

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 738 663**

21 Número de solicitud: 201830747

51 Int. Cl.:

F01K 25/00 (2006.01)

F01K 25/04 (2006.01)

F01K 21/00 (2006.01)

F01K 21/04 (2006.01)

F01K 27/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

23.07.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

24.01.2020

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

17.03.2023

Fecha de concesión:

04.04.2023

45 Fecha de publicación de la concesión:

13.04.2023

73 Titular/es:

VELLOSO MOHEDANO, Javier Carlos (100.0%)
Av. Sierra de Gredos, 11 - Portal 12 - Bajo C
28691 Villanueva de la Cañada (Madrid) ES

72 Inventor/es:

VELLOSO MOHEDANO, Javier Carlos

74 Agente/Representante:

JANE LOWE, Aranzazu

54 Título: **Una instalación para generación de energía mecánica mediante un Ciclo Combinado de potencia**

57 Resumen:

Una instalación para generación de energía mecánica mediante un ciclo combinado de potencia.

La presente invención se refiere a una instalación para generación de energía mecánica mediante un ciclo combinado de potencia que comprende al menos:

- medios para llevar a cabo un ciclo Brayton regenerativo constituyente, cerrado o semicerrado, que utiliza agua como fluido caloripotante.
- medios para llevar a cabo al menos un ciclo Rankine, ciclo Rankine fundamental constituyente, interconectado con el ciclo Brayton regenerativo, y
- una bomba de calor (UAX) que comprende un circuito cerrado que regenera el ciclo Brayton regenerativo constituyente; así como al procedimiento de generación de energía mediante el uso de dicha instalación.

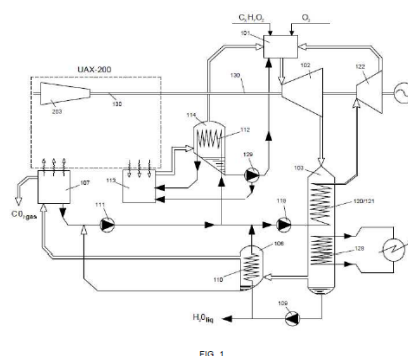


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 738 663 B2

DESCRIPCIÓN

Una instalación para generación de energía mecánica mediante un Ciclo Combinado de potencia

CAMPO DE LA INVENCION

- 5 El campo de aplicación de la invención se encuentra comprendido dentro del sector industrial dedicado a la generación de energía mecánica para su aprovechamiento y conversión en otros tipos de energías.

ESTADO DE LA TÉCNICA

- 10 En la actualidad, los conocidos "ciclos combinados" son una de las tecnologías más eficientes y ecológicas que existen para la generación de energía. Un ciclo combinado es un procedimiento para generación de energía basado en la asociación de dos ciclos termodinámicos acoplados con el objeto de conseguir un mayor rendimiento.

- En el estado actual de la técnica de los ciclos combinados para la generación de energía mecánica y su eventual transformación en otros tipos de energía, existe la necesidad de
15 mejorar la eficiencia y de reducir los vertidos de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

- Una instalación para llevar a cabo un ciclo combinado consta de una turbina de gas funcionando en ciclo de Brayton abierto donde los gases de escape calientes pasan por
20 una caldera de recuperación de calor en la cual se genera un vapor que se aplica a una turbina que genera un trabajo mecánico adicional siguiendo un ciclo de Rankine independiente.

- Las centrales de energía de ciclo combinado más comunes funcionan con turbinas de gas que toman aire de la atmosfera que tras ser presurizado en un compresor, pasan a
25 una cámara de combustión donde se quema el combustible. Los gases de esta combustión salen del quemador con alta temperatura mezclados con aire en exceso constituyendo el fluido caloriportante del ciclo abierto de Brayton los cuales son expandidos en una turbina de gas generando trabajo mecánico. Finalmente, los gases de turbina salen de la caldera siendo expulsados a la atmósfera por chimenea.

- 30 El hecho de que un compresor tome aire de la atmósfera exterior y que los gases de la combustión terminen vertidos a la atmósfera sin que retornen al ciclo, hace que éstos sean ciclos de Brayton abiertos, dado que existe un intercambio de materia con la atmósfera exterior.

Por consiguiente y a pesar de su simplicidad, estos ciclos abiertos presentan el

inconveniente de que implican la emisión de gases contaminantes ya que los productos de la combustión terminan siendo desprendidos a la atmósfera. Estos gases contaminantes son fundamentalmente CO₂ y NO_x (siempre y cuando el combustible esté libre de azufre en su composición). La proporción de CO₂ desprendido en la combustión depende directamente del tipo de combustible quemado. Actualmente, el gas natural es el combustible más común utilizado industrialmente en las turbinas de gas debido, entre otros motivos, a que el metano que este combustible contiene es el hidrocarburo que produce menor cantidad de CO₂ por unidad de trabajo generado.

Por su parte, la producción de NO_x aumenta fundamentalmente cuanto mayor sea la temperatura de combustión. Obviamente, esto genera un conflicto de intereses que comprometen a la eficiencia y al impacto ambiental porque según los principios de la termodinámica, aumentando la temperatura de combustión mejora el rendimiento, lo cual redundará por otro lado, en un aumento de las emisiones de NO_x.

El objetivo final para solucionar los problemas del estado de la técnica es el de proporcionar un ciclo para producir energía mecánica fundamentalmente, que no emite de gases de efecto invernadero a la atmósfera y con el que se obtienen mayores rendimientos de los que se consiguen actualmente en otros ciclos combinados convencionales.

La presente invención se refiere a una instalación para ejecutar un proceso de ciclo combinado que utiliza agua como fluido caloriporante, con la finalidad de generar energía mecánica, dicha instalación concebida específicamente para operar en ciclo cerrado, o para llevar a cabo un proceso basado en oxi-combustión interna en el que intervienen al menos un ciclo Rankine que trabaja de forma integrada con una variante de ciclo Brayton que es regenerado mediante una bomba de calor que intercambia con éste energía térmica (entre el ciclo Brayton y la bomba de calor no hay intercambio de materia) y de modo que mediante la combinación de dichos ciclos constituyentes se consigue la generación de energía mecánica sin necesidad de emitir gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Una alternativa para evitar la emisión de gases contaminantes a la atmósfera consiste en utilizar ciclos combinados que operen en ciclo cerrado. Es decir, que en éstos el fluido caloriporante es recirculado sin necesidad de ser renovado ni de que entre en contacto con la atmósfera. Sin embargo, siempre que la fuente de calor del ciclo sea la energía de una combustión interna, se requiere aportar de modo continuo unos reactivos químicos (combustible y comburente) al tiempo que se necesita eliminar del ciclo los productos

generados por la reacción química de combustión. Esto plantea importantes problemas económicos, técnicos y medioambientales, especialmente en lo que se refiere a la separación en continuo de los productos de la combustión en el seno de la fase gaseosa que actúa como fluido caloriportante. Otro inconveniente es que al no utilizar aire como comburente, los ciclos cerrados precisan de oxígeno puro para llevar a cabo el proceso de combustión y para ello dependen de algún tipo de proceso auxiliar que se lo suministra.

Una manera efectiva de aumentar la eficiencia del ciclo Brayton es mediante la “Regeneración”, por la cual una parte del calentamiento del ciclo se realiza usando una fuente de calor interna del propio ciclo.

Como resultado de la “Regeneración”, se consigue una mejora del rendimiento del ciclo porque se reduce la cantidad de calor exterior que se requiere aportar al ciclo, al tiempo que se reduce la cantidad de calor que el ciclo desprende al ambiente.

Se conoce como “Ciclo Brayton Regenerativo” a aquel ciclo Brayton que recupera una parte del calor que se desprende de los gases calientes tras la turbina y lo transfiere, mediante un intercambiador de calor, a los gases comprimidos antes de que entren al quemador. Sin embargo, este método de regeneración no es exclusivo siendo también factible “regenerar” un Ciclo Brayton mediante cualquier otro procedimiento capaz de recuperar calor de alguna parte del ciclo para reintroducirlo de nuevo en el propio proceso.

Uno de los aspectos innovadores de la presente invención es que comprende los medios necesarios para realizar un ciclo Brayton regenerado mediante una “bomba de calor” conectado a uno o más ciclos Rankine dando lugar a una Instalación de ciclo combinado de características singulares.

En termodinámica, se define una “bomba de calor” como una máquina frigorífica que toma energía calorífica de un cuerpo y lo transfiere a otro que se encuentra a mayor temperatura gracias a una cantidad de energía aportada desde el exterior (generalmente como trabajo mecánico de compresión). A todos los efectos se considera que una máquina frigorífica es idéntica a una bomba de calor y se le denomina de uno u otro modo de manera arbitraria o considerando la aplicación a la cual se destina.

A nivel industrial, existen dos tipos de máquinas frigoríficas o bombas de calor, según el tipo de tecnología que usan: máquinas frigoríficas de compresión y máquinas frigoríficas de absorción. Cualquiera de estos dos tipos de máquinas (de compresión o de absorción) tienen en común que ambas disponen de un condensador (foco caliente) y de un

evaporador (foco frío) separados por un dispositivo expensor. Sin embargo, se diferencian en la manera y el tipo de energía utilizada para conseguir que el foco frío y el foco caliente operen a distinta presión.

Las máquinas frigoríficas de compresión utilizan un compresor de gas que consume trabajo mecánico tomado del exterior, mientras que las máquinas de absorción requieren, básicamente, para su funcionamiento el aporte externo de una fuente de calor y están basadas en el principio físico-químico de absorción/desorción de un gas en un líquido. Las máquinas frigoríficas de “absorción” convencionales, prescinden de compresor porque un sistema Absorbedor/Desorbedor se encarga, sin necesidad de medios mecánicos, de generar la presión diferencial que se precisa haciendo que el absorbedor y evaporador trabajen a una presión inferior a la que trabaja el generador y condensador. En lugar de precisar de un trabajo de compresión para su funcionamiento, las máquinas de absorción requieren de una cantidad adicional de calor para llevar a cabo la operación de “desorción” (evaporación del gas disuelto). Ulteriormente, esta cantidad adicional de calor es eliminada cuando se lleva a cabo el proceso de “absorción” inverso. Esta pérdida adicional de calor es el motivo por el cual, comparativamente las máquinas de absorción desperdician y precisan más energía para su funcionamiento que las máquinas frigoríficas de compresión, haciendo que comparativamente su eficiencia energética resulte siempre inferior. Sin embargo, las máquinas de absorción tienen la ventaja de que, salvo por la bomba de disolución, prácticamente no precisan trabajo mecánico para su funcionamiento.

La aplicabilidad de una “bomba de calor” para poder asistir regenerando al Ciclo Combinado de la invención está muy restringida por una serie de limitaciones termodinámicas ineludibles, por un lado, y por otro, por los requisitos particulares de operación que se le solicitan. Es decir, que no cualquier bomba de calor sirve para regenerar un ciclo Brayton.

Para que una determinada bomba de calor pueda ser útil para “regenerar” un ciclo Brayton como el que se propone, se requiere satisfacer los siguientes requisitos:

- que el “foco frío” de la bomba de calor trabaje a temperaturas próximas a la condensación del vapor de agua a presión atmosférica.
- que el salto térmico entre el “foco frío” y “foco caliente” sea notable (varias decenas de grados centígrados) para regenerar un vapor a una presión significativamente mayor a la cual fue previamente condensado.
- que la energía mecánica de compresión también sea tomada y retornada del

propio ciclo Brayton al cual se está regenerando.

- que el rendimiento del ciclo frigorífico resulte suficientemente elevado como para hacer que resulte rentable este método de regenerar una parte del Ciclo Combinado.

5 La instalación que trabaja según el Ciclo Combinado objeto de esta invención ofrece, por un lado, una eficiencia superior a la que ofrecen los ciclos combinados convencionales y por otro lado, una captura intrínseca del CO₂ (dióxido de carbono) cuando alguna de las Fuentes térmicas que aportan energía calorífica al Ciclo Combinado esté constituida por un quemador. La instalación de la invención y el procedimiento que se realiza con ella
10 ofrecen implícitamente un sistema de separación-captura de dióxido de carbono.

Se entiende que el Ciclo combinado “es de captura intrínseca de CO₂” en tanto en cuanto este gas procedente de la combustión se obtiene por un único punto del ciclo, concentrado y confinado sin que para ello se requiera ningún proceso específico adicional distinto del propio funcionamiento del ciclo de generación de energía útil. Cuando se
15 emplean combustibles como fuente de energía, el propio funcionamiento de la Instalación separa y confina los gases contaminantes evitando que entren en contacto con la atmosfera y facilitando su ulterior tratamiento y distribución. Por otro lado, siempre que se genere agua como producto de la combustión, ésta es eliminada por otro lado del Ciclo Combinado en fase líquida y a presión ambiente.

20

En los ciclos combinados convencionales cada ciclo constituyente (de Brayton y Rankine) utiliza su fluido caloriportante particular y concretamente, su ciclo Brayton, intercambia materia y energía con la atmosfera exterior.

Por el contrario, El ciclo Brayton constituyente y el ciclo Rankine fundamental
25 constituyente que conforman este Ciclo Combinado trabajan integrados entre sí, intercambiando materia (dado que ambos utilizan agua como fluido caloriportante común) y energía entre ellos, de tal forma que componen un único Ciclo para la generación de energía mecánica con entidad propia y con características singulares.

Una característica de este Ciclo Combinado es que, si exceptuamos las inevitables
30 “pérdidas reales”, solamente se pierde calor hacia el exterior a través de un único sumidero de calor y como consecuencia de ello se obtienen rendimientos superiores a otros ciclos combinados convencionales.

Considerando que los ciclos Brayton y Rankine constituyentes que conforman el Ciclo

Combinado de esta invención tienen características particulares que difieren de estos ciclos termodinámicos en algunos aspectos esenciales, las denominaciones de “ciclo Brayton” y “ciclo Rankine” para referirse a las secciones que constituyen el Ciclo Combinado global, no resultan correctas en términos precisos porque difieren con estos
 5 ciclos en aspectos fundamentales (por ejemplo, los ciclos Brayton, por definición, no trabajan con fluido condensable). Sin embargo, de un modo u otro el Ciclo Combinado de esta invención está formado a partir de variantes o modificaciones de ambos ciclos - Brayton y Rankine- que trabajan interconectados entre sí. Por este motivo en esta memoria nos referimos a estos ciclos Brayton y Rankine modificados acompañándolos
 10 siempre de la palabra “constituyente” para evitar confusiones y facilitar la comprensión y la identificación de los componentes a los que se hace referencia.

DEFINICIONES

15 **UAX:** Unidad de Absorción para el intercambio de calor. Es el sistema que realiza la función de “bomba de calor” asistiendo la regeneración del Ciclo Combinado de potencia. A la UAX, como unidad operativa independiente se identifica con el numeral (200). Se emplea para la regeneración del ciclo Brayton constituyente. La UAX (200) aunque no intercambia materia con el Ciclo Combinado de potencia trabaja en “simbiosis” con éste,
 20 constituyendo un sistema imprescindible para que el Ciclo Combinado de generación de energía mecánica pueda funcionar. La UAX es un componente esencial de la instalación de la invención que trabaja con amoníaco y agua.

Disolución concentrada: es la disolución de amoníaco en agua que sale del Absorbedor

Disolución diluida: es la disolución de amoníaco en agua que sale del Generador (201)

25 **Disolución de concentración intermedia:** es la disolución de amoníaco en agua que sale del Generador (202) y que entra al Generador (201).

Ciclo Combinado: Salvo que se especifique lo contrario, el término “Ciclo Combinado” hace referencia al ciclo objeto de esta invención cuya finalidad es la de obtener energía mecánica a partir de energía térmica. En la presente memoria se usan indistintamente
 30 los términos “Ciclo Combinado”, “Ciclo de potencia” y “Ciclo Combinado de potencia”. En esta memoria se emplea el término “ciclo combinado convencional” para hacer referencia a cualquier posible ciclo combinado del estado de la técnica actual.

Ciclo Regenerativo: Es un ciclo que dispone de un sistema de intercambiadores de calor para realizar su “regeneración”, por la cual una parte del calentamiento del ciclo se realiza

usando una fuente de calor interna del propio ciclo.

Ciclo Brayton constituyente: Es la parte del Ciclo de potencia de esta invención que es regenerada por la Bomba de Calor UAX (200). El funcionamiento de esta parte del ciclo de potencia se basa en una modificación del ciclo de Brayton, que en esta invención
5 dispone de características específicas particulares al utilizar un fluido condensable (agua), trabajar interconectado con un ciclo de Rankine y estar regenerado por una bomba de calor UAX (200).

Ciclo Rankine fundamental constituyente: Es la parte del Ciclo de potencia de esta invención que es impulsada por la Bomba de agua de alimentación (119) y por la Turbina
10 TAP (122). El funcionamiento de esta parte del Ciclo de potencia se basa en un ciclo de Rankine, sin embargo en esta invención el “ciclo Rankine fundamental” dispone de características específicas particulares al trabajar interconectado con un “ciclo de Brayton constituyente”, por lo que ambos comparten ciertos elementos comunes. El Ciclo Rankine fundamental constituyente es parte esencial del ciclo de potencia.

Ciclo Rankine Secundario: Es un ciclo Rankine auxiliar, es decir, que no es un sistema esencial del Ciclo de potencia. En las configuraciones del Ciclo Combinado que disponen de “ciclo Rankine secundario”, su Condensador (128) siempre realiza la función esencial de “Sumidero de calor”. El “ciclo Rankine secundario” se caracteriza por disponer de una
15 Turbina TBP (127) propia y por funcionar siempre a menor presión que el ciclo Rankine fundamental constituyente.

Ciclo abierto: Es un ciclo donde el fluido caloriportante no se recicla sino que se renueva constantemente. En los ciclos abiertos existe, al menos, un punto por el que entra fluido del exterior y otro punto por el cual sale fluido desde el ciclo hacia el exterior.

Ciclo cerrado: Ciclo del cual ni sale ni entra fluido caloriportante, en el que el suministro
25 de calor exterior se realiza siempre a través de intercambiadores de calor de tal manera que no se produce intercambio de materia del fluido del ciclo con el exterior. El Ciclo Combinado de potencia es cerrado cuando no dispone de ningún quemador que le aporta energía.

Ciclo de combustión Externa: Es un ciclo cerrado donde la fuente de aporte de calor
30 es un proceso de combustión que tiene lugar fuera del ciclo.

Ciclo de combustión Interna: Es un ciclo cerrado donde la fuente de aporte de calor es un proceso de combustión de tal modo que los productos de la reacción química constituyen o pasan a formar parte del fluido caloriportante.

Oxicombustión: Es un proceso de combustión donde no se utiliza aire como comburente

si no que se emplea oxígeno puro diluido en el propio fluido caloriportante (vapor de agua en esta invención).

Ciclo semicerrado: En esta invención se denomina de este modo a un ciclo que es a la vez de combustión interna, de oxcombustión y en el cual, además, el fluido caloriportante se recicla tras eliminar de él los productos de la combustión.

CoP: Se define como CoP (*Coefficient of Performance* por sus siglas en inglés) de una “bomba de calor” a la relación o cociente de dividir la energía térmica útil transferida entre la energía aportada para conseguirla. Es decir que el CoP es el coeficiente que determina el rendimiento de cualquier máquina frigorífica. El concepto de rendimiento CoP cambia según se trate de una máquina de compresión (en la que la energía aportada es un trabajo mecánico consumido por el compresor) o de una máquina de absorción (en la cual la energía aportada es fundamentalmente calor suministrado al generador).

Instalación: Conjunto generador de energía mecánica formado por el Ciclo Combinado de potencia y por la bomba de calor UAX (200).

Elemento de intercambio de calor: Cualquiera de los lados que constituyen un intercambiador de calor independientemente de que reciba o desprenda calor. Cualquier intercambiador de calor está constituido por, al menos dos elementos. En esta invención se emplea de manera abreviada el término “Elemento” acompañado del numeral que lo identifica concretamente. En esta invención se denomina a cualquier intercambiador de calor indicando el numeral de los dos o más “Elementos” que lo constituyen.

Serpentín: Elemento de intercambio de calor formado por haces tubulares con cualquier tipo de configuración. En esta invención se utiliza este término para referirse al elemento de un intercambiador que trabaja a mayor presión. En ningún caso puede vincularse el funcionamiento con la forma geométrica del elemento de intercambio de calor al cual se hace referencia de esta manera.

Lado Carcasa de un Intercambiador de Calor: En esta memoria se emplea este término para referirse al elemento de un intercambiador que trabaja a menor presión y que contiene en su interior al Elemento de intercambio de calor que opera con mayor presión.

Intercambiador por Condensación: Es un intercambiador de calor en el que tiene lugar la condensación (parcial o total) del vapor de agua que circula por su Elemento “lado de carcasa”. Este calor de condensación se transmite a uno o varios serpentines o elementos de intercambio para elevar la temperatura del fluido que por éstos circula.

Sumidero de Calor: En esta invención se emplea el término “Sumidero de calor” para

determinar el elemento intercambiador de calor por el cual el Ciclo Combinado desprende calor perdido hacia el exterior del ciclo. En el Ciclo Combinado de potencia el “Sumidero de calor” lo constituye siempre un Elemento (128) que produce la condensación de vapor en la parte final o después del CRC (103). Cuando para cumplir esta función y en tal

5 ubicación se dispone de un ciclo Rankine secundario, éste ciclo auxiliar siempre dispondrá de un elemento final de condensación referido con el numeral (128) para identificar con claridad que éste es el elemento único por el que se transmite calor al exterior del ciclo.

