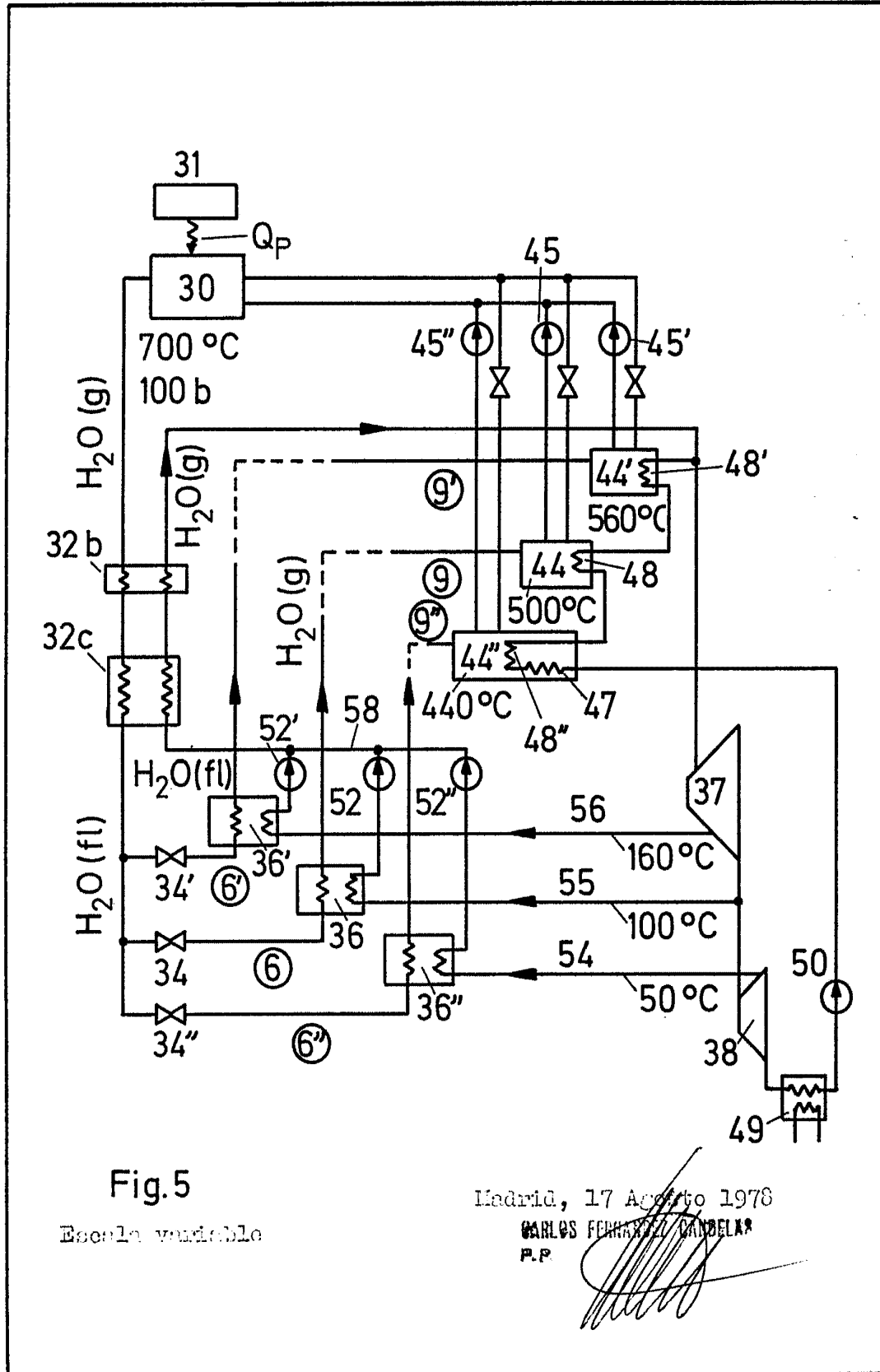


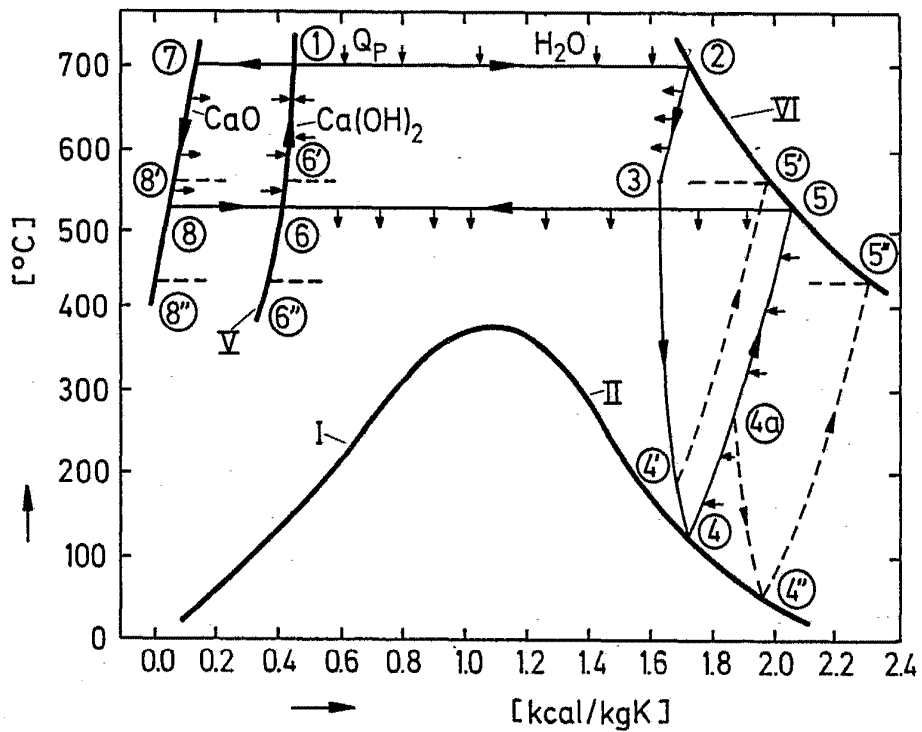
Fig.5

Escola variable

Madrid, 17 Agosto 1978

CARLOS FERNANDEZ GONZALEZ
P.P.

Fig.6



Escala variable

Madrid, 17 Agosto 1978

GABRIEL FERRER / CAPELAS
P.R.