Pérdidas reales: Con este término se hace referencia a las irreversibilidades inevitables y las pérdidas de calor por conducción, convección y radiación que tiene cualquier

10 componente por el simple hecho de tener mayor temperatura que el ambiente. Puesto que las pérdidas reales resultan inevitables en cualquier ciclo real, en esta memoria aunque no se mencionen explícitamente, se consideran obvias.

En esta memoria, aunque no se pueda aceptar como correcto conforme a la

15 termodinámica, se considera también como “pérdidas reales” el calor latente que contienen los productos de la combustión que se obtienen del Ciclo combinado porque en realidad, éstos salen con temperatura tan baja -agua líquida por un lado y CO₂ que sale del Condensador de regeneración (107)-, que resulta irrelevante o se pueden considerar despreciables a efectos prácticos.

20 **Fluido caloriporante:** Es el fluido que contiene, circula y transporta la energía que se transfiere en los distintos elementos que constituyen un ciclo termodinámico.

Cogeneración: En esta memoria se entiende por cogeneración como un procedimiento opcional por el cual, además de energía mecánica, se obtiene una cantidad adicional de energía térmica que resulta de utilidad para cualquier tipo de proceso ajeno al propio

25 Ciclo de potencia. En esta memoria se considera a todos los efectos que el calor que el Ciclo Combinado desprende al exterior en concepto de “cogeneración” es siempre un calor útil y que en ningún caso representa una pérdida de energía del ciclo porque se considera que la instalación se diseña teniendo en cuenta esta extracción de energía calorífica del Ciclo de potencia, la cual se realiza conforme a unos requisitos concretos y

30 bajo las especificaciones de temperatura impuestas por el sistema externo de consumo a los que este calor se destina.

Energía útil: Se considera con este término a la suma del calor de uso externo del ciclo en concepto de “cogeneración” más el trabajo mecánico neto generado por el Ciclo de potencia.

Eje de potencia: el Eje de potencia (130) está constituido por el conjunto de elementos mecánicos por los cuales las máquinas del Ciclo de potencia y de la UAX, reciben o aportan energía mecánica.

Físicamente, el Eje de potencia no tiene por qué ir necesariamente constituido por un eje mecánico común al que van acopladas mecánicamente todas las turbo-máquinas del ciclo, puesto que también es factible la opción de que cada compresor vaya acoplado a un motor independiente y cada turbina esté acoplada a su generador eléctrico correspondiente. No obstante, la utilización de este concepto de eje de potencia facilita la comprensión, al considerar que el trabajo mecánico neto del Ciclo Combinado se obtiene del Eje de potencia (130) como resultado del sumatorio de todos los trabajos mecánicos de las máquinas que lo constituyen (considerando su signo).

Oxígeno industrialmente puro: En esta memoria se utiliza el término “Oxígeno industrialmente puro” para referirnos a este gas cuando en sus condiciones de suministro cumple los estándares internacionales para ser considerado “oxígeno puro de calidad industrial”. Se considera evidente que, aunque indeseables, trazas de impurezas siempre acompañan al oxígeno como comburente de uso industrial.

Presión y temperatura supercrítica: Son condiciones de presión y de temperatura superiores a las del punto crítico de una determinada sustancia. El punto crítico es aquel en el que la densidad del vapor es igual a la del líquido.

Presión ambiente: En esta memoria se emplea el término “presión ambiente” para referirnos a un rango de presión correspondiente a la presión de saturación de vapor de agua comprendido entre los 80°C y los 120°C. Es decir que se considera presión ambiente el rango de presión que va desde los 0,5 bara hasta los 2,0 bara aproximadamente.

Bara: bar absoluto

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

En esta memoria se incluyen cinco figuras. Las cuatro primeras son representaciones esquemáticas que corresponden a las diferentes configuraciones o versiones de diseño que se presentan del Ciclo Combinado de potencia. Por su parte, la quinta figura representa esquemáticamente la configuración de la “Unidad de Absorción para el Intercambio de calor” (UAX), la cual realiza la función imprescindible de asistir al Ciclo de potencia como “bomba de calor”.

La **Figura 1** muestra la versión de diseño conceptual de un “Ciclo Combinado Esencial”

según la **Configuración-1** que dispone de los elementos imprescindibles para que el Ciclo Combinado pueda funcionar asistido por bomba de calor (UAX) conforme a esta invención. Cualquiera que sea la configuración de diseño del Ciclo de potencia contiene todos los elementos esenciales comprendidos en esta **Figura-1**, motivo por el cual se consideran a estos componentes como “esenciales”.

La **Figura-2** muestra esquemáticamente la versión de diseño de la instalación para llevar a cabo el Ciclo Combinado de generación de energía mecánica según la **Configuración-2** de la invención que incluye además de los equipos esenciales del ciclo (mostrados en la **Figura-1**), los elementos que aportan una mejora de la eficiencia del Ciclo Combinado, con la particularidad de que trabaja con presión superior a la atmosférica en todo el Conducto de recuperación de calor (103). En el tramo final del CRC (103) se genera vapor de un ciclo Rankine secundario que utiliza su propio fluido caloriportante independiente del resto del Ciclo de potencia. Esta configuración supone que dentro del CRC (103) existe un tramo de conducto final en el cual se produce condensación parcial del vapor de agua que circula por éste para generar vapor en el ciclo Rankine secundario.

La **Figura 3** muestra esquemáticamente la versión de diseño de la instalación para llevar a cabo el Ciclo Combinado de generación de energía mecánica según la **Configuración-3** de la invención que incluye además de los equipos esenciales del ciclo (mostrados en la **Figura-1**), los elementos que aportan una mejora de la eficiencia del Ciclo Combinado, con la particularidad de que en esta configuración del Ciclo Combinado, no se produce condensación dentro del Conducto de recuperación de calor CRC (103) sino que se dispone de un Conducto independiente (105) en el que se produce la condensación parcial del vapor de agua que circula por éste. Entre ambos conductos (103) y (105) respectivamente, existe un Ventilador (104) que succiona los gases y el vapor de escape del CRC (103) y eleva la presión en el tramo de Conducto (105) en la que se aloja el Evaporador (125) de un ciclo Rankine secundario que utiliza su propio fluido caloriportante independiente del resto del Ciclo de potencia.

La **Figura-4** muestra esquemáticamente la versión de diseño de la instalación para llevar a cabo el Ciclo Combinado de generación de energía mecánica según la **Configuración-4** de la invención asistido por UAX (200) que incluye además de los equipos esenciales del ciclo (mostrados en la **Figura-1**), los elementos que aportan una mejora de la eficiencia del Ciclo Combinado, que por su simplicidad resulta más adecuada cuando la instalación se destina a trabajar en ciclo cerrado o cuando se utiliza exclusivamente hidrogeno como combustible. Esto es, cuando no hay presencia de CO₂ en el Ciclo de

potencia.

Esta configuración del Ciclo Combinado presenta la particularidad de utilizar una parte del caudal de vapor de agua que circula por CRC (103) para ser enviado directamente a la turbina (127) de un ciclo Rankine secundario que utiliza el mismo fluido caloriportante que el resto del Ciclo de potencia. Por otro lado, también el agua condensada que se obtiene del Condensador (128) se utiliza directamente como agua de alimentación para el resto del Ciclo Combinado. Esto supone, que en esta versión del Ciclo de potencia que el ciclo Rankine secundario no forma un ciclo independiente, si no que se encuentra integrado formando un único ciclo.

La **Figura 5** es una representación esquemática de un ejemplo de realización básica de una “Unidad de Absorción para el Intercambio de calor (UAX)” que realiza la función de “bomba de calor” imprescindible para el funcionamiento del Ciclo Combinado de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a una instalación según la reivindicación 1, así como a un procedimiento para generación de energía según la reivindicación principal del procedimiento. Realizaciones particulares de la instalación y del procedimiento se describen en las respectivas reivindicaciones dependientes.

La presente invención se refiere a una instalación para generación de energía mediante un Ciclo Combinado de Potencia que comprende al menos:

- medios para llevar a cabo un ciclo Brayton regenerativo constituyente, cerrado o semicerrado, que utiliza agua como fluido caloriportante,

- medios para llevar a cabo al menos un ciclo Rankine, ciclo Rankine fundamental constituyente, interconectado con el ciclo Brayton regenerativo constituyente, compartiendo agua como fluido caloriportante común y

- una bomba de calor (UAX) que comprende un circuito cerrado que regenera el ciclo Brayton constituyente.

La instalación para generación de energía comprende además una Fuente térmica esencial (101), que está seleccionada entre:

- un intercambiador de calor y
- un quemador de oxcombustión,

tal que en dicha Fuente térmica esencial (101) se unen corrientes de ambos ciclos de

Brayton constituyente y Rankine fundamental constituyente.

Según realizaciones particulares adicionales de la instalación, cuando el Ciclo Combinado de potencia es semicerrado, de oxidcombustión y captura de CO₂, comprende al menos un quemador de combustión interna mediante el cual recibe energía del exterior.

Según realizaciones particulares de la instalación, cuando el Ciclo Combinado de potencia es cerrado, no dispone de ningún quemador y comprende al menos un intercambiador de calor mediante el cual recibe energía del exterior y no dispone de ningún quemador de combustión interna.

Para cualquiera de las realizaciones mencionadas, la instalación comprende, además:

- un Condensador de regeneración (107), mediante el cual la instalación transmite energía al foco frío (201) de la bomba de calor UAX,
- un Rehervidor (113), mediante el cual retorna calor al Ciclo de potencia desde el foco caliente (210) de la bomba de calor UAX.
- una Bomba de condensado de regeneración (111), que impulsa el condensado obtenido en el fondo del Condensador de regeneración (107), y lo hace fluir hacia el Rehervidor (113),
- un Conducto de recuperación de calor, CRC, (103), en el que se genera vapor de agua,
- al menos dos turbinas, de las cuales una es una Turbina de alta presión TAP (122), que envía vapor de agua hacia la Fuente térmica esencial (101) y otra turbina es de alta temperatura TAT (102), que envía vapor al Conducto de recuperación de calor CRC (103).
- al menos un Eje común de potencia (130), del cual se obtiene la energía mecánica útil del ciclo,
- un sistema que realiza la función de Sumidero de calor condensando vapor en el fondo o tras el CRC (103),
- una Bomba de retorno de condensado (109),
- una Bomba de agua de alimentación de (119) del ciclo Rankine fundamental constituyente,
- un generador de vapor del ciclo Rankine fundamental constituyente que conste

de:

- serpentines Economizadores (120),
- Evaporadores y Sobrecalentadores de vapor de agua (121) situados en el interior del Conducto de recuperación de calor (103),
- 5 - un Elemento de intercambio de calor por condensación (106), previo a la entrada de vapor y gases al Condensador de regeneración (107), que cede calor a un Precalentador de retorno de condensado (110),
- un Elemento de intercambio de calor por condensación (114), dispuesto a la salida del Rehervidor (113), que cede calor a un Precalentador (112) del agua de entrada
- 10 al propio Rehervidor (113),
- una línea de bypass que une el ciclo Brayton constituyente con el ciclo Rankine fundamental constituyente, situada entre la impulsión de la Bomba de condensado de regeneración (111) y la aspiración de la Bomba de agua de alimentación (119).
- 15 En el caso de que el ciclo Brayton constituyente sea semicerrado, de oxicomustión, en el caso de usar combustibles con carbono, la instalación comprende:
- una salida para el CO₂ producido en la combustión, situado en el Condensador de regeneración (107) en estado gaseoso, y
- una salida de agua líquida producto de la combustión en la línea de retorno de
- 20 condensado.

En el caso de que en la instalación para generación de energía, el ciclo Brayton sea cerrado, o bien en el caso de usar hidrógeno como único combustible, el sumidero de calor puede consistir en un ciclo Rankine secundario que utilice el mismo fluido del resto

25 del ciclo de potencia estando interconectado con la instalación a través del CRC (103) y la Bomba de retorno de condensado (109).

En cualquiera de las realizaciones anteriores, la instalación para generación de energía puede comprender, además de la Fuente térmica esencial (101), otra fuente térmica

30 suplementaria (132) que aporta calor adicional al Ciclo de potencia procedente del exterior, (que puede ser intercambiador o quemador presurizado) situado entre el Sobrecalentador final (121) y la Turbina TAP (122).

En cualquiera de las realizaciones anteriores, la instalación para generación de energía

puede comprender además un compresor (115) o varios compresores de vapor (117), conectados en serie, situados a la salida de vapor del Elemento intercambiador (114), y previo a la entrada de vapor en la Fuente térmica esencial (101).

- 5 En cualquiera de las realizaciones anteriores, la instalación para generación de energía puede comprender además, un intercambiador refrigerador de vapor (116/118) entre los compresores conectados en serie (115) y (117).

- 10 En cualquiera de las realizaciones anteriores, la instalación para generación de energía puede comprender además, en la línea de condensado que sale de fondo del Elemento intercambiador por condensación (114), una línea de retorno hacia el Rehervidor (113).

- 15 En cualquiera de las realizaciones anteriores, la instalación para generación de energía puede comprender, además, un intercambiador adicional dispuesto en la entrada de vapor del Conducto de recuperación de calor (103) para generar calor que puede tener uso externo de la instalación, útil entre otras, para aplicaciones de cogeneración, mediante un Serpentín de intercambio de calor (133).

- 20 En cualquiera de las realizaciones anteriores, la instalación para generación de energía puede comprender, además, un Elemento de intercambio de calor para cogeneración (133) dispuesto en el interior del Conducto de recuperación de calor (103) del cual extrae energía calorífica útil que puede ser destinado para su uso externo en cualquier tipo de aplicación industrial.

- 25 En cualquiera de las realizaciones anteriores, la instalación para generación de energía puede comprender, además:
- un Ventilador (104), que toma vapores de salida del Conducto de recuperación de calor (103) y los comprime para enviarlos a un Elemento intercambiador por condensación (105), en el que se aloja un evaporador (125) de un ciclo Rankine secundario
- 30 independiente.

En la realización mencionada en el párrafo anterior la instalación para generación de energía puede comprender, además:

- un intercambiador de calor (108/124) en el cual circulando por carcasa (108) se

enfria el condensado procedente del Conducto (105) y en cuyo interior aloja un economizador (124) del ciclo Rankine secundario independiente.

En cualquiera de las realizaciones anteriores, la Bomba de Calor UAX (200) de la
5 instalación comprende:

- un Generador principal (201) de amoníaco gaseoso, que actúa como foco frío, que intercambia calor únicamente con el Condensador de regeneración (107),
- un Generador secundario (202), que recibe una disolución amoniaca procedente de un Absorbedor (210), y que envía el vapor de amoníaco hacia unos Compresores
10 (203), mientras que la disolución amoniaca remanente la envía al generador principal (201),
- al menos dos Compresores de amoníaco (203), conectados en serie, con refrigeración intermedia, que reciben amoníaco de los Generadores principal (201) y secundario (202)
- 15 - un Condensador de amoníaco comprimido (207) que recibe el amoníaco comprimido y enfriado en un Evaporador de amoníaco supercrítico (209), y transmite el calor al Generador secundario (202),
- un Evaporador de amoníaco supercrítico (209),
- una Bomba de amoníaco condensado (208) procedente del Condensador de
20 amoníaco comprimido (207), que lo impulsa hacia el Evaporador de amoníaco (209), en el que se produce vapor de amoníaco a presión supercrítica,
- un Absorbedor de amoníaco (210), que recibe el vapor procedente del Evaporador de amoníaco supercrítico (209) y lo disuelve en una fase acuosa, y
- una Bomba de trasiego (215) que transfiere la solución diluida de amoníaco del
25 Generador principal (201) hacia el Absorbedor (210).

La Bomba de Calor UAX (200) puede comprender, además:

- un intercambiador de calor (213/214) entre solución diluida de amoníaco procedente del Generador principal (201) y la solución concentrada de amoníaco
30 procedente del Absorbedor (210),
- un Serpentin (211) alojado en el interior del Evaporador de amoníaco (209), que aprovecha el calor que contiene la disolución concentrada de amoníaco procedente del Absorbedor (210), para producir amoníaco supercrítico,
- un Serpentin de enfriamiento (206) de amoníaco comprimido procedente de los

Compresores (203), que aporta calor al Evaporador de amoniaco supercrítico (209).

La presente invención se refiere además a un procedimiento de generación de energía basado en un Ciclo Combinado que se lleva a cabo mediante el uso de la instalación
5 definida anteriormente.

El procedimiento definido comprende:

- realizar un ciclo Brayton constituyente cerrado o de oxidación, regenerado por bomba de calor (UAX), que utiliza agua como fluido caloriportante, y producir energía
10 mecánica en la Turbina de alta temperatura TAT (102),
- realizar un ciclo Rankine constituyente interconectado con el ciclo Brayton anterior, y que intercambia materia y energía con éste, ya que ambos utilizan agua como fluido caloriportante común y producir energía mecánica en la Turbina TAP (122),
- 15 - utilizar una bomba de calor UAX (200) que intercambia energía con el ciclo de Brayton constituyente para regenerarlo y absorber energía mecánica en unos compresores (203).

En el procedimiento de la invención todo el vapor de agua del ciclo puede condensar
20 completamente en el Condensador de regeneración (107) donde queda libre en fase gaseosa el CO₂ en el caso de que el ciclo utilice combustibles distintos del hidrógeno.

Según realizaciones particulares del procedimiento el vapor de agua que circula por el Condensador de regeneración (107) condensa completamente a consecuencia del calor
25 que se transmite hacia el foco frío de la UAX (200), dejando como residuo gaseoso únicamente el CO₂ incondensable en el caso de que el ciclo utilice combustibles distintos del hidrógeno.

El procedimiento según la invención la regeneración del ciclo Brayton constituyente se
30 puede realizar mediante la acción de la bomba de calor UAX (200), reciclando el calor de condensación de vapor a la temperatura del foco frío para retornarlo posteriormente al ciclo, a través del foco caliente, para regenerar vapor de agua a mayor presión y temperatura con la que previamente fue condensada.

Según realizaciones particulares, el procedimiento comprende:

- condensar en el Condensador de regeneración (107) el vapor de agua a presión ambiente, cediendo el calor obtenido al foco frío (201) de la bomba de calor UAX (200)
- regenerar vapor de agua en el Rehervidor (113) a una presión más elevada que la presión a la cual había condensado en el Condensador de regeneración (107), mediante el calor que aporta el foco caliente (210) de la bomba de calor UAX (200).

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende usar una fuente térmica suplementaria (132), que aporta calor adicional al Ciclo de potencia procedente del exterior, situada entre el Sobrecalentador (121) y la Turbina TAP (122).

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende usar un único sumidero de calor, por el cual el ciclo transmite calor perdido al exterior. La función de sumidero de calor puede ser realizada por un ciclo de Rankine secundario independiente.

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende usar un conducto de recuperación de calor CRC (103), que utiliza el calor remanente de salida de turbina TAT (102) para generar vapor sobrecalentado del ciclo de Rankine fundamental constituyente.

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende realizar un Ciclo Combinado de oxidación, y que utiliza combustibles líquidos o gaseosos, de fórmula general $C_xH_yO_z$ en estado puro o mezclados, donde x, y y z, tienen valores tales que corresponden a compuestos químicos reales y capaces de quemar con oxígeno. Son combustibles preferentes hidrocarburos gaseosos o de bajo punto de ebullición, como por ejemplo: metano, etano, propano, o mezclas de éstos como puede ser el gas natural depurado. Alcoholes sencillos como metanol o etanol son también combustibles utilizables. El CO (monóxido de carbono) es la única sustancia libre de hidrógeno que es susceptible de ser utilizada como combustible en los quemadores del Ciclo Combinado de potencia.

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende condensar una parte del vapor de agua procedente del Conducto de recuperación de calor (103) mediante el sumidero de calor y el intercambiador por condensación (106/110) antes de

que el Condensador de regeneración (107) termine por condensar todo el vapor de agua que se encuentra a presión ambiente.

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende precalentar el agua que entra al Rehervidor (113) con calor de condensación del vapor que sale del propio Rehervidor (113). Esta condensación tiene lugar en el elemento intercambiador de calor (114).

Otra parte del calor de condensación de elemento intercambiador de calor (114) puede ser usada para precalentar el combustible y el comburente por separado, mediante un Serpentin de intercambio de calor (131). Esta aplicación de precalentar el combustible y comburente del Ciclo Combinado mediante el calor obtenido en el serpentín (131) no es excluyente de cualquier otro tipo de uso adicional al que se pueda destinar este calor, incluso tratándose de aplicaciones ajenas al Ciclo de potencia.

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende aumentar la presión del vapor que proporciona el Rehervidor (113) y que sale del Elemento de intercambio por condensación (114) utilizando los Compresores mecánicos adicionales (115) y (117), conectados en serie y capaces de suministrar presión suficiente para enviar este vapor hacia la Fuente térmica esencial (101).

Una parte de condensado generado en el Elemento (114) se emplea para refrigerar el vapor entre etapas de compresión circulando por el Serpentin de refrigeración (118) mientras que el resto de condensado se retorna directamente al Rehervidor (113).

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende un bypass que conecta el ciclo de Brayton constituyente con el ciclo de Rankine fundamental constituyente, por el cual se intercambia agua, estando dicho bypass localizado entre la línea de impulsión de la Bomba de condensado de regeneración (111) y la aspiración de la Bomba de agua de alimentación (119).

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende además utilizar calor de condensación parcial de vapor que sale del Rehervidor (113) para su uso en otras aplicaciones, de manera particular para su uso en una aplicación exterior independiente de la Instalación haciendo uso del Serpentin (131).

Según realizaciones particulares adicionales, el procedimiento comprende aumentar la presión del vapor que proporciona el Rehervidor (113) utilizando los Compresores mecánicos adicionales (115) y (117), conectados en cascada, con refrigeración intermedia y capaces de suministrar presión suficiente para enviar este vapor hacia la Fuente térmica esencial (101).

Según realizaciones particulares adicionales comprende:

- en el caso de realizar un Ciclo Combinado de potencia cerrado, o que queme únicamente hidrógeno, enviar directamente vapor procedente del Conducto de recuperación de calor CRC (103) hacia la Turbina TBP (127) del ciclo de Rankine secundario, la cual opera en condiciones de vacío que proporciona el Condensador (128), desde el cual se retorna el condensado como agua de alimentación al ciclo Rankine fundamental constituyente. Con este procedimiento el ciclo de Rankine secundario utiliza el mismo fluido caloriportante que el resto del Ciclo de potencia.

Según el procedimiento de la invención, los gases de salida del CRC (103), pueden ser comprimidos mediante un Ventilador (104) que los envía al Elemento intercambiador de calor por condensación (105), con el cual se genera vapor en un Evaporador (125) de un ciclo de Rankine secundario independiente.

Según el procedimiento de la invención:

- la bomba de calor UAX (200) es una máquina frigorífica que funciona combinando operaciones de compresión y absorción, que utiliza NH_3 como fluido caloriportante y agua como disolvente,
- el Generador principal (201) de la bomba de calor UAX (200) realiza la función de foco frío, absorbiendo el calor del Condensador de regeneración (107) exclusivamente,
- el único foco frío de dicha bomba de calor UAX (200) trabaja a temperaturas entre 80°C y 120°C ,
- el Absorbedor de amoniaco (210) de la bomba de calor UAX (200) realiza la función de foco caliente, transfiriendo el calor al Rehervidor (113) exclusivamente,
- en la bomba de calor UAX (200) se realiza la compresión del vapor de NH_3 en etapas sucesivas con refrigeración intermedia,

- el Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) de la bomba de calor UAX (200) cede la totalidad del calor que desprende al Generador secundario (202), y
 - el Evaporador de amoníaco (209) de la bomba de calor UAX (200) genera NH_3 en estado supercrítico con el calor
- 5 - que le suministran los serpentines de refrigeración entre etapas de compresión (204 y 206) y
- con parte del calor latente que contiene la disolución concentrada que sale caliente del Absorbedor (210).
- 10 Una parte esencial de la invención es una Bomba de Calor de funcionamiento híbrido compresión-absorción, "UAX" (Unidad de Absorción para el Intercambio de calor) que es capaz de proporcionar estos requisitos de manera eficiente y rentable para conseguir la regeneración del ciclo Brayton constituyente del Ciclo Combinado de esta invención.
- 15 La Unidad de Absorción para el Intercambio de Calor UAX (200) es un sistema termodinámico de funcionamiento mixto por compresión y absorción agua-amoníaco, de operación cíclica y continua que se emplea como bomba de calor para traspasar energía térmica desde un Generador principal desorbedor de amoníaco (201) que actúa de foco frío, hasta un Absorbedor de amoníaco (210) que opera a mayor temperatura y que
- 20 realiza la función de foco caliente, haciendo uso de una cierta cantidad de energía mecánica aportada desde el exterior por un sistema compresor (203).
- La bomba de calor por absorción UAX no intercambia materia con Ciclo de Combinado de potencia, pero de éste recibe tanto el trabajo mecánico de compresión como el calor que absorbe su foco frío para posteriormente, retornarle toda esta energía a través de su
- 25 foco caliente.
- El Ciclo Combinado transfiere energía mecánica desde el Eje de potencia (130) al sistema de compresores de la UAX y energía calorífica desde un Condensador de regeneración (107) al foco frío de la UAX, mientras que ésta le devuelve al Ciclo Combinado toda esta energía transfiriendo calor desde el foco caliente hasta un
- 30 Rehervidor (113) que regenera vapor de agua a mayor temperatura que con la que fue condensado previamente.
- Desde el punto de vista funcional, la bomba de calor UAX (200) opera como un ciclo termodinámico que trabaja en "simbiosis termodinámica" con el Ciclo Combinado de potencia con el cual está acoplado energéticamente, de tal manera que el funcionamiento

de la Instalación según la invención queda condicionado por que se establezca este vínculo funcional entre el Ciclo de potencia y la UAX. Esto supone una diferencia clave con respecto a los ciclos combinados del estado de la técnica actual.

5 COMPONENTES ESENCIALES DEL CICLO COMBINADO DE POTENCIA

Para que una instalación funcione según el Ciclo Combinado de la invención se requiere de manera imprescindible de una serie de equipos esenciales que la hagan funcionar como tal, sin considerar cual sea su eficiencia ni atender a ningún otro tipo de factores que determinan la viabilidad económica de una instalación de este tipo.

10

Los componentes “esenciales” indispensables para que pueda funcionar una instalación según el Ciclo Combinado de esta invención son los siguientes:

101: Fuente térmica esencial. Este es el foco imprescindible por el que entra calor en el ciclo Brayton constituyente. El Ciclo Combinado de potencia recibe energía desde el exterior, de manera imprescindible, a través de la Fuente térmica esencial.

A la Fuente térmica esencial (101) le llegan tres corrientes (además del combustible y comburente en los casos de ciclo semicerrado). Por un lado, el vapor procedente de la Turbina TAP (122) del ciclo Rankine constituyente fundamental y por otro lado, le llega el vapor comprimido procedente del ciclo Brayton constituyente. La tercera corriente de entrada, parte del condensado que impulsa la Bomba (129), pudiendo circular por el Elemento de intercambio de calor (118) antes de llegar a la Fuente térmica (101), en el caso que el Ciclo de potencia disponga de un sistema de refrigeración de vapor entre etapas de compresión.

La Fuente térmica esencial (101), es por tanto, uno de los puntos de confluencia de corrientes pertenecientes al ciclo Brayton constituyente y al ciclo Rankine fundamental constituyente, lo que implícitamente hace que sea éste un punto de intercambio de materia entre ambos ciclos constituyentes.

Cuando el Ciclo Combinado funciona en ciclo cerrado la Fuente térmica esencial (101) es siempre un intercambiador de calor de elevada temperatura que recibe energía térmica del exterior. En tal caso, la única sustancia que llega a la Fuente Térmica esencial (101) es agua que tras aumentar aquí su entalpía, sale en forma de vapor sobrecalentado que se envía a la Turbina de alta temperatura TAT (102).

Cuando la Fuente térmica esencial (101) es un quemador de oxicomcombustión interna

presurizado, el Ciclo Combinado es semicerrado. En tal caso, el vapor de agua que se envía hacia a la Turbina de alta temperatura TAT (102) circula acompañado de los propios gases de la combustión (básicamente compuestos por dióxido de carbono y más vapor de agua).

5

102: Turbina de alta temperatura. TAT. Es la turbina de gas, básica en el ciclo Brayton constituyente, que realiza la función de generar trabajo mecánico con la fase gaseosa caliente que le envía la Fuente térmica esencial (101). Se la denomina de forma abreviada TAT (Turbina de Alta Temperatura) por ser la turbina que trabaja a mayor temperatura de

10

toda la instalación.
La fase gaseosa que mueve la Turbina TAT (102) está constituida por vapor de agua acompañado de los gases de combustión en el caso de que la Fuente térmica esencial (101) sea un quemador. Esta fase gaseosa, tras haber sido expandida, sale de la turbina TAT (102) con elevada temperatura y se envía al Conducto de recuperación de calor CRC

15

(103) para reaprovechar la entalpía que contienen.
103: Conducto de recuperación de calor. CRC. Se corresponde con el lado gases del intercambiador de calor que recupera el calor de gases de escape de la Turbina (102). Este calor que contienen los gases de turbina se emplea en el CRC (103) para generar el vapor de alta presión del ciclo Rankine constituyente esencial mediante los haces tubulares Evaporadores y Sobrecalentadores (120). Parte del calor que contienen los gases de escape de Turbina TAT (102) se pueden ser utilizados para aplicaciones externas ajenas al propio ciclo en lo que se denomina como “cogeneración”. Opcionalmente y con esta finalidad y dependiendo de los parámetros de operación con los que se diseña el Ciclo Combinado, en el interior del CRC (103) se dispone de algún

20

25

Elemento de intercambio de calor (133) independiente.
Finalmente, los gases salen siempre del CRC (103) con la temperatura de saturación del vapor de agua correspondiente a la “presión ambiente”.

La **Configuración-2 (Figura-2)** y en la configuración esencial (**Figura-1**) del Ciclo Combinado que se presentan, el diseño considera que se produce condensación parcial del vapor de agua que circula por el interior del último tramo de Conducto de recuperación de calor CRC (103).

30

La **Configuración-3** o versión de diseño del Ciclo Combinado según la **Figura-3**, se caracteriza porque en el Conducto de recuperación de calor CRC (103) no se produce condensación y se dispone de un Conducto (105) específico donde tiene lugar la

condensación.

Por su parte, la **Configuración-4** o versión de diseño del Ciclo Combinado según la **Figura-4**, se caracteriza porque existe una conexión de extracción de vapor en el CRC (103), justo antes de que se produzca condensación, por la cual se envía vapor de agua
5 directamente a la Turbina TBP (127).

128: Sumidero de Calor. En esta memoria se considera el Sumidero de calor (128) a aquel equipo, dispositivo o sistema por el cual el Ciclo de potencia transmite calor perdido al ambiente exterior. En esta invención, es siempre un Condensador de vapor el elemento
10 único por el cual se transmite energía calorífica perdida al exterior. Sin embargo, esta función resulta indispensable para el funcionamiento del ciclo Rankine fundamental constituyente y por consiguiente, para la Instalación de la invención en su conjunto. Cualquier elemento de intercambio de calor que condense vapor de agua contenido en los gases de salida del CRC (103) puede realizar la función de Sumidero de calor (128)
15 sin embargo y por razones de eficiencia energética, la opción más rentable consiste en disponer de algún sistema recuperador de este calor (que sea capaz de generar la condensación de vapor a presión ambiente en el otro lado del intercambio de calor), tal como puede ser, un evaporador perteneciente a otro ciclo Rankine adicional o un serpentín que extraiga calor destinado a cualquier tipo de aplicación de interés (como por
20 ejemplo puede ser un recuperador de calor acoplado a una máquina de absorción para generar frío industrial). Cuando el Ciclo Combinado dispone de un ciclo Rankine secundario, su Condensador (128) es siempre el equipo por el que se transmite calor al ambiente.

25 109: Bomba de retorno de condensado al ciclo Rankine fundamental constituyente. Es la bomba que desplaza el condensado generado por el Sumidero de calor (128) y lo hace circular por un Precalentador de retorno de condensado (110) antes de distribuir el agua que alimenta a distintas partes del ciclo.

30 110: Elemento precalentador del agua de alimentación. Constituye un intercambiador de calor junto con el Elemento (106) dentro del cual se encuentra ubicado. Es un serpentín de tubos o elemento de intercambio de calor con cualquier otra configuración que tiene por misión elevar la temperatura del condensado que retorna al ciclo impulsado por la Bomba (109) utilizando el calor de condensación de vapor que tiene lugar en el

lado carcasa del intercambiador (106).

106: Lado carcasa del intercambiador por condensación del precalentador del agua de alimentación. Constituye un intercambiador de calor junto con el Elemento precalentador de retorno de condensado (110). Es el elemento del intercambiador por el cual circula el vapor remanente obtenido por fondo de CRC (103) acompañado de los gases incondensables en el caso de ciclo de oxidación. En el elemento (106) se produce una condensación parcial de vapor de agua. Con el calor que se desprende en esta condensación se eleva la temperatura del condensado de retorno, haciendo uso del Precalentador de retorno de condensado (110).

Desde este Elemento de intercambio de calor por condensación (106) sale, para dirigirse hacia el Condensador de regeneración (107), la corriente de vapor remanente acompañado de todos los gases incondensables, cuando los hay, producidos en la combustión (cuando el ciclo es cerrado no hay quemadores y cuando el combustible es hidrógeno con oxígeno puro no se generan gases incondensables en la combustión). Por fondo del Elemento de intercambio de calor (106) se obtiene agua líquida procedente de la condensación que pasa a ser impulsada por la Bomba de condensado de regeneración (111) junto con la corriente de condensado que viene del Condensador de regeneración (107).

20

107: Condensador de regeneración. El Condensador de regeneración (107) recibe el vapor y los gases incondensables del elemento (106). Y de (107) se obtienen los gases incondensables por un lado, y por otro lado el vapor de agua condensado. El Condensador de regeneración (107) trabaja a “presión ambiente” lo cual corresponde a trabajar a la temperatura más baja del ciclo Brayton constituyente. La opción más sencilla, aunque no indispensable, es hacer que el Condensador de regeneración (107), al igual que el elemento de intercambio de calor (106) y la salida del CRC (103), opere a presiones próximas a la atmosférica en cuyo caso las temperaturas de condensación en estos tres elementos serán próximas a los 100°C.

El Condensador de regeneración (107) transfiere todo calor de la condensación del vapor hacia el Generador principal (201) el cual realiza la función de “foco frío” de la bomba de calor UAX (200).

Este calor que el Ciclo de potencia cede a la UAX (200) se retorna posteriormente a mayor temperatura a través del Rehervidor (113), el cual funciona con el calor que le

proporciona el Absorbedor de amoníaco (210) que realiza la función de “foco caliente” de la UAX (200)

Independientemente que el Ciclo Combinado trabaje en ciclo cerrado o semicerrado, en el Condensador de regeneración (107) se produce siempre la condensación total del vapor de agua que llega a él procedente del Elemento (106). Como consecuencia de esta operación, el vapor de agua se convierte en líquida mientras que el CO₂ generado en la combustión permanece confinado en fase gaseosa concentrada. Esto supone, entre otras cosas, que el CO₂ que sale del ciclo lo hace con temperaturas bastante inferiores respecto a otros ciclos combinados convencionales. Esta temperatura de salida del CO₂ se puede reducir aún más si, por ejemplo, se dispone de algún intercambiador de calor adicional con la corriente de retorno de condensado del Ciclo Combinado.

Esta separación de fases que tiene lugar en el Condensador de regeneración, hace que todo el CO₂ generado en quemadores y cualquier otro residuo gaseoso incondensable que le pudiera acompañar, se pueda eliminar del ciclo sin necesidad de entrar en contacto con la atmosfera. El dióxido de carbono se extrae del Ciclo concentrado desde el Condensador de regeneración (107) como residuo gaseoso concentrado al tener lugar la condensación del vapor de agua que le acompaña, pudiendo recuperarse fácilmente, a presión ambiente, para su ulterior procesamiento en una planta independiente de licuefacción de CO₂ que facilita su transporte o distribución y que se destina a las aplicaciones industriales que se consideren oportunas pero pudiendo, en cualquier caso, evitar que los gases procedentes de la combustión causantes del “efecto invernadero” terminen vertidos directamente a la atmosfera.

Esto supone para el Ciclo de potencia de esta invención una ventaja medioambiental importante frente a los ciclos combinados convencionales abiertos, en tanto en cuanto facilita que el Ciclo de potencia no implique la emisión directa hacia la atmosfera de ningún tipo de gases medioambientalmente contaminantes.

Es común en procesos de oxidación quemar con un 2 o 3% de exceso de oxígeno con respecto al estequiométrico para asegurar la combustión completa. Esta cantidad de oxígeno que no reacciona, circula desde quemadores pasando por el CRC (103) y el Elemento de intercambio de calor (106) diluido en el fluido caloripotante hasta que finalmente llega al Condensador de regeneración (107) donde es eliminado del ciclo como gas incondensable junto con el CO₂. Cuando esto sucede, el oxígeno en exceso utilizado para la combustión, puede ser recuperado en la planta de tratamiento del anhídrido carbónico para volver a ser reutilizado como comburente del Ciclo.

Finalmente, por fondo del Condensador de regeneración (107) se obtiene agua desgasificada que se retorna a diversas partes del Ciclo Combinado impulsada por la Bomba de condensado de regeneración (111). Por tanto el único tramo del Ciclo de potencia susceptible de contener CO₂ es el que hay desde los quemadores (101) y (122) hasta el Condensador de regeneración (107).

113: Rehervidor de regeneración del ciclo Brayton constituyente. Es el elemento regenerador del ciclo Brayton constituyente por el cual la “bomba de calor” UAX retorna al Ciclo Combinado, en forma de energía térmica, la cantidad de energía que previamente había sido recuperada del propio Ciclo mediante el Condensador de regeneración (107) además de la cantidad de energía que los Compresores (203) de la UAX toman del Eje de potencia (130).

El Rehervidor (113) es el elemento intercambiador de calor a través del cual se retorna calor al Ciclo de potencia procedente del Absorbedor de amoníaco (210), el cual realiza la función “foco caliente” la UAX (200). Con este calor que le suministra la UAX (200) a través del Absorbedor (210), el Rehervidor (113) regenera vapor de agua a una temperatura y presión superior a la que previamente condensó en el Condensador de regeneración (107).

Por tanto, la regeneración del ciclo Brayton constituyente mediante la bomba de calor UAX (200) se realiza reciclando el calor de condensación de vapor a la temperatura del “foco frío” para retornarlo posteriormente al ciclo, a través del “foco caliente”, para regenerar vapor de agua a mayor presión y temperatura con la que previamente fue condensada.

111: Bomba de condensado de regeneración del ciclo Brayton constituyente. La Bomba (111) aspira el condensado generado en el Elemento de intercambio de calor por condensación (106) junto con el agua desgasificada obtenida por fondo del Condensador de regeneración (107) y lo impulsa hacia el Elemento precalentador del agua (112) con presión suficiente como para finalmente, alimentar al Rehervidor (113).

En la línea de impulsión de esta Bomba de condensado de regeneración (111) se dispone de un bypass con la línea de aspiración de la Bomba de agua de alimentación (119) por el cual se intercambia agua entre los ciclos Brayton y Rankine constituyentes para establecer el balance de materia y energía que se requiere de manera imprescindible, para poder constituir un Ciclo Combinado según esta invención y que depende de las

variables de diseño de la instalación y de las condiciones de operación del ciclo.

112: Elemento precalentador del agua de entrada al rehervidor (113). El Elemento (112) es un serpentín de tubos o elemento de intercambio de calor con cualquier otra configuración que se encuentra situado en el interior de un elemento de intercambio de calor por condensación (114) del cual recibe calor elevando la temperatura del agua que alimenta al Rehervidor de regeneración (113).

114: Lado carcasa del intercambiador por condensación del precalentador del agua de entrada al Rehervidor (113). Es un elemento de intercambio de calor por condensación en cuyo interior se encuentra el Elemento precalentador (112) del agua de entrada al Rehervidor (113). Por este Elemento (114) circula el vapor procedente del Rehervidor de regeneración (113) condensando parcialmente haciendo que en el Elemento (112) se precaliente el agua que alimenta al propio Rehervidor (113). Como resultado de la condensación parcial que tiene lugar, por fondo del elemento (114) se obtiene una corriente de agua líquida. Este agua condensada se impulsa mediante una bomba de condensado (129) y se envía una parte hacia la Fuente térmica esencial (101) pasando previamente por un Elemento de intercambio de calor (118) que refrigera el vapor entre las etapas de compresión mecánica (115) y (117). La otra parte del condensado que impulsa la Bomba de condensado (129) se recircula directamente hacia el Rehervidor (113). En el caso de que el Ciclo Combinado no dispone de los Compresores de vapor suplementarios (115) y (117), una parte del condensado que impulsa la Bomba (129) puede ser enviada directamente hacia la Fuente térmica esencial (101).

De manera opcional y con el objeto de aumentar la eficiencia del Ciclo, también es factible disponer dentro del Elemento (114) de un serpentín recuperador de calor (131) adicional que entre otras aplicaciones se puede emplear para precalentar el combustible y el comburente desde sus condiciones de suministro. Este Serpentín (131) también puede ser utilizado para extraer calor del Elemento (114) destinado a otro tipo de aplicaciones externas ajenas a la propia Instalación.

129: Bomba de condensado de fondo del intercambiador por condensación (114). Es la bomba que impulsa el condensado obtenido por fondo del elemento (114) a una presión suficiente como para enviarlo a la Fuente térmica esencial (101). Cuando el Ciclo

Combinado dispone de Compresores (115) y (117), esta corriente de agua que impulsa la Bomba de condensado (129) circula por el Serpentin (118) para refrigerar el vapor entre las dos etapas de compresión. Tras la Bomba de condensado (129), esta corriente se divide en dos. Una parte se envía hacia la Fuente térmica esencial (101) pasando previamente por el Elemento de intercambio de calor (118) en el caso que el Ciclo Combinado disponga de Compresor (115), mientras que la parte restante de condensado impulsado por la Bomba (129) es retornada directamente hacia el Rehervidor (113).

119: Bomba de agua de alimentación del ciclo Rankine fundamental constituyente.

Es la bomba que impulsa el agua por los elementos generadores de vapor del ciclo Rankine fundamental. Esta bomba aporta el valor de presión más elevado que se alcanza en toda la instalación.

La Bomba de agua de alimentación (119) se alimenta fundamentalmente de la corriente de retorno de condensado que impulsa la Bomba (109). Adicionalmente, el Ciclo Combinado dispone de un bypass, entre la impulsión de la Bomba (111) y la aspiración de la Bomba (119), por el que se puede intercambiar fluido caloriportante (agua) entre el ciclo Brayton constituyente y el ciclo Rankine fundamental constituyente. El sentido de flujo en este bypass viene marcado por las variables de diseño y operación del ciclo.