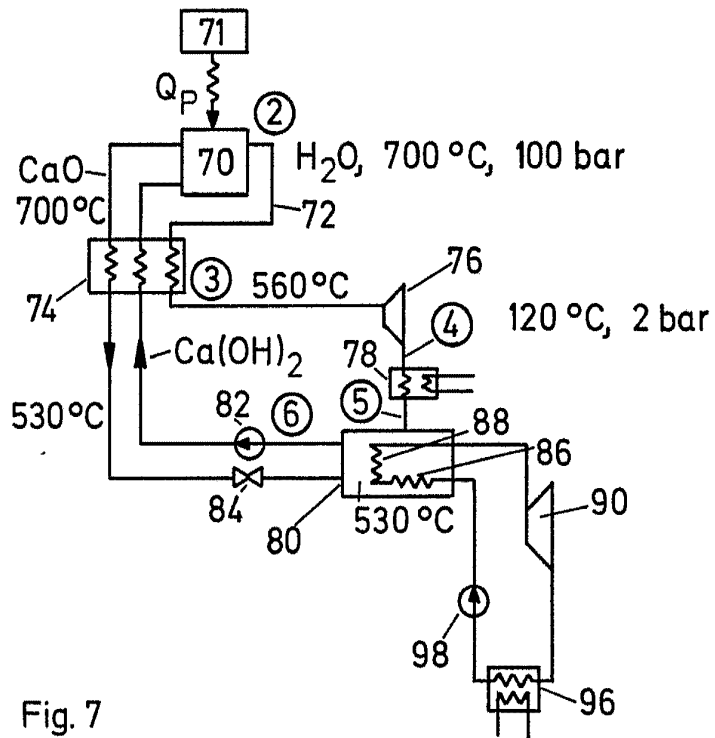


Fig. 7

Escala variable

Madrid, 17 Agosto 1978

MARCELO FERRER GONZALEZ
P P

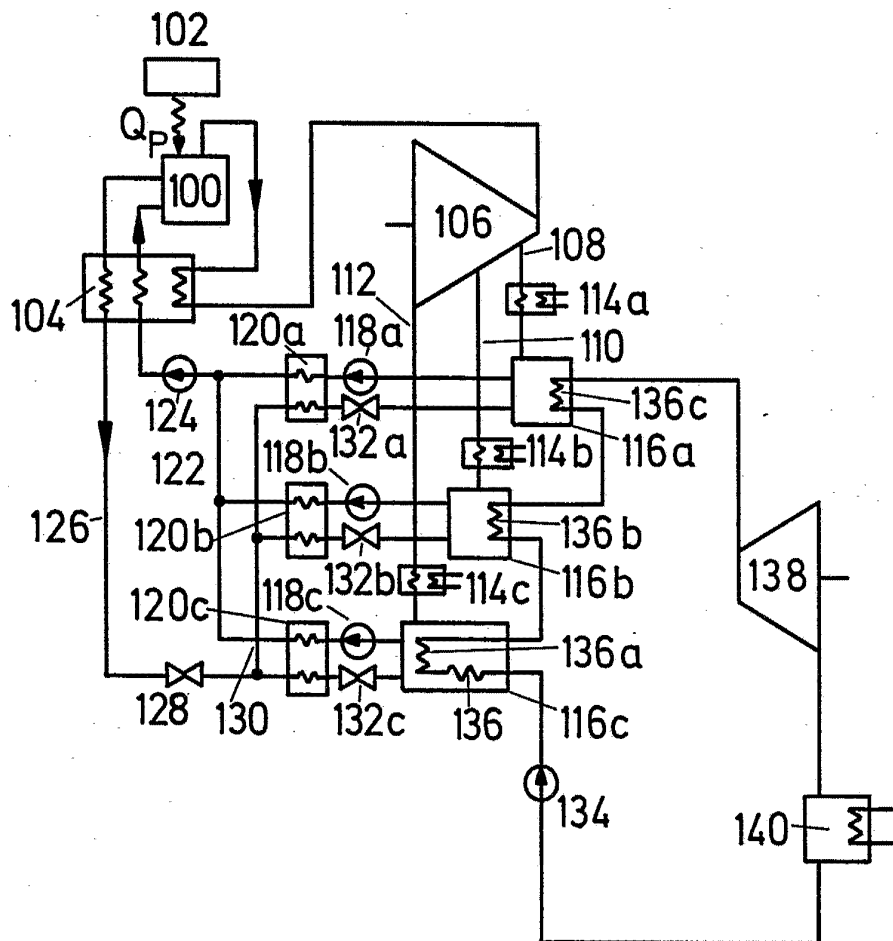


Fig. 8

Escala variable

Madrid, 17 Agosto 1978