120: Economizadores o Haces tubulares del Economizador del ciclo Rankine fundamental constituyente. Son los elementos de intercambio de calor ubicados dentro del CRC (103) que sirven para precalentar el agua de alimentación procedente de la Bomba de agua de alimentación (119) hasta una temperatura próxima a la de su punto de ebullición con la presión a la que se genera vapor en el ciclo Rankine fundamental constituyente.

121: Haces tubulares del Evaporador y del Sobrecalentador del ciclo Rankine fundamental constituyente. Los Evaporadores y Sobrecalentadores son los elementos de intercambio de calor ubicados en el interior del CRC (103) que generan el vapor a presión del ciclo Rankine fundamental constituyente. A los haces evaporadores entra el agua precalentada en los Economizadores (120) y finalmente sale vapor sobrecalentado que se envía hacia la Turbina TAP (122) o hacia la Fuente térmica suplementaria (132) en el caso de que el Ciclo de potencia disponga de este elemento.

122: Turbina del ciclo Rankine constituyente fundamental (de alta presión) TAP.

Esta turbina de vapor realiza la función de generar trabajo siguiendo el ciclo Rankine fundamental constituyente. La Turbina TAP (122) recibe vapor de agua sobrecalentado procedente de los haces tubulares del último Sobrecalentador (121) o de la Fuente

5 térmica suplementaria (132) si es que se dispone de esta. Se caracteriza por ser la turbina que trabaja a mayor presión de toda la instalación por lo que se la denomina de forma abreviada TAP. Esta turbina trabaja a contrapresión realizando una expansión parcial del fluido gaseoso de tal manera el vapor de salida tenga presión suficiente como para alcanzar la Fuente térmica esencial (101) a la cual se envía el vapor de escape.

10

130: Eje de potencia de la instalación. Es el elemento o conjunto de elementos a los que van acopladas todas las máquinas de la instalación que requieren o generan trabajo mecánico (Turbinas, bombas y compresores). El Eje de potencia representa el punto del que se obtiene la energía mecánica útil e la instalación (al que van acoplados las turbinas,

15 compresores y bombas de la instalación).

Con la excepción de las bombas y el ventilador (104), en las figuras adjuntas se representa un Eje de potencia (130) común para facilitar la comprensión de cómo se obtiene la energía mecánica neta del Ciclo Combinado, pero también es factible realizar cualquier Ciclo de potencia según esta invención empleando ejes de potencia

20 individuales conectados a generadores o motores independientes.

COMPONENTES FUNDAMENTALES DE LA BOMBA DE CALOR (UAX)

La UAX, cómo se ha indicado es un componente esencial de la instalación de la invención

25 que trabaja con amoníaco y agua.

Los componentes que integran la bomba de calor UAX, están representados en la **Figura 5** de los dibujos. Los equipos que constituyen una UAX son los siguientes:

201: Generador principal. Es un desorbedor de amoníaco que realiza la función de “foco frío” de la UAX y que se encarga de recibir el calor que desprende el Condensador de regeneración (107) perteneciente al Ciclo Combinado de potencia. El Generador principal se alimenta de la disolución de concentración intermedia de amoníaco-agua procedente de un Generador secundario (202) y de él sale, por un lado, amoníaco gaseoso húmedo para ser comprimido, y por otro lado, la disolución diluida que es succionada por una

30

Bomba de trasiego (215).

202: Generador secundario. Es un desorbedor parcial de amoniaco que funciona con el calor que le suministra un Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207). Al

5 Generador secundario entra toda la disolución concentrada que se produce en un Absorbedor de amoniaco (210) tras haber sido enfriada previamente. Del Generador secundario sale, por un lado, amoniaco gaseoso húmedo para ser comprimido conjuntamente con el amoniaco obtenido del Generador principal (201) y, por otro lado, la disolución desgasificada parcialmente que se obtiene por fondo, es enviada como

10 alimentación del Generador principal (201). El generador secundario (202) opera con una presión levemente superior al Generador principal (201) para conseguir que la disolución fluya de uno a otro equipo.

203: Compresores de amoniaco. Se denomina de esta manera al conjunto de

15 compresores conectados en serie que realizan la función de aumentar la presión del amoniaco gaseoso húmedo procedente de sendos Generadores (201 y 202). La compresión del amoniaco gaseoso se realiza en sucesivas etapas de compresión conectadas en serie con refrigeración de gas intermedia con el objetivo de maximizar la eficiencia global del proceso. Para ello, el conjunto compresor recibe el trabajo mecánico

20 del Eje de potencia (130) de la instalación del Ciclo combinado. El conjunto de Compresores (203) eleva la presión del amoniaco gaseoso, como mínimo, hasta hacer que la temperatura de saturación del NH_3 llegue a superar la temperatura con la que el Generador secundario (202) realiza la desorción para que se pueda realizar la transmisión de calor hacia este último equipo.

25 Esta etapa de compresión del gas refrigerante no tiene lugar en las máquinas de absorción convencionales por lo que es una característica esencial de la UAX. Al hacer uso de un ciclo de absorción-desorción además de compresores, se considera que la UAX (200) es un sistema híbrido de absorción y compresión que, en su conjunto, actúa como bomba de calor.

30 El vapor de amoniaco comprimido que sale de la última etapa, se le hace circular por un Elemento de refrigeración final de amoniaco comprimido (205) y seguidamente otro Serpentin de enfriamiento (206) haciendo que se reutilice el calor que contiene este vapor comprimido en otros elementos de la UAX.

204: Elementos de refrigeración de amoniaco gaseoso entre las sucesivas etapas de compresión.

Lo constituyen el conjunto de los elementos de intercambio de calor que se encargan de refrigerar el amoniaco gaseoso entre cada una de las etapas de las que consta el Compresor (203). Todos estos elementos de intercambio de calor están ubicados en el interior de un Evaporador de amoniaco supercrítico (209) al cual le transfieren todo el calor que desprenden, motivo por el cual la temperatura de operación de cada uno de estos Elementos de refrigeración (204) ha de ser mayor que la temperatura de operación del Evaporador de amoniaco supercrítico (209).

205: Elemento de refrigeración final de amoniaco comprimido. Constituye conjuntamente con el Elemento calentador final de la disolución diluida (216) un intercambiador de calor. Por el Elemento de refrigeración final de amoniaco comprimido (205) circula el vapor que sale de la última etapa de Compresores (203) cediendo calor al Elemento calentador final (216) con objeto de que la disolución diluida llegue al Absorbedor de amoniaco (210) con una temperatura no inferior a la cual se realiza la absorción del gas en este elemento (210). En base a esto, este Elemento (205) es el que tiene la temperatura más elevada de toda la UAX (200).

206: Serpentin de enfriamiento del amoniaco comprimido. Se encuentra ubicado en el interior del Evaporador de amoniaco supercrítico (209), aguas abajo del Elemento de refrigeración final de amoniaco comprimido (205). En este Serpentin (206), se enfría el amoniaco gaseoso comprimido antes de llegar al Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207). El calor que desprende el Serpentin (206) se utiliza internamente para generar amoniaco gaseoso en el Evaporador de amoniaco (209) por lo que trabaja a una temperatura superior a la del punto crítico del NH_3 .

207: Condensador de vapor de amoniaco comprimido. En este equipo, el vapor saturado de amoniaco bajo la presión que proporcionan los Compresores (203), se convierte en fase líquida transmitiendo todo el calor, que desprende por condensación, hacia el Generador secundario (202) para que éste realice la desorción. El Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207) recibe el amoniaco en estado gaseoso procedente del Elemento intercambiador (206) con la menor temperatura posible pero de tal modo que permita realizar su función al Generador secundario (202). El dispositivo Expansor (218) es el que separa el Serpentin (206) del Condensador (207).

El amoníaco líquido obtenido del Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) es impulsado hacia el Evaporador de amoníaco supercrítico (209) mediante una Bomba de amoníaco condensado (208).

5 **208: Bomba de amoníaco condensado.** Es la Bomba que impulsa el amoníaco condensado, con una presión de salida superior a la de su punto crítico, desde el Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) hasta un Evaporador de amoníaco supercrítico (209). En la línea de impulsión de la Bomba (208) se alcanza el punto de mayor presión de toda la UAX (200).

10

209: Evaporador de amoníaco a presión supercrítica. Recibe el condensado de amoníaco impulsado por la Bomba de amoníaco condensado (208) y lo convierte en gas a presión y temperatura superior a la del punto crítico del amoníaco (113,5 bar/133,5°C). Para ello, el Evaporador (209) reutiliza el calor residual que le aportan, por un lado, el
15 Serpentín de enfriamiento del amoníaco comprimido (206) y los Elementos refrigeradores (204), los cuales transmiten el calor que ha sido generado por efecto Joule-Thomson en los Compresores (203). Por otro lado, también se reutiliza el calor latente que le transmite un Serpentín de disolución concentrada (211) (más concentrada que la disolución que sale del desorbedor) por el cual circula una parte de la disolución concentrada que sale
20 del Absorbedor (210). Esto implica que el Evaporador de amoníaco supercrítico (209) realiza su función mediante la utilización de calor reciclado, procedente del propio sistema UAX sin que se requiera el aporte de ninguna otra fuente externa de calor.

El gas que sale del Evaporador de amoníaco (209) en condiciones supercríticas es seguidamente conducido hacia el Absorbedor (210).

25

210: Absorbedor de amoníaco. Realiza la función de disolver en agua el amoníaco gaseoso en condiciones de presión y temperatura supercríticas. Es el elemento que realiza la función de “foco caliente” de la UAX y que se encarga de transmitir el calor que desprende hacia el Rehervidor regenerador (113) del Ciclo Combinado de potencia.

30 El Absorbedor (210) se alimenta del amoníaco gaseoso procedente del Evaporador de amoníaco supercrítico (209), haciendo uso del Expansor (217), y por otro lado, se alimenta también de la disolución diluida de amoníaco-agua procedente del Generador principal (201) tras haber sido impulsada por la Bomba de trasiego (215) y precalentada por los Elementos de intercambio de calor (214) y (216) sucesivamente.

- Del Absorbedor (210) sale la disolución concentrada en amoníaco que se envía a los Generadores secundario (202) y principal (201) para así cerrar el ciclo absorción-desorción. El flujo de disolución concentrada tras salir del Absorbedor (210), se divide en dos corrientes. Una parte, se hace circular por el Elemento de intercambio de calor (213) del intercambiador en contracorriente, mientras que el caudal restante circula por el Serpentin de disolución concentrada (211) que aporta calor con el que se genera amoníaco supercrítico en el Evaporador (209). Finalmente, tras haber intercambiado su calor, las dos corrientes de disolución concentrada se vuelven a unir antes del elemento Expansor (212).
- La disolución en agua del amoníaco bajo condiciones supercríticas es un proceso exotérmico. El calor que se desprende del Absorbedor de amoníaco (210) se transfiere al Rehervidor (113) para regenerar vapor del Ciclo Combinado de potencia. De este modo, el Absorbedor (210) realiza la función de "foco caliente" de la UAX (200).
- 211: Serpentin de disolución concentrada en el Evaporador (209).** Se encuentra ubicado en el interior del Evaporador de amoníaco supercrítico (209) donde cede calor a costa de bajar la temperatura de la disolución concentrada que circula por este Serpentin (211) procedente del Absorbedor de amoníaco (210).
- 213: Elemento intercambiador de calor entre disoluciones diluida y concentrada. Lado disolución concentrada.** Este Elemento (213) forma parte de un intercambiador de calor contracorriente con el Elemento de intercambio de calor (214) al cual le transfiere calor. Por el elemento (213) circula la parte complementaria de la disolución concentrada que sale del Absorbedor de amoníaco (210) que no circula por el Serpentin de disolución concentrada (211). La misión de este Elemento de intercambio (213) es la de bajar la temperatura de la disolución concentrada antes de entrar en el Generador secundario (202).
- 212: Expansor de disolución concentrada.** Una vez que se vuelven a unir las corrientes de disolución concentrada que han sido enfriadas por en los Elementos de intercambio de calor (211) y (213) respectivamente, el elemento Expansor (212), situado justo antes de que esta disolución concentrada entre en el Generador secundario, se encarga de lograr la presión de operación a la que se realiza la desorción en el Generador secundario (202).

214: Elemento de intercambio de calor entre disoluciones diluida y concentrada.

Lado disolución diluida. El Elemento (214) constituye un intercambiador de calor en contracorriente junto con el Elemento (213) del cual recibe calor. La misión de este intercambiador de calor en contracorriente es la de hacer que la disolución concentrada entre lo más fría posible al Generador secundario (202) al tiempo que se consigue calentar que la disolución diluida antes de entrar en el Absorbedor de amoníaco (210).

Por este Elemento de intercambio de calor (214) circula la disolución diluida procedente del Generador principal (201) impulsada por una Bomba de trasiego (215) antes de llegar al Absorbedor (210) con el objetivo de calentarse en contracorriente con una parte de la disolución concentrada

215: Bomba de trasiego de la disolución diluida. Es la bomba que desplaza la disolución diluida que sale del Generador principal (201) y la envía hasta el Absorbedor de amoníaco (210) pasando previamente por los Elementos de intercambio de calor (214) y (216) que sirven para elevar su temperatura.

216: Elemento calentador final de la disolución diluida. El Elemento de intercambio de calor (216) constituye un intercambiador de calor en contracorriente junto con el Elemento de refrigeración final de amoníaco comprimido (205). Por este elemento circula la disolución diluida procedente del Elemento de intercambio de calor (214) y utiliza el calor transmitido por el vapor que sale de la última etapa de Compresores (203) para hacer que la disolución llegue al Absorbedor de amoníaco (210) con su misma temperatura de operación.

217: Expansor de amoníaco gaseoso hacia el Absorbedor (210). El Expansor (217) sirve para adecuar la presión del amoníaco supercrítico procedente del Evaporador (209) a la presión de operación del Absorbedor de amoníaco (210).

218: Expansor de amoníaco gaseoso hacia el condensador de amoníaco comprimido (207). El elemento Expansor de amoníaco (218) genera la caída de presión y temperatura necesaria para la operación del Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) de tal manera que pueda establecer el intercambio de calor entre el Condensador (207) y el Generador secundario (202).

Las características particulares de la Unidad de Absorción para el intercambio de calor UAX vienen determinadas por los requisitos y variables de operación del Ciclo Combinado al cual asiste.

Para “regenerar” eficientemente al ciclo Brayton constituyente de esta invención, la bomba de calor UAX (200) debe cumplir las siguientes condiciones:

- Intercambiar energía únicamente con el Ciclo de potencia al cual asiste.

Es decir que todo el calor que absorbe el foco frío sea tomado desde el ciclo de potencia y que todo el calor que desprende el foco caliente sea transferido, de nuevo, hacia el ciclo de potencia en otro punto distinto. Intercambiar energía con el exterior supondría pérdidas de eficiencia;

- El foco frío de la UAX tiene que captar, a efectos de recuperación, el calor de condensación de vapor de agua a presión ambiente (entre 80°C y 120°C).

- Entre focos de la UAX se requiere conseguir el mayor salto térmico posible, ya que el foco caliente deberá regenerar vapor de agua saturado condensado previamente, pero a la mayor presión posible para aumentar la eficiencia del sistema;

- El rendimiento debe ser el máximo posible (CoP), es decir, que la cantidad de calorías trasvasadas desde el foco frío hasta el foco caliente sea muy grande en comparación con el trabajo mecánico consumido por el compresor,

- que la totalidad de la energía (mecánica y térmica) que la bomba de calor UAX toma del exterior ha de ser suministrada por el Eje de potencia (130) del propio Ciclo Combinado al cual asiste.

- que la totalidad de energía térmica (exceptuando las pérdidas reales de la propia UAX) que la bomba de calor UAX desprende lo haga a través de su “foco caliente” utilizándose para regenerar vapor en el Ciclo de potencia mediante su Rehervidor (113).

Toda máquina de absorción, y por tanto también la UAX, trabaja según un proceso cíclico de absorción-desorción. Se denomina Absorción al proceso de disolución de un gas en un disolvente líquido. Se conoce como desorción al proceso reversible inverso por el cual el gas se desprende de la disolución. En el caso concreto de la UAX, se utiliza amoníaco como soluto y agua como disolvente.

La absorción de amoníaco en agua es un proceso exotérmico reversible, por tanto en todo Absorbedor se produce un desprendimiento de calor al disolverse el gas en la fase líquida. Por su parte, el proceso inverso de desorción del amoníaco en agua que tiene lugar en el Generador resulta siempre endotérmico, es decir que precisa el aporte de calor para su funcionamiento.

Se considera que la UAX es una bomba de calor híbrida de compresión y de absorción ya que su funcionamiento tiene características comunes de ambos sistemas. Esto supone que la UAX está constituida necesariamente por absorbedor, desorbedor, evaporador, condensador y compresores además de bombas, elementos expansores de gas e intercambiadores de calor.

Las máquinas de absorción convencionales son sistemas que constan de dos focos por los que la máquina absorbe calor del exterior (generador y evaporador) y otros dos focos por los que la máquina desprende calor hacia el exterior (absorbedor y condensador).

Sin embargo, para que una “bomba de calor” resulte útil en la regeneración del Ciclo Combinado de esta invención es absolutamente necesario que esta conste de un único “foco frío” (por el que recibe calor a baja temperatura del Ciclo de potencia y de un único “foco caliente” (por el que se retorna calor al ciclo pero con una temperatura superior). Esta es precisamente la característica fundamental de la UAX que la diferencia del resto de máquinas de absorción.

Aunque la UAX (200) consta de los mismos elementos fundamentales que cualquier otra máquina de absorción, se caracteriza por absorber calor exterior por un único foco y desprenderlo exclusivamente por otro (considerando despreciables las pérdidas reales). Esto se consigue reciclando el calor que desprende alguno de sus elementos y reutilizando calor interno para proporcionar el calor que precisa otro de sus elementos.

Debido a la afinidad físico-química que presentan los componentes de una disolución, el proceso de disolución de un gas en un líquido resulta más exotérmico que su simple condensación. Consecuencia directa de ello es que, en una máquina de absorción, los focos que trabajan por absorción-desorción –Absorbedor (210) y Generador principal (201)- desprenden y absorben respectivamente más calor que el que se desprende en el Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) y se absorbe en el Evaporador de amoníaco supercrítico (209).

Para conseguir transferir la mayor cantidad específica de calor desde su foco frío hacia su foco caliente, la UAX reutiliza internamente determinados flujos de calor para evitar que su Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) y su Evaporador de

amoniaco supercrítico (209) intercambien energía con el exterior, de tal modo que mantiene al Absorbedor (210) y al Generador principal (201) como únicos focos caliente y frío respectivamente.

Desde el punto de vista termodinámico y a diferencia de las máquinas frigoríficas de compresión, las máquinas de absorción convencionales no pueden ser consideradas estrictamente como bombas de calor, en tanto en cuanto no transfieren calor desde el foco más frío hacia el foco más caliente. Normalmente la máquina absorbe calor simultáneamente por el elemento más frío (el Evaporador) y por el más caliente (el Generador).

Una particularidad de la UAX (200) que la diferencia del resto de máquinas de absorción convencionales es que ésta si trabaja como bomba de calor transfiriendo energía térmica desde un punto frío a otro más caliente. Esto se consigue haciendo trabajar a la UAX con las presiones de operación invertidas respecto a cómo trabajan comúnmente las máquinas frigoríficas.

En toda máquina frigorífica, ya sea de compresión o de absorción, existe una parte del circuito que trabaja a alta presión y otra parte que lo hace a baja presión (el condensador trabaja a mayor presión que evaporador).

En el caso de una máquina térmica de compresión la diferencia de presión entre el evaporador y el condensador esta forzada por un compresor. Las zonas de distinta presión están delimitadas entre el compresor y el expansor.

En las máquinas de absorción, el generador y el condensador trabajan a mayor presión que el evaporador y que el absorbedor. Es el funcionamiento del propio sistema absorbedor-desorbedor el que induce la presión diferencial que existe entre unos equipos y otros.

Una característica específica de la UAX es que trabaja con presiones de operación invertidas a como lo hacen las máquinas frigoríficas convencionales, es decir que su Absorbedor (210) y Evaporador de amoniaco supercrítico (209) funcionan con mayor presión que su Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207) y Generadores principal (201) y secundario (202). Para conseguir esto, la Bomba de trasiego (215) hace circular la disolución diluida desde el Generador 201 hasta el Absorbedor de amoniaco (210) que trabaja a una presión superior.

Para trabajar con presiones invertidas la UAX (200) precisa de medios mecánicos. En este sentido, la UAX se diferencia cualquier otra máquina de absorción convencional en que la presión diferencial entre componentes del circuito no es inducida, sino forzada

empleando para ello compresores y bombas.

Para hacer que la UAX trabaje con presiones invertidas, se requiere determinar con precisión las temperaturas de operación en el Absorbedor (210) y en el Generador principal (201) ya que se producen simultáneamente dos efectos contrapuestos que
5 afectan a la solubilidad del amoníaco en agua. Por un lado, la fase líquida deberá ser capaz de disolver más cantidad de gas cuanto mayor sea la presión, pero, por otro lado, el gas resultará más insoluble cuanto mayor sea la temperatura.

Obviamente, para que el sistema pueda trabajar como bomba de calor se requiere que la solubilidad del amoníaco en el agua resulte siempre mayor en el Absorbedor (210) que
10 en los Generadores principal (201) y secundario (202), puesto que en cualquier absorbedor siempre se produce un aumento de la concentración al disolverse el gas, mientras que en cualquier generador siempre se obtiene una disolución diluida porque es aquí donde tiene lugar la desorción del gas.

Para alcanzar la eficiencia máxima es necesario encontrar el compromiso ideal entre las
15 temperaturas y presiones de operación en cada caso porque, por un lado, se favorece la desorción en los Generadores principal (201) y secundario (202) bajando la presión, mientras que la eficacia del Absorbedor de amoníaco (210) aumenta cuanto mayor sea su presión de operación. Sin embargo, teniendo en cuenta que la misión de la UAX es la de actuar como bomba de calor, se pretende que el salto térmico entre el foco caliente y
20 frío sea lo mayor posible. Sin embargo, conforme se aumenta la temperatura en el Absorbedor (210) el amoníaco tiende a ser más insoluble, mientras que al disminuir la temperatura en los Generadores principal (201) y secundario (202) la solubilidad tiende a aumentar dificultando el rendimiento de la desorción.

Al sistema termodinámico que haciendo uso de un compresor es capaz de transferir calor
25 desde un punto de menor temperatura hasta otro punto más caliente se le denomina “bomba de calor” y es precisamente esta la función que realiza la “Unidad de Absorción para el intercambio de calor” UAX (200) que es objeto de esta invención.

En base a lo anterior, cabe destacar que para conseguir que Unidad de Absorción para el Intercambio de calor “UAX” pueda trabajar como bomba de calor que asiste al Ciclo de
30 potencia de la invención es preciso llevar a cabo una serie de modificaciones específicas las cuales constituyen características particulares de la UAX (200). Estas modificaciones específicas que diferencian a la UAX respecto de otros ciclos de absorción son:

1º- Para conseguir que el Absorbedor de amoníaco (210) desprenda calor, pero a mayor temperatura que la que funciona el Generador principal (201), se precisa invertir las presiones de operación, es decir que el Absorbedor (210) trabaje a mayor presión que aquélla con la que desorbe amoníaco el Generador principal (201). Para ello, se precisa de una Bomba de trasiego (215) que impulse la disolución diluida hasta el Absorbedor de amoníaco (210) y de un elemento Expansor (212) de la disolución concentrada antes de entrar al Generador secundario (202).

2º- Para conseguir que la UAX no pierda calor hacia el ambiente, se precisa reciclar el calor que el Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) desprende transfiriéndolo al desorbedor Generador secundario (202) por lo que su temperatura de trabajo debe ser levemente superior a la temperatura de este último. Se necesita aumentar la presión del vapor de amoníaco, mediante los Compresores (203), para conseguir que éste condense a una temperatura superior a la temperatura a la que el amoníaco se evapora de la disolución en el generador.

3º- Habida cuenta que el calor que desprende el Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) es reciclado en la propia UAX, el Absorbedor de amoníaco (210) constituye el único punto por el que se desprende calor hacia el exterior del sistema (si se consideran despreciables las pérdidas reales de calor por conducción, convección y radiación).

4º- Para resultar más eficiente, la compresión del amoníaco que se emplea como gas refrigerante se realiza en varias etapas con refrigeración intermedia. Esto implica que entre etapas de compresión existe una cantidad de calor que es preciso eliminar. Además, interesa que el vapor de amoníaco comprimido alcance el Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) con la temperatura más baja posible, siempre y cuando consiga transmitir calor hacia el Generador secundario (202).

Seleccionando oportunamente las temperaturas de operación del sistema es posible proporcionar el calor que el evaporador (208) precisa, transfiriendo a éste el calor excedente que contienen la corriente de vapor tras compresores (203) y la disolución concentrada que sale del absorbedor (210), para convertir el amoníaco a estado supercrítico. Cuando la suma de excedentes de calor satisface la demanda del

Evaporador de amoniaco (209) se consigue que no se necesite aportar calor desde el exterior para producir el amoniaco en condiciones que superan su "punto crítico", al tiempo que desaparece la necesidad de evacuar el calor de refrigeración al exterior.

- 5 5º- Al suministrar el calor que el Evaporador de amoniaco supercrítico (209) necesita con calor reutilizado procedente del propio sistema, el Generador principal (201) constituye el único foco por el que la UAX recibe calor del exterior.

Realizando convenientemente todas estas modificaciones resulta factible diseñar una
10 máquina de absorción que haciendo uso de un conjunto de Compresores dispuestos en cascada (203) permite que su Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207) y su Evaporador de amoniaco supercrítico (209) no intercambien calor con el exterior dejando al Generador principal (201) como único foco frío por el que el sistema absorbe calor del exterior mientras que el Absorbedor (210) trabaja a mas temperatura actuando
15 como único foco caliente por el que se desprende calor al exterior.

FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR (UAX)

1- Para que la UAX (200), al igual que en cualquier otro sistema de absorción,
20 pueda operar de modo continuo en ciclo cerrado, es preciso establecer un circuito de intercambio de disoluciones entre un equipo que "absorbe" el gas produciendo la disolución concentrada y otro equipo que "desorbe" produciendo la disolución diluida. Es decir que la disolución diluida sale del Generador principal (201) y circula hacia el Absorbedor de amoniaco (210), al tiempo que la disolución concentrada sale del
25 Absorbedor (210) y circula hacia el Generador principal (201) en sentido opuesto para ser reciclada de nuevo.

Según lo anterior se establece una circulación contracorriente de ambas disoluciones entre un equipo y otro (Absorbedor (210) y Generador (201)), pero de sentido opuesto. Puesto que los generadores (desorbedores) y los absorbedores de una máquina de
30 absorción siempre trabajan con una presión diferente, la disolución fluye desde el equipo que tiene mayor presión al de menor presión sin necesidad de asistencia mecánica. Sin embargo, la otra disolución que circula en contracorriente desde el equipo con menos presión hacia el de presión más elevada precisa ser impulsado por una bomba. En la UAX (200), a diferencia de las máquinas de absorción convencionales, el

Absorbedor (210) trabaja a una presión más elevada que el Generador principal (201) y en consecuencia, la Bomba de trasiego (215) impulsa la disolución diluida desde el Generador principal (201) hasta el Absorbedor (210).

- 5 2- La UAX (200) consta de dos desorbedores o generadores, uno al que denominamos Generador secundario (202) y otro Generador principal (201). Ambos generadores trabajan en cascada, es decir, que la disolución parcialmente desorbida que sale del Generador secundario (202) constituye la alimentación del Generador principal (201). La desorción del amoníaco precisa el aporte de calor, al ser éste un proceso endotérmico, por lo que todos los generadores requieren que se les suministre calor para funcionar. En la UAX, cada Generador recibe el calor de una fuente diferente; Al Generador secundario (202) le suministra calor el Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) mientras que el Generador principal (201) recibe calor del Ciclo Combinado. En consecuencia, la temperatura de trabajo del Generador principal (201) siempre viene determinada por la temperatura de condensación del fluido en el ciclo Brayton constituyente. Esta condensación tiene lugar en el Condensador de regeneración (107). La presión de operación de los Generadores (201) y (202) de la UAX (200) depende del grado de desorción (concentración de la disolución diluida) con la que se diseña la UAX aunque el Generador secundario (202) siempre trabaja con una presión sensiblemente mayor que el Generador principal (201) para que la disolución de concentración intermedia fluya de un equipo a otro sin necesidad de medios mecánicos. El Generador principal (201) es el equipo que trabaja a la presión más baja de la UAX (200) y por ello, se requiere que la disolución diluida que se obtiene de este equipo, circule impulsada por la Bomba de trasiego (215) con presión suficiente como para alimentar al Absorbedor de amoníaco (210).

- 3- El vapor de amoníaco obtenido en ambos Generadores principal (201) y secundario (202), como el que se obtiene de cualquier desorbedor convencional, siempre contiene un cierto grado de humedad. En esta patente el término “vapor de amoníaco” en la UAX (200) se refiere siempre a un vapor de amoníaco “húmedo” salvo que se especifique lo contrario. En esta memoria no se le da una consideración especial a este amoníaco húmedo pues este grado de humedad es muy bajo en las condiciones de presión y temperatura que se exigen a la UAX y ello no altera el funcionamiento esencial del ciclo. Este Amoníaco desorbido en los Generadores (201 y 202), se envía al conjunto de

Compresores (203). Aquí, el proceso de compresión se realiza en sucesivas etapas en cascada con refrigeración intermedia del fluido que se comprime, con la doble finalidad de mejorar la eficiencia mecánica de la compresión, por un lado, y para disponer de diversos focos térmicos capaces de aportar calor al Evaporador de amoníaco supercrítico (209) por otro lado. Esto es, que el conjunto de Elementos de refrigeración (204) entre etapas de compresión, transfieren el calor al Evaporador de amoníaco (209) evitando así que se pierda fuera del ciclo.

El conjunto de Compresores (203) obtiene el trabajo mecánico del propio Ciclo Combinado a través del Eje de potencia (130) por lo que este trabajo es considerado como un autoconsumo del Ciclo Combinado de potencia. Puesto que la eficiencia neta del Ciclo Combinado es mayor cuanto más bajos sean los autoconsumos de energía mecánica, es de interés que el proceso de compresión resulte lo más eficiente posible.

La Presión final del vapor que sale de la última etapa de los Compresores (203) viene determinada por la presión de operación del Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) y ésta es, a su vez, función directa de la temperatura a la que se produce la desorción en el Generador secundario (202) con el cual intercambia calor.

4- Es requisito de operación de la UAX, que el vapor de amoníaco ha de salir de la última etapa de Compresores (203) con temperatura superior a la de operación del Absorbedor (210) para que el Elemento de refrigeración final de amoníaco comprimido (205) pueda calentar la disolución diluida para hacer que la fase líquida entre al Absorbedor (210) con una temperatura no inferior a la que el vapor de amoníaco se disuelve en este equipo.

5- También es requisito imprescindible para el funcionamiento de la UAX (200), que el vapor de amoníaco comprimido que sale de los distintos Elementos de refrigeración de amoníaco gaseoso entre las sucesivas etapas de compresión (204), así como del Elemento de refrigeración final de amoníaco comprimido (205) tenga una temperatura superior que la del Evaporador de amoníaco supercrítico (209) para que este calor pueda ser transferido mediante el Serpentin de enfriamiento del amoníaco comprimido (206) con el que se genera amoníaco en estado supercrítico.

6- Tras haber cedido calor, se hace salir al vapor de amoníaco del Serpentin de enfriamiento del amoníaco comprimido (206) con la temperatura más baja posible -

temperatura próxima a la de saturación en el Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207)- y luego se expande parcialmente en el Expansor (218) hasta alcanzar la presión de trabajo del Condensador (207).

5 7- En el Condensador (207) el vapor de amoniaco comprimido se convierte en líquido desprendiendo un calor que se transfiere íntegramente al Generador secundario (202) para que este realice la desorción parcial de la disolución concentrada.

Para transferir calor desde el Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207) hasta el Generador secundario (202) la temperatura de saturación del vapor de amoniaco
10 que tiene lugar en el Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207) ha de ser algo mayor que la temperatura de desorción que tiene lugar en el Generador secundario (202). Puesto que la temperatura de saturación se corresponde con una presión determinada es ésta la que determina la presión final de los Compresores (203).

15 8- El amoniaco en fase líquida que se recoge en el fondo del Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207) es enviado hacia el Evaporador de amoniaco supercrítico (209) impulsado por la Bomba de amoniaco condensado (208) a una presión superior a la de su "punto crítico".

20 9- Al entrar en el Evaporador de amoniaco supercrítico (209) el amoniaco líquido primero se calienta y luego cambia a estado gaseoso a una presión y temperatura superiores a la del "punto crítico" del amoniaco (113,5 bar/133,5°C).

El calor que el Evaporador de amoniaco supercrítico (209) precisa para realizar su cometido se obtiene recuperando los excedentes de calor que desprenden los
25 elementos (204), (206) y (211) de la propia UAX con temperatura suficiente para ello.

Los elementos de intercambio de calor, que suministran el calor que el Evaporador de amoniaco supercrítico (209) demanda son los siguientes:

- El conjunto de Elementos de refrigeración (204) entre las distintas etapas de compresión.
- 30 - El Serpentin de enfriamiento (206) que refrigera el vapor de amoniaco comprimido antes de entrar al Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207).
- El Elemento de intercambio (211) por el cual circula una parte de la disolución concentrada caliente que sale del Absorbedor de amoniaco (210).

Para que la UAX trabaje eficientemente dependiendo energéticamente solo del Ciclo Combinado, es preciso mantener permanentemente la igualdad entre la cantidad de calor que demanda el Evaporador de amoniaco supercrítico (209) y la que le aportan el conjunto de Elementos de intercambio (204), (206) y (211) respectivamente.

- 5 En la UAX este equilibrio térmico se consigue y se controla haciendo trabajar al Evaporador (209) a una presión superior a la del punto crítico del amoniaco. Esta es una característica fundamental que diferencia a la UAX de cualquier otra máquina de absorción convencional.

10 Cuando se trabaja con presiones levemente superiores al punto crítico del NH_3 en el Evaporador (209), resulta factible modificar la cantidad de calor que se absorbe aquí. Cuando la presión y la temperatura del amoniaco superan su punto crítico, aparece una “anomalía térmica” según la cual pequeñas variaciones de presión en el fluido supercrítico requieren grandes cambios de entalpía para variaciones de temperatura muy pequeñas (en el diagrama de Presión-Entalpía del amoniaco, las líneas isothermas casi
15 resultan horizontales nada mas superar el punto crítico).

Consecuencia directa de lo anterior es que el balance de energía en el Evaporador de amoniaco supercrítico (209) se consigue modificando mínimamente la presión a la que éste opera. Esto se consigue mediante la acción conjunta de la Bomba de amoniaco condensado (208) y del Expansor (217) dotando de este modo de una flexibilidad de
20 operación extraordinaria al sistema en su conjunto.

10- Una vez que el amoniaco sale del Evaporador (209) en condiciones supercríticas, éste fluye hacia el Absorbedor (210) por efecto de su propia presión.

25 En la línea de entrada de gas al Absorbedor (210) se encuentra la Válvula (217) que se encarga de adecuar la presión de operación tanto del Absorbedor de amoniaco (210) como del Evaporador de amoniaco supercrítico (209).

Regulando la presión de operación del Absorbedor (210) se controla la concentración de amoniaco en la disolución, la temperatura de operación y el calor que se desprende en este equipo.

30

11- Además del amoniaco en estado gaseoso, al Absorbedor de amoniaco (210) llega toda la disolución diluida procedente del Generador principal (201) tras haber sido impulsada por la Bomba de trasiego (215) y calentada en los Elementos de intercambio de calor (214) y (216). Al mezclarse ambas corrientes se produce la disolución del

amoníaco gaseoso por lo cual la disolución acuosa aumenta de concentración en amoníaco dando lugar a la que denominamos “disolución concentrada”. Obviamente, para que esto suceda de tal modo, el amoníaco ha de resultar siempre más soluble en el Absorbedor (210) que en los Generadores (201 y 202). Ello se consigue seleccionando
 5 adecuadamente las presiones y temperaturas de operación del absorbedor (210) y de los generadores (201 y 202).

Para poder aumentar la solubilidad del amoníaco en agua, cuando las condiciones de diseño así lo requieran, se pueden añadir a la disolución amoniacal sustancias químicas capaces de formar radicales complejos con el ión amonio (como es el caso del cloruro de
 10 plata por poner un ejemplo).

La disolución concentrada en amoníaco que se obtiene en el Absorbedor (210) se envía hacia los Generadores (202 y 201) tras ser previamente enfriada, para así cerrar el ciclo de trabajo.

Como resultado del proceso de disolución del amoníaco gaseoso, la cantidad de disolución concentrada que sale del Absorbedor (210) es siempre mayor que la cantidad
 15 de disolución diluida que sale del Generador principal (201).

Esto tiene su importancia para el diseño de los intercambiadores porque la disolución concentrada sale del Absorbedor (210) con temperatura suficiente como para que su entalpía pueda ser reutilizada en el intercambiador en contracorriente (213/214), por un
 20 lado y el Calentador (211) ubicado dentro del Evaporador (209), por otro.

12- Para realizar esta doble función de intercambio de calor, la corriente de disolución concentrada que sale caliente del Absorbedor de amoníaco (210) se bifurca en dos. Por un lado, una cierta cantidad de disolución se circula por el Elemento de
 25 intercambio de calor (213) para precalentar en contracorriente la disolución diluida que circula por el Elemento de intercambio de calor (214), mientras que la disolución restante, circula por el Serpentin de disolución concentrada (211) cediendo calor al Evaporador (209) para producir amoníaco en estado supercrítico.

30 13-Tras ceder su entalpía y haber sido enfriadas, sendas corrientes de disolución concentrada se vuelven a unir en una sola antes de entrar al Generador Secundario (202). Un elemento Expansor (212) situado aguas arriba del Generador secundario (202) actúa a la presión a la que se produce la desorción parcial del amoníaco que contiene la disolución concentrada en este equipo.

14- Como resultado de la desorción parcial que tiene lugar en el Generador secundario (202) se desprende una determinada cantidad de amoniaco gaseoso húmedo que se envía directamente hacia el Compresor (203).

5 El calor que precisa el Generador secundario (202) para desorber el gas amoniaco es aportado mediante el intercambio de calor con el Condensador de vapor de amoniaco comprimido (207), sin que para ello se precise de ninguna otra fuente de calor adicional. La disolución de concentración intermedia que se obtiene por fondo del Generador secundario (202) fluye hacia el Generador Principal (201), al cual alimenta, por su propia
10 presión sin necesidad de medios mecánicos.

15- En el Generador principal (201) se produce una segunda etapa de desorción en cascada. Como resultado de este proceso, se desprende otra cantidad adicional de vapor de amoniaco que se envía directamente a Compresores (203) junto con el vapor obtenido
15 en el Generador secundario (202).

Por fondo del Generador principal (201) se obtiene una disolución amoniacal diluida (más diluida que la que sale del Generador secundario (202)) y que es la que se envía de nuevo hacia el Absorbedor (210) mediante la Bomba de trasiego de disolución diluida (215) cerrando de este modo el ciclo de absorción-desorción.

20 El calor que el Generador principal (201) precisa para llevar a cabo la etapa final de desorción lo aporta desde el exterior de la UAX, mediante intercambio de calor, el Condensador de regeneración (107) del Ciclo Combinado de potencia.

El Generador principal (201) es el equipo que trabaja a menor temperatura de la UAX siendo el único punto del ciclo por el que la UAX recibe calor del exterior de tal modo que
25 realiza la función de ser el "foco frío" de esta bomba de calor.

Para que la UAX trabaje eficientemente, la presión y la temperatura de operación del Generador principal (201) debe ser minuciosamente especificada para satisfacer una serie de requisitos imprescindibles. Por un lado, es preciso que la solubilidad del gas amoniaco en las condiciones del Generador secundario (202) sean siempre menores que
30 en el Absorbedor de amoniaco (210). Esto se consigue aumentando la temperatura de desorción, sin embargo y por otro lado, la función de la UAX (200) es la de trabajar como bomba de calor y como tal, interesa que el Generador principal (201) que actúa como foco frío, lo haga a la menor temperatura posible, lo cual precisamente hace que la solubilidad tienda a aumentar en contra de lo que se pretende.

16- La disolución diluida que se obtiene en el Generador principal (201) se envía al Absorbedor (210) para que la UAX trabaje en ciclo cerrado. Para ello se requiere la Bomba de trasiego (215) que desplaza la disolución diluida a presiones superiores a las
5 del punto crítico del amoníaco a las cuales opera el Absorbedor (210).

17- Puesto que el Absorbedor de amoníaco (210) actúa como foco caliente, para mejorar la eficiencia interesa que pueda transferir al Rehervidor (113) del Ciclo Combinado, la mayor cantidad de calor posible. En este sentido, resulta favorable que la disolución
10 diluida llegue al Absorbedor (210) lo más caliente posible.

Por el motivo contrario, se mejora la eficiencia de la UAX cuando al Generador principal (201) que actúa como foco frío recibiendo calor del exterior, le llega la disolución concentrada con temperaturas bajas.

Para mejorar la eficiencia global de la UAX (200) satisfaciendo simultáneamente ambas
15 demandas, se dispone de un intercambiador de calor en contracorriente entre las disoluciones diluida y concentrada, constituido por los Elementos de intercambio de calor (214) y (213) respectivamente.

18- La disolución diluida, tras haber sido precalentada en el intercambiador anterior, pasa
20 por otro Elemento calentador final (216) adicional que eleva aun más la temperatura de esta disolución, antes de entrar en el Absorbedor de amoníaco (210).

Como se ha citado anteriormente, a este Elemento calentador final de la disolución diluida (216) le aporta calor el Elemento de refrigeración final de amoníaco comprimido (205) (que tiene la temperatura más elevada de todo el ciclo UAX (200) por el que circula el
25 vapor de amoníaco que sale de la última etapa de Compresores (203).

19- Este ciclo UAX (200) se cierra en el Absorbedor (210) cuando la disolución diluida se mezcla con el amoníaco gaseoso para que éste se disuelva dando lugar a una disolución concentrada de amoníaco. Este es un proceso exotérmico, es decir que desprende calor.
30 Este calor es el que se transmite hacia el Rehervidor (113) exterior constituyendo de este modo el Absorbedor (210) el "foco caliente" de la UAX.