CARLOS FERNANDEZ CADELAN
P P

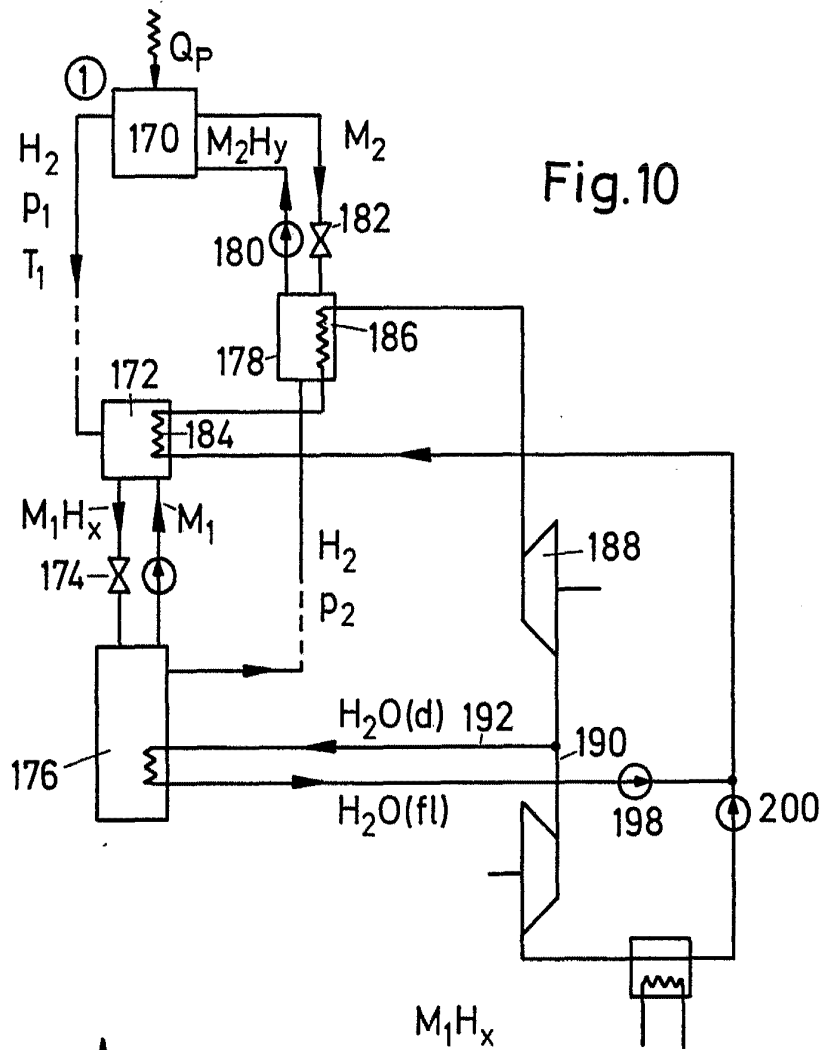


Fig.10

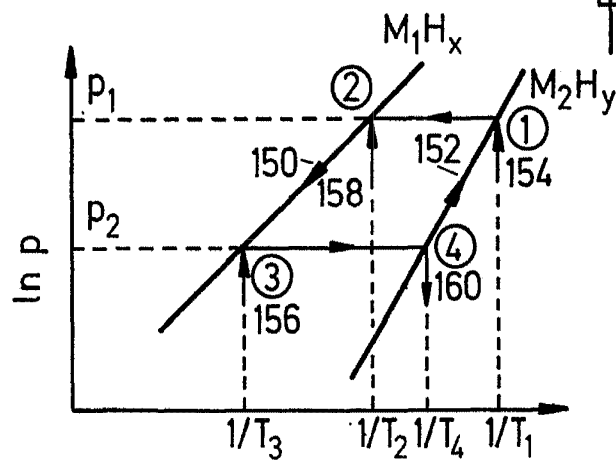


Fig.9

Madrid, 17 Agosto 1978

Escala variable

CARLOS FERRAS ET ALDELAS
P.P.