En términos ideales, es decir excluyendo las inevitables pérdidas reales de calor por conducción, convección y radiación, el Absorbedor (210) es el único punto por el cual la UAX emite calor al exterior.

El proceso de disolución del amoníaco gaseoso que tiene lugar en el Absorbedor (210) se produce a una temperatura y presión inusualmente elevadas (por encima de las del punto crítico del NH_3) de tal modo que en el Absorbedor (210) la solubilidad del amoníaco resulte siempre más elevada que la de los Generadores (201 y 202).

- 5 Esto se consigue, al contrario de cómo se pretende en el Generador (201), disminuyendo la temperatura de la disolución, sin embargo y por otro lado, puesto que la función de la UAX es la de trabajar como bomba de calor, se pretende que el Absorbedor de amoníaco (210) que actúa como foco caliente, lo haga a la mayor temperatura posible, lo cual precisamente no favorece que aumente la solubilidad.

10

20- El resultado global de la operación del ciclo UAX (200) como conjunto, es que este sistema trabaja como bomba de calor de tal manera que se dispone de un único foco caliente constituido por el Absorbedor de amoníaco (210) y de un único foco frío constituido por el Generador principal (201).

- 15 Despreciando las pérdidas reales y conforme al principio de conservación de la energía y al segundo principio de la termodinámica, la UAX desprende por el Absorbedor (210) una cantidad de calor hacia el Ciclo de potencia equivalente a la suma del calor que el Generador principal (201) capta del Ciclo de potencia más la energía mecánica que los Compresores (203) y bombas del ciclo reciben del Eje de potencia (130). Esto implica
- 20 que una bomba de calor UAX (200) siempre cede más calor a través del Rehervidor regenerador (113) al Ciclo Combinado de la invención, que el calor que ha tomado del Ciclo Combinado de la invención por medio del Condensador de regeneración (107), siendo esta diferencia de calor tanto menor cuanto mejor sea el rendimiento de la UAX (200) (CoP elevado equivale a elevado rendimiento). Esto tiene implicaciones directas
- 25 sobre el Ciclo de potencia porque supone que al Rehervidor (113) será necesario aportar una cantidad adicional de agua, además de todo el condensado producido en el Condensador de regeneración (107).

30 INTEGRACIÓN DE LA BOMBA DE CALOR (UAX) EN EL CICLO COMBINADO DE POTENCIA

Para que el Ciclo Combinado funcione según esta invención es preciso que la Unidad de Absorción de Intercambio de calor UAX (200) quede integrada dentro de una Instalación

única, realizando la función de “regenerar” el ciclo de Brayton constituyente, reciclando el calor que se desprende en el punto más frío del ciclo evitando que se pierda, tal como ocurre en otros ciclos combinados convencionales.

La regeneración del ciclo Brayton constituyente mediante Bomba de Calor de esta invención se consigue:

- utilizando un fluido caloriportante condensable (vapor de agua) en lugar de un gas como sucede en los ciclos Brayton normales,
 - tomando cierta cantidad de trabajo mecánico procedente del Ciclo de potencia para hacer funcionar la bomba de calor UAX (200),
 - captando el calor de condensación que se desprende desde el Ciclo de potencia a través del “foco frío” de la UAX (200),
 - retornando el calor y el trabajo recibido del Ciclo de potencia a través del “foco caliente” de la UAX (200) generando un vapor de agua a mayor presión y temperatura que las que tuvieron lugar previamente durante la condensación.
- Para conseguir este tipo de “regeneración” del ciclo Brayton constituyente, la instalación dispone de:
- un sistema de intercambio de calor formado por el Condensador de regeneración (107) que transfiere el calor de condensación del vapor de agua a presión ambiente hacia el foco frío de la bomba de calor UAX (200),
 - el Rehervidor regenerador (113) que opera a mayor temperatura que el Condensador de regeneración (107) generando vapor de agua a mayor presión con el calor que le retorna la bomba de calor UAX (200) a través de su foco caliente,
 - la Bomba de condensado de regeneración (111) que impulsa el condensado desde el Condensador de regeneración (107) hasta el Rehervidor regenerador (113). El agua condensada es enviada desde el Condensador de regeneración (107) hasta el Rehervidor regenerador (113).

El procedimiento de Regeneración del ciclo Brayton constituyente mediante bomba de calor que se presenta en esta invención aporta dos ventajas singulares respecto a los ciclos Brayton regenerativos convencionales:

- Permite reciclar calor que se desprende del ciclo Brayton constituyente precisamente en el punto del ciclo que tiene menor temperatura.
- Regenera el fluido comprimido porque el vapor de agua se condensa a una presión y posteriormente se regenera el vapor pero a una presión más elevada.

De este modo se logra minimizar el consumo de trabajo mecánico de compresión que se precisa para llevar el vapor hacia la Fuente térmica esencial (101) del ciclo Brayton constituyente.

5 Para que este tipo de regeneración mediante bomba de calor (200) sea posible, se requiere también que el Eje de potencia de la instalación (130) suministre el trabajo mecánico de compresión que ésta precisa para su funcionamiento, tratándose como un autoconsumo adicional.

10 Sin considerar las pérdidas reales y conforme al principio de conservación de la energía, la UAX (200), como cualquier otra bomba de calor, emite por su foco caliente una cantidad de energía térmica igual a la que ha sido absorbida por su foco frío más el trabajo consumido por el compresor. Es decir, que siempre se desprende más calor por el foco caliente del que se absorbe por el foco frío. Puesto que la UAX no intercambia energía con el exterior, este trabajo mecánico de compresión absorbido del Ciclo de potencia es
15 ulteriormente retornado en forma de calor adicional por el Rehervidor (113). Por este motivo, además de todo el condensado generado en el Condensador de regeneración (107), es preciso suministrar al Rehervidor (113) una cantidad adicional de agua para ser evaporada.

20 En cualquier caso, como es lógico, resulta que cuanto más elevado sea el rendimiento (CoP) de la bomba de calor UAX (200), más alta será la eficiencia neta del Ciclo Combinado de potencia.

Una característica singular de utilizar una variante del “ciclo Brayton constituyente” según la cual se utiliza un fluido condensable, es que permite intercambiar fluido caloripotante
25 con el “ciclo Rankine fundamental constituyente” del Ciclo Combinado de la invención. En el Ciclo Combinado objeto de esta invención, la cantidad de agua adicional que precisa evaporar el Rehervidor (113) con respecto al Condensador (107) se obtiene de corrientes procedentes del ciclo Rankine fundamental constituyente.

Esta posibilidad de interconectar los ciclos Brayton y Rankine constituyentes del Ciclo
30 Combinado de esta invención, da lugar a otro tipo de ventajas tales como la posibilidad de simplificar la instalación utilizando elementos comunes a ambos ciclos.

El objetivo de integrar una bomba de calor dentro del ciclo de Brayton constituyente es el de conseguir su “regeneración”, reciclando el calor que se desprende en el punto más

frío del ciclo evitando así que éste se pierda. Este tipo de regeneración solo resulta factible cuando se trata de un ciclo Brayton “cerrado” o “semicerrado”, es decir, únicamente cuando el fluido caloriportante no es expulsado a la atmósfera sino que retorna al ciclo.

- 5 - La operación en “ciclo cerrado” se realiza cuando la Instalación funciona sin que se aporte materia del exterior, en cuyo caso el aporte de energía se realiza intercambiando calor por una fuente externa que disponga de temperatura suficiente para ello (que puede ser de origen solar o nuclear, por poner algún ejemplo).
- 10 - La operación en “ciclo semicerrado” se realiza cuando el aporte de energía a la Instalación se realiza mediante un proceso de “oxicombustión interna” llevado a cabo en algún quemador.

En el caso de que el Ciclo Combinado sea semicerrado, éste dispondrá de, al menos un quemador como fuente de aporte de energía del Ciclo de potencia. Cualquier quemador del Ciclo Combinado emplea como comburente exclusivamente oxígeno industrialmente puro diluido en vapor de agua a presión en un proceso denominado “oxicombustión” en el que los gases de esta reacción química pasan a formar parte del fluido caloriportante en el quemador. De este modo, el Ciclo Combinado semicerrado además de
20 oxicombustión, es de “combustión interna”.

Cualquier otro elemento o sustancia distinta del O_2 presente en el comburente resulta indeseable (tal como el Nitrógeno, Azufre, etc.) porque contamina el fluido caloriportante y genera problemas de operación al Ciclo Combinado. Esto excluye la posibilidad de utilizar aire como comburente de este Ciclo Combinado.

25 El Ciclo Combinado semicerrado puede utilizar cualquier combustible que cumpla los siguientes requisitos:

- Los combustibles empleados deben ser líquidos o gaseosos pero nunca sólidos.
- El combustible utilizado en los quemadores del Ciclo Combinado, puede estar constituido por una única sustancia combustible o por una mezcla de varios
30 combustibles.
- La composición química de las sustancias empleadas como combustible se corresponden con la fórmula genérica es $C_xH_yO_z$, donde las letras C,H y O se refieren a los elementos Carbono, Hidrógeno y Oxígeno respectivamente y los subíndices “X,Y,Z” representan el contenido estequiométrico de cada uno de los

elementos, conforme a las siguientes prescripciones:

- El Subíndice “Z” del oxígeno de la fórmula genérica puede ser cero o cualquier otro valor. Según esto, cualquier hidrocarburo que cumpla los todos los requisitos anteriores es susceptible de ser utilizado como combustible del Ciclo Combinado.
- El hidrógeno puro puede ser utilizado como combustible en cualquier caso. No obstante, para instalaciones que utilicen el H_2 como combustible único y por motivos de eficiencia y simplicidad de la Instalación, este ha de ser tratado como un caso especial según la **Configuración-4 (Figura-4)** del Ciclo Combinado.
- caso en que el Subíndice “Y” del hidrógeno puede tomar el valor cero.
- Cualquier otro compuesto químico que contenga elementos distintos del Carbono, Hidrógeno y Oxígeno resulta indeseable.
- Los combustibles susceptibles de ser utilizados deben ser sustancias químicas reales susceptibles de reaccionar químicamente con el oxígeno en un proceso exotérmico de combustión.
- La reacción química de combustión debe llevarse a cabo sin que tenga lugar simultáneamente ningún tipo de reacción química secundaria.

En cualquier proceso “semicerrado de oxicomustión interna”, se produce de manera intrínseca un aporte continuo de materia al ciclo (en forma de combustible y de comburente) por lo que para establecer el balance de materia del ciclo, resulta imprescindible que la misma cantidad de materia que ingresa sea eliminada en otra parte del ciclo en forma de productos de la combustión. Al eliminarse del Ciclo de potencia únicamente los productos de la combustión (CO_2 gaseoso y H_2O líquida por separado) resulta muy sencillo su procesamiento ulterior sin que tengan lugar las emisiones de gases de efecto invernadero que suponen los ciclos abiertos. En el ciclo de esta invención el agua sale líquida a temperatura ambiente lo cual supone un impacto medioambiental irrelevante y por otro lado el CO_2 se obtiene concentrado y confinado sin necesidad de tener que realizar ningún procedimiento específico para su captura.

Precisamente, esta particularidad del Ciclo Combinado por la que los productos de la combustión son eliminados “separados, concentrados y con baja temperatura” es uno de los motivos fundamentales por los que con el presente Ciclo de potencia se consiguen eficiencias más elevadas que con otros ciclos combinados abiertos del estado de la técnica actual.

Una de las características fundamentales del Ciclo de potencia de esta invención que le diferencia de los ciclos combinados convencionales es que es condición imprescindible que exista permanentemente un equilibrio energético de tal modo que la energía que entra al Ciclo de potencia a través de las Fuentes térmicas (101) y (132) tiene que ser igual a la suma de las energías que salen del Ciclo de potencia a través del Eje de potencia (130), como trabajo neto del Ciclo, más el calor perdido por el Sumidero (128).

Cualquier variación que se origine entre los ciclos Brayton constituyente, Rankine fundamental constituyente y la UAX debe ser compensada para mantener esta igualdad transfiriendo calor de uno a otro, y para ello, es condición esencial que exista siempre un diferencial de temperatura entre un fluido y otro que así lo permita. De lo contrario, será preciso evacuar energía del Ciclo perdiendo potencia mecánica y/o rendimiento.

VENTAJAS PARTICULARES DE LA INSTALACIÓN DE LA INVENCION

Las ventajas fundamentales que el Ciclo Combinado de la invención aporta respecto a otros procedimientos de generación de energía mecánica son fundamentalmente las siguientes:

- Con el Ciclo de potencia de la invención se consigue un rendimiento tan elevado o superior al que actualmente ofrecen otros procedimientos disponibles del estado de la técnica actual.
- Con el Ciclo de potencia de la invención se consigue un menor impacto medioambiental que el que generan otros procedimientos disponibles en el estado de la técnica actual.

Los aspectos singulares más ventajosos que caracterizan al Ciclo Combinado de la invención son los siguientes:

- El Ciclo Combinado de potencia emplea agua como fluido caloriportante común en todos los equipos que lo constituyen. Esto hace posible que:
- El Ciclo Combinado de potencia integre, al menos, un ciclo Brayton constituyente y un ciclo Rankine fundamental constituyente en un solo ciclo. Esto hace posible que:
- El Ciclo Combinado de potencia sea susceptible de poder trabajar tanto en ciclo cerrado como en ciclo semicerrado (oxicombustión interna).
- El Ciclo Combinado de potencia es regenerado mediante la bomba de calor. Esto

hace posible que:

- El Ciclo Combinado de potencia realice la captura del CO₂ (generado en el proceso de oxidación) como residuo gaseoso concentrado que se obtiene confinado en un equipo concreto del ciclo – Condensador de regeneración (107) -.
- El Ciclo Combinado de potencia (exceptuando las pérdidas reales y el calor de cogeneración) desprende calor al ambiente a través de un único foco térmico - sumidero de calor (128) -. El calor que desprenden el resto de elementos es reutilizado por algún otro elemento del propio ciclo.

La integración de una bomba de calor por absorción UAX (200) en cola del ciclo de Brayton constituyente es un elemento clave e innovador que introduce el Ciclo Combinado de la presente invención. La bomba de calor UAX (200) integrada en el Ciclo de potencia permite conseguir los siguientes efectos característicos particularmente novedosos y ventajosos:

- 1) Mejora de la eficiencia global del Ciclo de potencia. La UAX (200) capta calor del Ciclo de potencia a través de su foco frío para volverlo luego a reintroducir en el ciclo por su foco caliente. Esto hace que no se produzcan pérdidas de calor del fluido caloriportante hacia el exterior en la etapa de enfriamiento Isóbaro del ciclo de Brayton constituyente. Esto hace que el Condensador (128) realice la función de único sumidero de calor del Ciclo Combinado por el cual se cede calor al exterior.
- 2) Regeneración del ciclo Brayton constituyente. Esta invención es un procedimiento novedoso de “Regeneración” del ciclo Brayton constituyente, según el cual con la energía térmica que transfiere la “bomba de calor” UAX (200) se regenera una parte del vapor del Ciclo de potencia.
- 3) Reducción del trabajo mecánico de compresión en el ciclo de Brayton constituyente. La UAX (200) consigue en el Ciclo de potencia un efecto equivalente al de comprimir vapor, porque el proceso de transferencia de energía térmica que realiza la bomba de calor implica la condensación de vapor a presión ambiente (con el calor que absorbe el “foco frío”) para posteriormente volver a producir vapor a una presión mayor (con el calor que desprende el “foco caliente”), en otro punto del mismo ciclo.

4) Reducción del impacto medioambiental. En esta invención se realiza de manera intrínseca el proceso de secuestro de dióxido de carbono en tanto en cuanto, el propio funcionamiento del Ciclo Combinado se deshace de la presencia de este gas procedente de la combustión en un punto concreto del Ciclo Combinado – Condensador de regeneración (107) –. Mediante la integración de la bomba de calor UAX (200) en el Ciclo Combinado semicerrado de la invención, se consigue la condensación total del fluido caloripotante (agua) dejando libre únicamente el CO₂ incondensable en fase gaseosa. Estos gases incondensables se capturan y se envían a una planta de compresión y licuado para su distribución y transporte. Con este procedimiento, el Ciclo de potencia de esta invención no emite directamente a la atmosfera ningún tipo de gases procedentes de la combustión.

El efecto global que se logra acoplando la bomba de calor UAX (200) al ciclo Brayton constituyente, equivale a comprimir su gas caloripotante en el sentido de que partiendo de un fluido gaseoso que tiene baja presión y temperatura, se realiza un proceso (de regeneración) por el que se obtiene ese fluido gaseoso pero con mayor presión y temperatura. La diferencia clave está en que para conseguir este fluido comprimido, en vez de usar medios mecánicos se emplea una bomba de calor. El uso de una bomba de calor para generar un vapor comprimido aporta adicionalmente, una ventaja medioambiental clara respecto a otros métodos basados en el uso de hidrocarburos como combustible del estado de la técnica actual, porque induce la captura de los gases incondensables procedentes de la combustión cuyas emisiones suponen un efecto pernicioso para el medioambiente.

Siempre que se utilicen combustibles en un ciclo semicerrado de oxcombustión, se va a producir CO₂ que acompaña al vapor de agua hasta ser enfriado por el foco frío de la bomba de calor. Todo este CO₂ que se obtiene concentrado y en estado gaseoso se retira del Ciclo de potencia cuando condensa todo el vapor de agua que le acompaña. La captación del CO₂ que se genera en los quemadores del ciclo combinado se produce como consecuencia directa de la operación de los equipos del ciclo y en ningún caso se realiza un procedimiento específico para “captar” el CO₂ es decir, que aunque la captura de CO₂ no tuviera un interés medioambiental, el ciclo funcionaría de la misma manera y el CO₂ capturado pudiera ser vertido directamente a la atmosfera. En este ciclo la captura

de CO₂ es una ventaja y no una opción.

Esto supone que en el Ciclo de potencia se produce intrínsecamente la captura del CO₂ como consecuencia directa de realizar la regeneración del ciclo Brayton constituyente mediante bomba de calor. Con este procedimiento no se precisa de ningún otro
 5 procedimiento adicional para secuestrar el CO₂ procedente de la combustión de este Ciclo Combinado.

REALIZACIONES PARTICULARES DE LA INSTALACIÓN DE LA INVENCION

10 Para conseguir maximizar el rendimiento es preciso que el Ciclo Combinado de esta invención disponga de una serie de equipos adicionales.

Con la finalidad de mejorar la eficiencia global del Ciclo Combinado, los Ciclos Combinados correspondientes a las **Figuras-2, 3 y 4** consiguen fundamentalmente cuatro tipos de mejoras respecto al Ciclo Esencial representado en la **Figura-1**:

15 1ª- Aumentar la presión en la Fuente térmica esencial (101). Esto se consigue aumentando la presión del vapor regenerado en el Rehervidor (113) y para ello se dispone de una o más etapas de compresión mecánica adicionales, utilizando unos compresores (115) y (117). Este proceso de compresión se lleva a cabo en varias etapas con refrigeración intermedia haciendo uso del intercambiador formado por los Elementos
 20 (116) y (118).

- 2ª- Aumentar la temperatura del vapor de entrada a la Turbina TAP (122). Esto se consigue disponiendo de una Fuente térmica suplementaria (132) adicional que aumente la entalpía del vapor del ciclo Rankine fundamental constituyente.
- 3ª- Utilizar parte del calor que contienen los gases de escape de Turbina TAT
 25 (102) para usos industriales ajenos al Ciclo de potencia. De este modo, del Ciclo Combinado se obtiene simultáneamente energía mecánica y energía térmica útil en un proceso que se denomina cogeneración.
- 4ª- Reutilizar parte de calor que se desprende en el Sumidero de calor. Resulta factible conseguir aumentar el rendimiento del Ciclo Combinado de esta invención
 30 cuando el sumidero de calor lo constituye un circuito recuperador de calor que genera vapor en otro ciclo Rankine secundario de menor presión que el ciclo Rankine fundamental constituyente. Para conseguir esto, esta invención propone tres tipos de configuraciones diferentes (representadas en las **Figuras 2, 3 y 4**).

Estos cuatro tipos de mejoras del Ciclo Combinado son totalmente compatibles entre sí. Sin embargo, respecto al cuarto tipo de mejoras que arriba se indica, cabe señalar que existen diferentes métodos para reutilizar el calor que se desprende por el sumidero esencial del Ciclo - Elemento Condensador (128) de la **Figura-1**- sustituyendo este por un ciclo Rankine secundario de tal manera que se consigue aprovechar parte del calor que se capta para convertirlo en trabajo mediante la Turbina TBP (127) y de manera que el Condensador de este ciclo Rankine secundario pasa a realizar la función imprescindible de “sumidero” de calor del Ciclo Combinado de potencia. Existen tres configuraciones del Ciclo Combinado distintas dependiendo de la manera en que se integra el ciclo Rankine secundario. Estas tres configuraciones se corresponden con las **Figuras 2, 3 y 4** respectivamente. Cada una de estas configuraciones consta de equipos y elementos particulares, los cuales se detallan más adelante en las que se exponen las particularidades de cada configuración por separado.

Para conseguir los tres primeros tipos de mejoras, el Ciclo Combinado de la invención se diseña incluyendo una serie de equipos adicionales. Es importante señalar que los equipos adicionales son aquellos que no forman parte del ciclo básico esencial, y se diseñan para operar de manera que se consigan diferentes versiones del Ciclo Combinado más eficientes y con ventajas adicionales que las que aporta la configuración esencial conforme a la **Figura-1**.