Fig.12

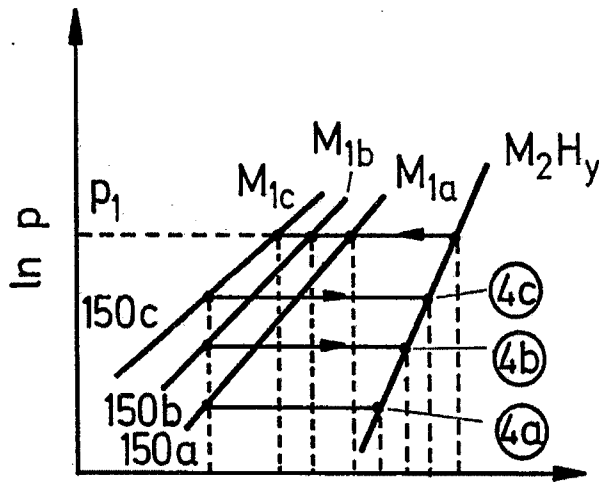
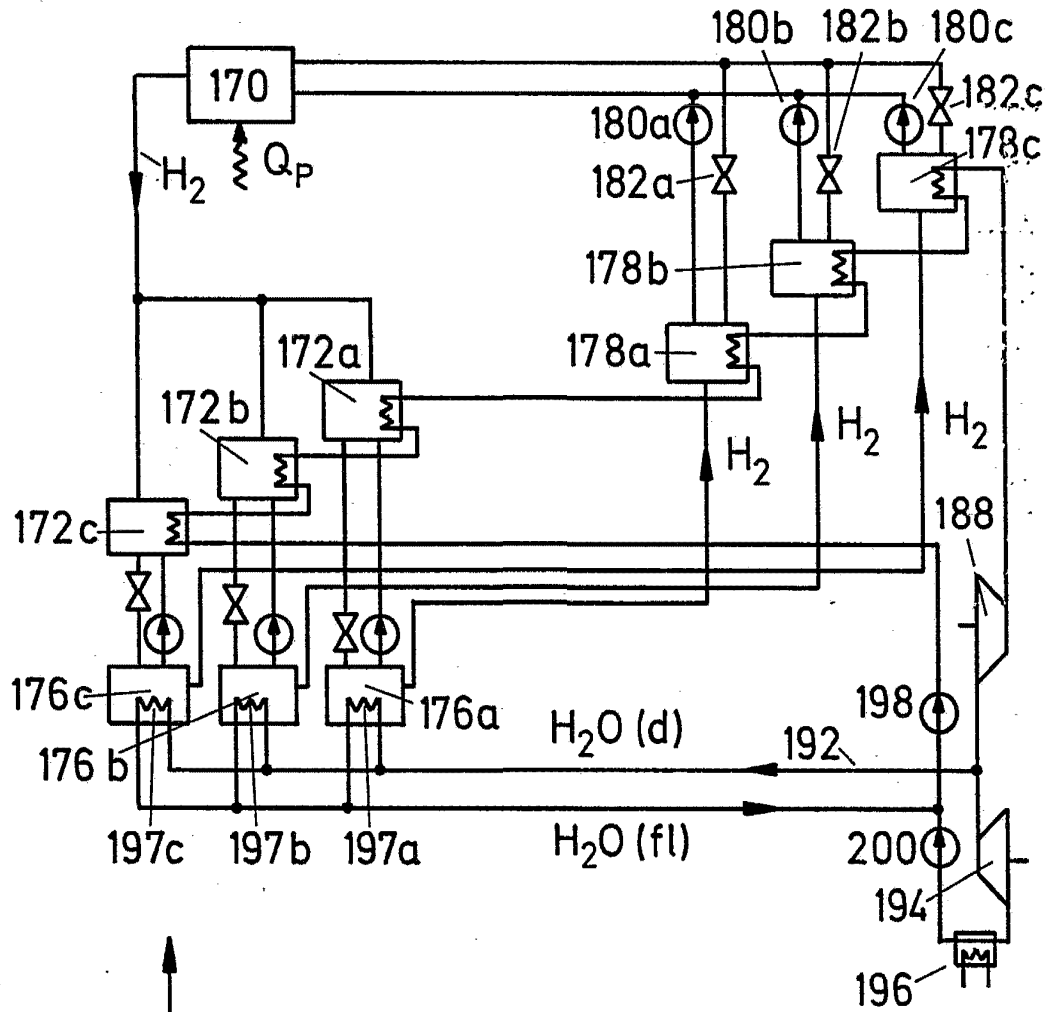


Fig.11

Escala variable

$1/T_v$ $1/T_c$ $1/T_b$ $1/T_a$

$\leftarrow 1/T$

Madrid, 17 Agosto 1978

CARLOS FERNANDEZ DE CUELLAR
P.P.