Los equipos adicionales que comprenden las diferentes versiones de Ciclo Combinado según esta invención son los siguientes:

115: Primer compresor de vapor de agua. El Compresor (115) realiza una primera etapa de compresión de vapor de agua procedente del Elemento intercambiador de calor por condensación (114). El rendimiento termodinámico del Ciclo de potencia aumenta cuanto mayor sea la presión en la Turbina TAT (102) y esto se consigue aumentando la presión del vapor que entra a la Fuente térmica esencial (101). Para conseguir que el vapor de agua llegue a la Fuente térmica esencial (101) con una presión más elevada que la que tiene el vapor que se genera en el Rehervidor (113), es posible utilizar medios mecánicos adicionales. Para ello, se dispone del Compresor (115) que aumenta la presión del vapor de agua que sale del lado del intercambiador (114) empleando un trabajo mecánico que se obtiene del Eje de potencia (130) de la instalación.

Cuando el vapor se comprime, éste aumenta su temperatura (por efecto Joule-Thomson),

sin embargo el proceso de compresión mecánica resulta más eficiente cuanto más frío esté el gas que se comprime. Conclusión de esto es que el rendimiento termodinámico del proceso de compresión es mayor cuando este se realiza en múltiples etapas. Por este motivo el vapor que sale del Compresor (115) se envía a refrigerar en el Elemento de intercambio de calor (116) antes de realizar la siguiente etapa de compresión.

Intercambiador de refrigeración de vapor entre etapas de compresión constituido por los Elementos (116) y (118):

116: Lado carcasa del intercambiador de refrigeración de vapor entre etapas de compresión. Este Elemento (116) junto con el Elemento de intercambio de calor (118) forma un intercambiador de calor. El vapor de salida del Compresor (115) se enfría circulando por el Elemento (116) antes de pasar al siguiente Compresor (117) para así mejorar la eficiencia mecánica de este equipo. En su interior se dispone del Elemento de intercambio de calor (118) por el que circula condensado obtenido por fondo del elemento (114) que sirve de refrigerante.

118: Elemento de refrigeración de vapor entre etapas de compresión. Este Elemento de intercambio de calor (118) junto con el Elemento de intercambio de calor (116) forma un intercambiador de calor. Este intercambiador de calor (116/118) existirá siempre que se disponga de un segundo Compresor (117), en cascada con el anterior (115). En caso de que la Instalación no disponga del Compresor (117), el intercambiador (116/118) es opcional.

El Elemento de intercambio de calor (118) es un serpentín o cualquier otro elemento de intercambio de calor por el que circula agua que sirve de refrigerante del vapor entre las sucesivas etapas de compresión mecánica llevadas a cabo por los Compresores (115) y (117). La Bomba de condensado (129) impulsa el agua que circula por este Elemento de intercambio de calor (118) y la corriente que sale de éste se envía hacia la Fuente térmica esencial (101).

117: Compresor final de vapor de agua. Constituido por otro compresor adicional conectado en serie con el anterior Compresor (115). El Compresor (117) recibe el vapor refrigerado desde el Elemento (116) y de él sale el vapor con presión suficiente como para alimentar a la Fuente térmica esencial (101).

Obviamente, también resulta factible comprimir el vapor empleando un único compresor de vapor y realizar esta operación en una sola etapa. Por tanto, cabe la opción de prescindir este Compresor de vapor (117) adicional, pero en caso de que exista, siempre irá conectado en serie con el Compresor (115) tras el intercambiador de refrigeración intermedia (116/118).

131: Elemento auxiliar de intercambio de calor para precalentamiento del combustible y del comburente (previo a su entrada en quemadores). Es un haz tubular, serpentín u otro elemento de intercambio de calor por el cual circula un fluido auxiliar ubicado en el interior del Elemento de intercambio de calor por condensación (114) y del cual absorbe calor que es utilizado para precalentar por separado tanto el combustible como el comburente desde sus condiciones de suministro hasta la temperatura con la que se envía a los quemadores de oxidación.

Además de ser utilizado para precalentar el combustible y comburente del Ciclo Combinado, el calor procedente del serpentín (131) puede ser destinado para cualquier otra aplicación independiente del Ciclo de potencia en cuyo caso y a todos los efectos se considera a este como un calor de “cogeneración”.

132: Fuente térmica suplementaria. Cuando se dispone de una Fuente térmica suplementaria (132), esta se encuentra situada inmediatamente después de los haces tubulares Evaporadores y Sobrecalentadores (121) de vapor a la salida del CRC (103) y cuya misión es la de aumentar la entalpía del vapor del ciclo Rankine fundamental constituyente para que entre en la Turbina TAP (122) con mayor grado de sobrecalentamiento.

Cuando el Ciclo Combinado es “cerrado” la Fuente térmica suplementaria (132) consiste en un intercambiador de calor adicional que recibe calor de una fuente externa. Cuando el Ciclo Combinado es semicerrado la Fuente térmica secundaria (132) puede ser un quemador de oxidación adicional que opera a mayor presión que la Fuente térmica esencial (101).

30

133: Elemento de intercambio de calor para cogeneración. Está constituido por un circuito tubular de recuperación de calor para uso externo en aplicaciones de cogeneración externas y ajenas al Ciclo de potencia. Por lo tanto, trabaja circulando un fluido independiente del resto de la instalación.

El Elemento de intercambio de calor (133) supone un foco de calor adicional por el que se desprende calor al exterior del Ciclo Combinado pero se considera éste como un calor útil al cual se le dan usos industriales. En este sentido, se considera que la energía calorífica que se extrae del Ciclo de potencia mediante el Elemento de intercambio de calor (133) lo hace con temperatura suficiente como para destinarlo con utilidad a diferentes tipos de procesos industriales comunes comprendidos en un rango que puede cubrir entre los 175°C y los 600°C dependiendo del diseño de la instalación.

En algunos casos, dependiendo de las variables de presión y temperatura con los que se diseña el Ciclo, se requiere que el Elemento de intercambio de calor (133) extraiga calor del CRC (103) para poder así establecer permanentemente el balance de energía del ciclo (especialmente cuando el Ciclo Combinado dispone de dos Fuentes térmicas).

Conforme a los requisitos ineludibles de tener que establecer el balance energético, la cantidad eliminada del Ciclo en forma de calor de cogeneración, viene determinada por las necesidades del Ciclo Combinado y no por la demanda térmica de ningún equipo de consumo externo, salvo que el Ciclo Combinado disponga de un sistema interno adicional que le permita modificar su balance energético.

Con independencia de que se disponga de un serpentín de cogeneración (133) de extracción de calor del CRC (103), el Ciclo Combinado de esta invención puede comprender de un “sistema auxiliar de alivio de calor” constituido por dos equipos adicionales –Recalentador (134) y turbina TPI (135)- que se dispone para establecer el balance de energía que se precisa mantener de manera permanente en la instalación reduciendo la cantidad de vapor que entra hacia las Fuente térmicas (101) y (132) consecuentemente también hacia el CRC (103). Es decir, se puede conseguir aliviar de calor modificando el funcionamiento interno del ciclo en lugar de tener que eliminar calor hacia el exterior.

El “sistema auxiliar de alivio de calor” está formado por un dispositivo de extracción de vapor en la salida de la Turbina TAP (122) que circula por el Recalentador (134), luego por la Turbina TPI (135) y finalmente reintroduce el vapor de escape en el tramo final del CRC (103).

El “sistema auxiliar de alivio de calor” tiene utilidad como medio para amortiguar los desequilibrios energéticos que se producen durante la operación normal del Ciclo Combinado o incluso los cambios de carga.

Para ciertas configuraciones de diseño, especialmente en casos en los que se disponga

de doble Fuente térmica (101) y (132), estos equipos pueden resultar imprescindibles.

El “sistema auxiliar de alivio de calor” utiliza como fluido de trabajo una parte del vapor de agua perteneciente al ciclo Rankine fundamental constituyente por lo que se considera que, cuando existe, forma parte de éste.

5

134: Recalentador auxiliar del ciclo Rankine fundamental constituyente. El Recalentador (134) se encuentra ubicado dentro del propio CRC (103) y está constituido por un circuito tubular que calienta el vapor extraído del escape de la Turbina (122) y seguidamente lo envía hacia la Turbina auxiliar TPI (135).

10

135: Turbina auxiliar de presión intermedia TPI del ciclo Rankine fundamental constituyente. Esta turbina de vapor de agua realiza una función de generar trabajo siguiendo el ciclo Rankine fundamental constituyente.

La Turbina TPI (135) recibe vapor procedente del escape de Turbina TAP (122) tras ser recalentado previamente en el Recalentador (134) con objeto de aumentar la eficiencia mecánica.

Se caracteriza por ser la turbina que trabaja a una presión inferior a la Turbina TAT (102) y superior a la Turbina TBP (127) por lo que se la denomina por sus iniciales TPI (Turbina de Presión Intermedia). Esta turbina trabaja a contrapresión, es decir, realizando una expansión parcial del vapor de tal manera que en el escape tenga presión suficiente como para ser introducido el vapor en un determinado punto del CRC (103) (donde coincidan las temperaturas del vapor que entra al conducto con la temperatura de los gases que circulan por el conducto).

El cuarto tipo de mejoras mencionadas previamente se fundamentan en la reutilización parcial del calor que se desprende en el Sumidero de calor, disponiendo en su lugar de un ciclo Rankine secundario. Esta invención contempla tres tipos de configuraciones dependiendo de cómo se efectúe la integración del ciclo Rankine secundario en el Ciclo Combinado. Cada una de estas configuraciones precisa sus propios equipos adicionales, conforme seguidamente se detallan.

La **Configuración-2** y la **Configuración-3** resultan las más adecuadas para el diseño de Ciclos Combinados de oxcombustión que utilizan además del hidrógeno, el resto de combustibles posibles que contienen carbono, porque su combustión da lugar a dióxido de carbono. En presencia de este gas se requiere que el ciclo Rankine secundario sea

independiente del resto del Ciclo de potencia porque los gases incondensables impiden alcanzar las presiones de “vacío” que se precisan para operar de manera rentable. En estas configuraciones de Ciclo Combinado que comprenden un ciclo Rankine secundario independiente existe la posibilidad de que este ciclo Rankine utilice fluido caloriportante distinto del agua tales como por ejemplo los ciclos ORC (Organic Rankine Cycle por sus siglas en inglés) que utilizan fluidos orgánicos como fluido caloriportante.

El vapor generado en este ciclo Rankine secundario independiente trabaja siempre a una presión inferior a la del ciclo Rankine fundamental constituyente porque la temperatura es muy diferente. Con el vapor generado en el ciclo Rankine secundario se mueve la Turbina TBP (127) que aporta un trabajo adicional al Eje de potencia (130) del Ciclo Combinado. Posteriormente, el vapor que sale de esta Turbina TBP (127) pasa a un Condensador (128) que realiza realmente la función de sumidero de calor por el cual el Ciclo Combinado resultante pierde energía transfiriéndola al exterior. El condensado obtenido por fondo del Condensador (128) es impulsado por la Bomba (123) hacia el Economizador (124), Evaporador (125) y Sobrecalentador (126) sucesivamente antes de regresar a la Turbina (127) cerrando de este modo el ciclo.

Configuración 2

La instalación de la invención según realizaciones adicionales que corresponden a la **Configuración-2**, mostrada en la **Figura-2**, se caracteriza porque:

- Comprende un ciclo Rankine secundario independiente que utiliza su propio fluido caloriportante independiente del resto del Ciclo de potencia.
- el Conducto de recuperación de calor CRC (103) trabaja con presión superior a la atmosférica.
- Se produce condensación de vapor en el interior del último tramo del CRC (103) donde la temperatura de los gases es más baja.

El modo de funcionamiento de la instalación según la **Configuración-2** consiste básicamente en disponer de un circuito Evaporador perteneciente a un ciclo Rankine independiente, en el interior del Conducto de recuperación de calor CRC (103). Este circuito Evaporador genera su vapor con el calor de la condensación que tiene lugar en el tramo final del CRC (103) donde la temperatura es más baja. El agua condensada que se obtiene por fondo de este CRC (103) se envía a un intercambiador externo (108/124)

donde el calor que contiene el condensado se transfiere al Economizador (124) del ciclo Rankine secundario.

La **Configuración-2** comprende todos los elementos de la configuración 1, y además,
5 los siguientes:

108: Lado carcasa del intercambiador del economizador del ciclo Rankine secundario. El Elemento (108) constituye un intercambiador de calor junto con el Economizador (124). Por el elemento de intercambio de calor (108) circula el condensado
10 recogido, bien por el fondo del conducto de recuperación CRC (103) o por el fondo del Conducto (105), según el diseño que proceda, transfiriendo calor hacia el Economizador (124) del ciclo Rankine secundario.

124: Economizador del ciclo Rankine secundario. Junto con el elemento de intercambio de calor (108) constituyen un intercambiador de calor. El Economizador (124)
15 es el elemento de intercambio de calor del ciclo Rankine secundario dispuesto en el interior del Elemento intercambiador de calor (108) del que recibe calor haciendo aumentar la temperatura del condensado (para aproximarla a la de su punto de ebullición) que retorna del Condensador (128) impulsado por la Bomba de alimentación del ciclo
20 Rankine secundario (123).

123: Bomba de alimentación del ciclo Rankine secundario (de baja presión). Es la bomba que impulsa el fluido caloriportante procedente del Condensador (128) hacia el Economizador (124) del Ciclo Rankine secundario.
25

125: Evaporador del ciclo Rankine secundario (de baja presión). Es el elemento de intercambio de calor dispuesto –según la **Configuración-2**– en el último tramo del Conducto de recuperación de calor (103) del que recibe calor por condensación. Su misión es la de recibir el fluido del Economizador (124) y convertirlo en vapor del ciclo
30 Rankine secundario.

126: Sobrecalentador del ciclo Rankine secundario (de baja presión). Es el elemento de intercambio de calor dispuesto en el interior del Conducto de recuperación CRC (103) y cuya misión es la de elevar la temperatura del vapor generado en el elemento

Evaporador (125) del ciclo Rankine secundario antes de entrar en Turbina TBP (127).

127: Turbina del ciclo Rankine secundario (de baja presión) TBP. Es la turbina del ciclo Rankine secundario que aporta trabajo mecánico adicional al Eje de potencia (130).

5 La Turbina TBP (127) recibe el vapor del Sobrecalentador (126) y el vapor de salida se envía hacia el Condensador (128) que realiza la función de sumidero de calor del Ciclo combinado.

Opcionalmente, la **Configuración-2** puede comprender todos los elementos citados anteriormente en la sección titulada “realizaciones particulares de la instalación de la
10 invención”.

Configuración 3

La instalación de la invención según realizaciones adicionales que corresponden a la
15 **Configuración-3**, mostrada en la **Figura-3**, se caracteriza porque:

- Comprende un ciclo Rankine secundario independiente que utiliza su propio fluido caloriportante independiente del resto del Ciclo de potencia.
- el Conducto de recuperación de calor CRC (103) trabaja a presión ambiente.
- No se produce condensación de vapor en el CRC (103) si no que se dispone un
20 Conducto de condensación (105) independiente a tal efecto.
- Comprende un Ventilador (104) que extrae los gases del CRC (103) y los comprime de tal manera que el Conducto de condensación (105) opere a presión superior que tiene a la salida del CRC (103).

25 La diferencia fundamental con respecto a la **Configuración-2** consiste en que en su funcionamiento en la Configuración-3 el Conducto de recuperación CRC (103) trabaja con una presión inferior (generando mayor cantidad de trabajo en Turbina TAT (102) y haciendo que la temperatura de entrada de gases a CRC (103) sea menor) y a continuación, mediante el ventilador (104), se comprimen los gases que salen de este
30 conducto para hacer que la temperatura de condensación del vapor de agua aumente y conseguir de este modo, aumentar la presión de trabajo del ciclo Rankine secundario. Al conseguir transmitir calor con mayor temperatura hacia el ciclo Rankine secundario, aumenta el trabajo mecánico que genera la Turbina TBP (127).

Esta **Configuración-3** comprende además de todos elementos incluidos en la **Configuración-2**, los siguientes:

5 **104: Ventilador.** Es un ventilador de tiro inducido situado a la salida del conducto de gases del Conducto de recuperación de calor (103), que separa la zona de condensación del conducto recuperador de calor CRC (103) situando ésta en un Conducto independiente de condensación (105). El ventilador (104) produce un incremento de la presión del vapor aspirado del CRC (103) haciendo que la temperatura de saturación de este vapor se incremente. Este incremento de temperatura de saturación de vapor en el
10 lado de Conducto (105) hace que se pueda generar el vapor del ciclo Rankine secundario a mayor temperatura, lo cual redundará en una mejora de eficiencia.

105: Conducto independiente de condensación. Es un tramo de conducto de recuperación de calor en el cual se condensa vapor de agua contenido en la fase gaseosa que sale del CRC (103) impulsado por el Ventilador (104).
15

A diferencia de cómo sucede en la **Configuración-2**, en esta **Configuración-3** el Evaporador (125) perteneciente al ciclo Rankine secundario se encuentra ubicado en el interior del tramo de Conducto de condensación (105) con el cual se intercambia el calor de condensación para generar el vapor del ciclo Rankine secundario.

20

Configuración 4

La instalación de la invención según realizaciones adicionales que corresponden a la **Configuración-4**, mostrada en la **Figura-4**, se caracteriza porque:

- 25 - Comprende un ciclo Rankine secundario que utiliza el fluido caloriportante común con el resto del Ciclo de potencia.
- El ciclo Rankine secundario no dispone de economizadores, evaporadores ni sobrecalentadores.
- el vapor que se envía a la Turbina TBP (127) se obtiene directamente de una
30 extracción del Conducto de recuperación de calor CRC (103).
- El condensado obtenido del ciclo Rankine secundario se emplea directamente como agua de alimentación al resto del Ciclo Combinado.

La **Configuración-4** es una simplificación de diseño del Ciclo Combinado en la que el

vapor de agua que circula por el Ciclo Combinado es también utilizado como fluido del ciclo Rankine secundario que es posible siempre y cuando no hay presencia de CO₂ ni otros gases incondensables en ningún punto del Ciclo Combinado. Esto sucede solamente cuando la instalación esté diseñada para trabajar en ciclo cerrado y cuando el

5 hidrógeno sea el único combustible posible.

Cabe indicar que el hidrogeno puede ser utilizado como combustible en cualquiera de las configuraciones posibles del Ciclo Combinado, sin embargo, cuando el hidrógeno se utiliza como combustible exclusivo resulta preferente realizar esta versión de diseño (según se muestra en la **Figura-1**) porque resulta más sencilla y puede resultar más

10 eficiente.

En esta **Configuración-4** del Ciclo de potencia, el ciclo Rankine secundario trabaja con el mismo fluido que el resto del Ciclo Combinado. El vapor del ciclo Rankine secundario según esta **Configuración-4** se obtiene de una corriente extraída directamente del Conducto CRC (103), la cual se envía directamente a la Turbina TBP (127) del ciclo Rankine secundario y por otra parte, condensado que se obtiene del Condensador (128)

15 se retorna directamente como alimentación del resto del Ciclo Combinado mediante la Bomba (109). Consecuencia directa de esto es que esta versión de diseño no comprende elementos de intercambio de calor que generen su propio vapor, es decir, que no hay ni Economizador (124), ni Evaporador (125), ni Sobrecalentador (126).

20 En esta configuración también se prescinde de la Bomba de alimentación del ciclo Rankine secundario (123) porque la Bomba (109) retorna el condensado directamente desde el Condensador (128), como agua de alimentación del resto del Ciclo Combinado. Cuando se realiza un ciclo de semicerrado con hidrógeno como combustible y conforme a la **Configuración-4**, es agua el único producto que se obtiene de la combustión, la cual

25 es eliminada del ciclo en estado líquido desde esta línea de retorno de condensado (al igual que sucede en el resto de las configuraciones).

Cuando se realiza un ciclo de cerrado conforme a la **Configuración-4**, no existen quemadores por los que se realice aporte continuo de materia al Ciclo Combinado y por lo tanto de éste no se obtiene de manera continúa ningún tipo de residuo.

30

En base a lo establecido, cabe distinguir que los únicos equipos del Ciclo Combinado por los que puede haber circulación de CO₂ son:

Cuando la Fuente térmica principal (101) está constituida por un quemador (de algún combustible distinto del H₂); El propio Quemador (101), la Turbina TAT (102), el CRC

(103), el Elemento de intercambio por condensación (106) y finalmente, el Condensador de regeneración (107) de donde el CO₂ es eliminado del ciclo.

Cuando el Ciclo de potencia dispone de otro quemador realizando la función de Fuente térmica suplementaria (132) además de todos los equipos citados previamente, hay circulación de CO₂ por el Quemador suplementario (132), la Turbina TAP (122), el Recalentador (134) y la Turbina TPI (135) –considerando que el Ciclo de potencia puede comprender también de estos dos últimos equipos opcionales-

Cuando el Ciclo de potencia se realiza conforme a la **Configuración-3**, además de los equipos anteriores, hay circulación de CO₂ por el Ventilador (104) y el Elemento de intercambio por condensación (105).

La Instalación según la invención independientemente de cuál sea su configuración de diseño puede estar conectada energéticamente con el exterior únicamente por;

- las Fuentes térmicas (101) y (132) como los únicos puntos posibles de entrada de energía al Ciclo Combinado y que,
- Los puntos por los que sale energía del ciclo son además de las inevitables pérdidas reales: el calor perdido por el Sumidero (128), el trabajo mecánico neto que se obtiene del Eje de potencia (130) y el calor útil que se obtiene para “cogeneración”.

DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE LA INVENCION

El rendimiento teórico de una Instalación generadora de energía según la invención, puede ser estimado mediante el presente procedimiento de manera muy sencilla y aproximada:

A título de ejemplo, se realiza el presente cálculo del rendimiento teórico del ciclo de la invención empleando únicamente hidrógeno puro como combustible, considerando lo siguiente:

- Es considerada como “energía útil” producida por la Instalación la suma del calor que se toma desde el CRC (103) para uso externo del ciclo en concepto de “cogeneración” más el trabajo mecánico neto que sale del Ciclo Combinado, a través del Eje de potencia (130),
- Se considera que no existen “pérdidas reales” y que el Ciclo Combinado pierde

energía térmica únicamente a través del Condensador (128) que realiza la función de sumidero de calor.

- Estableciendo los cálculos referidos a 1 Kg de condensado en la línea de retorno y siendo:

5 - “**X**” el combustible específico: son los kg de combustible quemados por cada 1 kg de agua de “retorno de condensado” que vuelve al ciclo tras el Condensador de vacío (128);

- **“PCS”** el poder calorífico superior del H_2 , cuyo valor se considera igual a 142.200 kJ/kg

10 - “**PCI**” el poder calorifico Inferior del H₂, cuyo valor se considera igual a 120.240 kj/kg

Se determina "**PCS_{H2O}**" el poder calorífico superior del combustible específico (por cada 1kg de agua que se genera), considerando que en la reacción de combustión, por cada 1 kg de H₂ que se quema, se forman estequiométricamente 9 kg de H₂O, por lo que:

15 **PCS_{H2O} = 15.800** kJ/kg_{H2O} generada

PCI_{H2O} = 13.360 **kJ/kg_{H2O} generada.**

Se determina la “ ΔH_{vc} ” salto entálpico de condensación del vapor específico en el Sumidero de calor (128), considerando el cálculo de un supuesto Condensador teórico que realice un salto entálpico de condensación del vapor que coincidente con la diferencia entre el $\mathbf{PCS}_{H_2O}$ y el $\mathbf{PCI}_{H_2O}$, entonces:

$$\Delta H_{VC} = PCS_{H_2O} - PCI_{H_2O} = 2.440 \text{ kJ/kg}_{H_2O}$$

Se determina la “**M_v**” cantidad de vapor “condensada” en el Sumidero de calor (128); esta cantidad será igual a 1kg de agua que se retorna al ciclo, más la cantidad de agua formada en la combustión del H₂ (X) y que debe ser eliminada del ciclo:

25 **$M_V = 1 + X$ (kg_{H2O})**

Se determina la “**E. perdida**” energía eliminada en el Condensador (128):

$$\text{E. perdida} = M_V * \Delta H_{VC} = (1 + X) * (\Delta H_{VC}) = (1 + X) * (PCS_{H_2O} - PC_{I_{H_2O}})$$

$$E. \text{ perdida} = (1 + X) * 2440 \text{ kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}}$$

Se determina la “**Energía útil**” del ciclo considerando que “la energía que entra es igual a la que sale del Ciclo”.

Energía útil = Energía combustión - Calor eliminado Sumidero (128)

$$\text{Energía útil (kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}}) = (X * \text{PCS}_{\text{H}_2\text{O}}) - 2440 * (1+X) = \frac{X * (\text{PCS}_{\text{H}_2\text{O}} - 2440)}{-2440}$$

$$\text{Energía útil (kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}}) = (X * P_{\text{Cl}_{\text{H}_2\text{O}}}) - 2440$$

El Rendimiento de la Instalación “ η_{PCS} ” respecto al PCS se determina mediante la ecuación:

$$\eta_{PCS} = \frac{\text{Energía Útil}}{\text{Energía Combustión}} = \frac{(X \cdot PCI) - 2440}{X \cdot PCS}$$

$$\eta_{PCS} = \frac{PCI}{PCS} - \frac{2440}{PCS} * \frac{1}{X}$$

Sustituyendo por su valor numérico el PCS_{H_2O} y el PCI_{H_2O} :

$$\eta_{PCS} = \frac{13360}{15800} - \frac{2440}{15800} * \frac{1}{X}$$

$$\eta_{PCS} = 0,8456 - 0,1544 * \frac{1}{X}$$

El Rendimiento de la Instalación “ η_{PCI} ” respecto al PCI, que es el que habitualmente se utiliza como referencia, vendrá dado por la expresión:

$$\eta_{PCI} = \frac{\text{Energía Útil}}{PCI} = \frac{(X \cdot PCI) - 2440}{X \cdot PCI}$$

$$\eta_{PCI} = \frac{PCI}{PCI} - \frac{2440}{PCI} * \frac{1}{X}$$

Sustituyendo el PCI_{H_2O} por su valor numérico:

$$\eta_{PCI} = 1 - \frac{2440}{13360} * \frac{1}{X}$$

$$\eta_{PCI} = 1 - 0,1826 * \frac{1}{X}$$

Las dos ecuaciones finales del rendimiento η_{PCS} y η_{PCI} , dan un resultado muy aproximado del rendimiento del Ciclo Combinado de potencia de la invención. Si bien es cierto que no son rigurosamente exactas, de estas expresiones se obtiene la siguiente conclusión: el rendimiento del Ciclo Combinado de la invención varía directamente con el combustible específico quemado. Esto es, el rendimiento del ciclo aumenta cuando se aumenta el consumo específico de combustible en el ciclo.

Sin embargo, no es factible aumentar el consumo específico de combustible si no se satisfacen una serie de restricciones termodinámicas fundamentales a las que el Ciclo Combinado está inexorablemente sometido.

Una de estas restricciones fundamentales es que en el Ciclo Combinado se ha de

cumplir imperativamente el principio de conservación de la energía, según el cual la energía que entra al Ciclo Combinado es siempre idéntica a la energía que sale de él. Conforme a este principio, aumentar el consumo específico de combustible puede suponer, dependiendo de los parámetros de diseño del Ciclo de potencia, un exceso de energía calorífica que no puede ser captada por el Evaporador y Sobrecalentador (121) del ciclo Rankine fundamental constituyente, en cuyo caso resulta imprescindible disponer de algún procedimiento de evacuación de calor al exterior y/o de algún medio de reducción de entrada de calor al CRC (103).

- 10 Algunas realizaciones descritas anteriormente del Ciclo Combinado que precisan ineludiblemente evacuar una parte de calor al exterior del Ciclo Combinado, pueden disponer de un Elemento de intercambio de calor (133) para realizar esta función de evacuar calor hacia el exterior pero haciéndolo con temperatura suficiente como para que este calor resulte útil para ser destinado a cubrir la demanda térmica de determinados procesos industriales, constituyendo así un procedimiento de “cogeneración”.

- 20 En aquéllas configuraciones del Ciclo Combinado que precisan ineludiblemente reducir la entrada de calor al CRC (103), pueden disponer de un “sistema de alivio de vapor” a la salida de la Turbina TAP (122) que reduce la cantidad de vapor que entra hacia las Fuente térmicas (101) y (132) consecuentemente también hacia el CRC (103). Tal sistema de alivio de vapor comprende un Recalentador de vapor (134) y una Turbina auxiliar TPI (135) cuyo vapor de escape termina siendo inyectado en algún punto del tramo final del CRC (103). Cabe destacar que este sistema de alivio de vapor hacia las Fuentes térmicas no supone ningún tipo de mejora en cuanto a rendimiento mecánico del Ciclo Combinado se refiere, aunque puede ser muy útil para poder modular y cambiar de carga en la Instalación y además, permite ciertas configuraciones de diseño de Ciclo Combinado con doble fuente térmica de rendimiento de energía útil muy elevado.

REIVINDICACIONES

1. Una instalación para generación de energía mecánica mediante un Ciclo Combinado de potencia que comprende al menos:

- 5 - medios para llevar a cabo un ciclo Brayton regenerativo constituyente, cerrado o semicerrado, que utiliza agua como fluido caloriportante.
 - medios para llevar a cabo al menos un ciclo Rankine, ciclo Rankine fundamental constituyente, interconectado con el ciclo Brayton regenerativo, y
 - una bomba de calor (UAX) que comprende un circuito cerrado que
10 regenera el ciclo Brayton regenerativo constituyente mediante los elementos siguientes:
 - un Generador principal (201) de amoníaco gaseoso, que actúa como foco frío, que intercambia calor con el Condensador de regeneración (107),
 - un Generador secundario (202), que recibe una fase líquida procedente de
15 un Absorbedor de amoníaco (210), y que envía el vapor de amoníaco hacia unos Compresores (203) y la fase líquida remanente la envía al generador principal,
 - al menos dos Compresores de amoníaco (203), conectados en serie, con refrigeración intermedia, que reciben amoníaco de los Generadores principal (201) y secundario (202)
 - 20 - un Condensador de amoníaco comprimido (207) que recibe el amoníaco comprimido y enfriado en un Evaporador de amoníaco supercrítico (209), y transmite el calor al Generador secundario (202),
 - un Evaporador de amoníaco supercrítico (209),
 - una Bomba de amoníaco condensado (208) procedente del Condensador
25 de amoníaco comprimido (207), que lo impulsa hacia el Evaporador (209), en el que se produce vapor de amoníaco a presión supercrítica,
 - un Absorbedor de amoníaco (210), que recibe el vapor procedente del Evaporador de amoníaco supercrítico (209) y lo disuelve en una fase acuosa, y
 - una Bomba de trasiego (215) que transfiere la solución diluida de amoníaco
30 del Generador principal (201) hacia el Absorbedor (210).
- y además la instalación comprende:
- un Condensador de regeneración (107), mediante el cual la instalación transmite energía al foco frío (201) de una bomba de calor (UAX),
 - un Rehervidor (113), mediante el cual retorna calor al Ciclo de potencia

desde el foco caliente (210) de la bomba de calor (UAX).

- una Bomba de condensado de regeneración (111), que impulsa el condensado obtenido en el fondo del Condensador de regeneración (107), y lo hace fluir hacia el Rehervidor (113),

5 - un Conducto de recuperación de calor, CRC, (103), con el que se genera vapor de agua,

- al menos dos turbinas, de las cuales una es una turbina de alta presión TAP (122), que envía vapor de agua hacia la Fuente térmica esencial (101) y otra turbina es de alta temperatura TAT (102), que envía vapor al Conducto de recuperación de calor (103).

10

- al menos un Eje común de potencia (130), del cual se obtiene la energía mecánica útil del ciclo,

- un sistema que realiza la función de Sumidero de calor (128) condensando vapor en el fondo o tras el CRC (103),

15 - una Bomba de retorno de condensado (109),

- una Bomba de agua de alimentación (119) del ciclo Rankine fundamental constituyente,

- un generador de vapor del ciclo Rankine fundamental constituyente que consta de:

20 - serpentines Economizadores (120),

- Evaporadores y Sobrecalentadores de vapor de agua (121) situados en el interior del Conducto de recuperación de calor (103),

- un Elemento de intercambio de calor por condensación (106), previo a la entrada de vapor y gases al Condensador de regeneración (107), que cede calor a un Precalentador de retorno de condensado (110),

25

- un Elemento de intercambio de calor por condensación (114), dispuesto a la salida del Rehervidor (113), que cede calor a un Precalentador (112) del agua de entrada al propio Rehervidor (113),

- una línea de bypass que une el ciclo Brayton constituyente con el ciclo Rankine fundamental constituyente, situada entre la impulsión de la Bomba de condensado de regeneración (111) y la aspiración de la Bomba de agua de alimentación (119).

30

2. Una instalación para generación de energía según la reivindicación 1, en

la que la Fuente térmica esencial (101) está seleccionada entre:

- un intercambiador de calor y
- un quemador de oxidación,

tal que en dicha Fuente térmica esencial (101) se unen corrientes de ambos
5 ciclos de Brayton constituyente y Rankine fundamental constituyente.

3. Una instalación para generación de energía según la reivindicación 1, en la que el ciclo Brayton regenerativo es semicerrado, de oxidación y con captura intrínseca de CO₂.

10

4. Una instalación para generación de energía, según las reivindicaciones **1 ó 3**, en la que el Ciclo de potencia es semicerrado, de oxidación, en el caso de usar combustibles carbonados, que comprende:

- 15 - una salida para el CO₂ producido en la combustión, situada en el Condensador de regeneración (107) en estado gaseoso, y
- una salida de agua líquida resultado de la combustión en la línea de retorno de condensado de fondo de caldera.

20 5. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones **1 ó 2**, en la que el ciclo de potencia es cerrado o semicerrado, de oxidación, en el caso de usar hidrógeno como único combustible, en la que el sumidero de calor consiste en un ciclo Rankine secundario que utiliza el mismo fluido del resto del ciclo de potencia estando interconectado con la instalación a
25 través de la línea de impulsión de la Bomba de retorno de condensado (109) y por una línea que llega al conducto de recuperación de calor CRC (103).

6. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones 1 ó 2, que comprende un elemento de aporte de calor adicional
30 (132) situado entre el sobrecalentador final (121) y la turbina (122).

7. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones 1 ó 2, que comprende además un compresor (115) o varios compresores de vapor (117), conectados en serie, situados a la salida de vapor del

Elemento intercambiador (114), y previo a la entrada de vapor en la Fuente térmica esencial (101).

5 8. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones 1 ó 7, que comprende además un intercambiador refrigerador de vapor (116/118) entre los Compresores conectados en serie (115) y (117).

10 9. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones 1 ó 2, que comprende además, en la línea de condensado de fondo del Elemento intercambiador por condensación (114), una línea de retorno hacia el Rehervidor (113) por la que se envía una parte de este condensado al propio Rehervidor.

15 10. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones 1 ó 2, que comprende además un Elemento de intercambio de calor para cogeneración (133) dispuesto en el interior del Conducto de recuperación de calor (103) del cual extrae energía calorífica útil que puede ser destinada para su uso externo en cualquier tipo de aplicación industrial.

20 11. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones 1 ó 2, que comprende, además de un "sistema auxiliar de alivio de calor" formado por:

- un Recalentador de vapor (134) que recibe vapor desde una extracción de Turbina TAP (122) y
- 25 - por una Turbina auxiliar TPI (135) cuyo vapor de escape es inyectado en algún punto del tramo final del CRC (103).

30 12. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones 1 ó 2, o una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, que comprende, además:

- un Ventilador (104), que toma vapores de salida del Conducto de recuperación de calor (103) y los comprime para enviarlos a un intercambiador de condensación (105), en el que se aloja un evaporador (125) de un ciclo Rankine secundario independiente.

13. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones 1 ó 2, que comprende, además:

- un intercambiador de calor (108/124) en el cual circulando por el elemento de carcasa (108) se enfría el condensado procedente del Conducto (105), estando en el interior del elemento (108) alojado un economizador (124) del ciclo Rankine secundario independiente.

14. Una instalación para generación de energía, según una de las reivindicaciones 1 ó 2, en la que la bomba de calor comprende además:

- un intercambiador de calor (213/214) que transfiere energía calorífica entre una solución diluida de amoníaco procedente del Generador principal (201) y una solución concentrada de amoníaco procedente del Absorbedor (210),
- un Serpentin (211) alojado en el interior del Evaporador de amoniaco (209), que aprovecha el calor que contiene la disolución concentrada de amoníaco procedente del Absorbedor (210), para producir amoníaco supercrítico,
- un Serpentin de enfriamiento (206) de amoniaco comprimido procedente de los compresores (203), que aporta calor al Evaporador de amoniaco supercrítico (209).

15. Un procedimiento de generación de energía basado en un Ciclo Combinado que se lleva a cabo mediante la instalación definida en una de las reivindicaciones anteriores 1 a 14 que comprende

- realizar un ciclo Brayton constituyente cerrado o de oxidación, regenerado por la acción de la bomba de calor (UAX), que utiliza agua como fluido caloriportante, y producir energía mecánica en la turbina de alta temperatura (102),
- realizar un ciclo Rankine constituyente interconectado con el ciclo Brayton anterior, y que intercambia materia y energía con éste, ya que ambos utilizan agua como fluido caloriportante común y producir energía mecánica en la Turbina TAP (122),
- utilizar una bomba de calor UAX (200) que intercambia energía con el ciclo de Brayton constituyente para regenerarlo y absorber energía mecánica en unos Compresores (203).

16. Un procedimiento según la reivindicación 15, en el que el vapor de agua que circula por el Condensador de regeneración (107) condensa completamente a consecuencia del calor que se transmite hacia el foco frío de la UAX (200), dejando
5 como residuo gaseoso únicamente el CO₂ incondensable en el caso de que el ciclo utilice combustibles distintos del hidrógeno.

17. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 15 ó 16, que comprende:
10 - condensar en el Condensador de regeneración (107) el vapor de agua a presión ambiente, cediendo el calor obtenido al foco frío (201) de la bomba de calor UAX (200)
- regenerar vapor de agua en el Rehervidor (113) a una presión más elevada que la presión a la cual había condensado en el Condensador de regeneración
15 (107), mediante el calor que aporta el foco caliente (210) de la bomba de calor UAX (200).

18. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 15 a 17, en el que la regeneración del ciclo Brayton constituyente se realiza mediante la acción de la
20 bomba de calor UAX (200), reciclando el calor de condensación de vapor a la temperatura del foco frío para retornarlo posteriormente al ciclo, a través del foco caliente, para regenerar vapor de agua a mayor presión y temperatura con la que previamente fue condensada.

25 19. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 15, 16 ó 18, que comprende:
- aportar energía externa de la Fuente térmica esencial (101), que es un quemador presurizado en el caso de ciclo semicerrado, o un intercambiador de calor en el caso de ciclo cerrado.

30 20. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 15, 17 ó 19, que independientemente de las pérdidas reales, comprende usar un único Sumidero de calor, por el cual el ciclo transmite calor al exterior.

21. Un procedimiento según la reivindicación 20, en el que el Condensador (128) de un ciclo de Rankine secundario independiente hace la función de sumidero de calor.

5 22. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 15, 16 ó 19, que comprende

 - realizar un Ciclo Combinado de oxidación, y que utiliza combustibles líquidos o gaseosos, de fórmula general $C_xH_yO_z$ en estado puro o mezclados, donde x, y z, tienen valores tales que corresponden a compuestos químicos reales y capaces de quemar con oxígeno.

10

23. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 15. 16 ó 19, que comprende reducir la cantidad de vapor que entra hacia la Fuente térmica (101), o hacia las fuentes térmicas (101) y (132), mediante un "sistema auxiliar de alivio de calor" constituido por un Recalentador (134) y una Turbina TPI (135), de modo que

15

tiene lugar una extracción de vapor de salida de la Turbina TAP (122) mediante la cual se reduce la cantidad de calor que entra al CRC (103).

24. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 15 ó 17, que comprende precalentar el agua que entra al Rehervidor (113) mediante el Serpentin (112) con calor de condensación del vapor que tiene lugar en el Elemento (114).

20

25. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 15 ó 17, que comprende utilizar calor de condensación parcial de vapor que sale del Rehervidor (113) para precalentar el combustible y el comburente por separado, mediante un serpentín de intercambio de calor (131), o

25

para su uso en una aplicación exterior independiente de la Instalación.

26. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 15 ó 17, que comprende aumentar la presión del vapor que proporciona el Rehervidor (113) utilizando los Compresores mecánicos adicionales (115) y (117), conectados en cascada, con refrigeración intermedia y capaces de suministrar presión suficiente para enviar este vapor hacia la Fuente térmica esencial (101).

30

27. Un procedimiento según la reivindicación 15 ó 16 que comprende:

- en el caso de realizar un Ciclo Combinado de potencia cerrado, o que queme únicamente hidrógeno, enviar directamente vapor procedente del Conducto de recuperación de calor (103) hacia la Turbina TBP (127) del ciclo de Rankine secundario, la cual opera en condiciones de vacío que proporciona el Condensador (128), desde el cual se retorna el condensado como agua de alimentación al ciclo Rankine constituyente fundamental.

28. Un procedimiento según la reivindicación 15, que comprende aspirar los gases de salida del conducto (103), comprimirlos mediante un Ventilador (104) y enviarlos al Elemento intercambiador de calor por condensación (105), con el cual se genera vapor en un Evaporador (125) de un ciclo de Rankine secundario independiente.

29. Un procedimiento según la reivindicación 15, en el que:

- la bomba de calor UAX (200) es una máquina frigorífica que funciona combinando operaciones de compresión y de absorción, que utiliza NH_3 como fluido caloriportante y agua como disolvente,
- el Generador principal (201) de la bomba de calor UAX (200) realiza la función de foco frío, absorbiendo el calor del Condensador de regeneración (107) exclusivamente,
- el único foco frío de dicha bomba de calor UAX (200) trabaja a temperaturas entre 80°C y 120°C,
- el Absorbedor de amoníaco (210) de la bomba de calor UAX (200) realiza la función de foco caliente, transfiriendo el calor al Rehervidor (113) exclusivamente,
- en la bomba de calor UAX (200) se realiza la compresión del vapor de NH_3 en etapas sucesivas con refrigeración intermedia,
- el Condensador de vapor de amoníaco comprimido (207) de la bomba de calor UAX (200) cede la totalidad del calor que desprende al Generador secundario (202), y
- el Evaporador de amoníaco supercrítico (209) de la bomba de calor UAX (200) genera NH_3 en estado supercrítico con el calor
- que le suministran los Elementos de refrigeración de amoníaco comprimido

(204) y (206) entre etapas de compresión y

- con una parte del calor latente que contiene la disolución concentrada que sale caliente del Absorbedor de amoníaco (210).

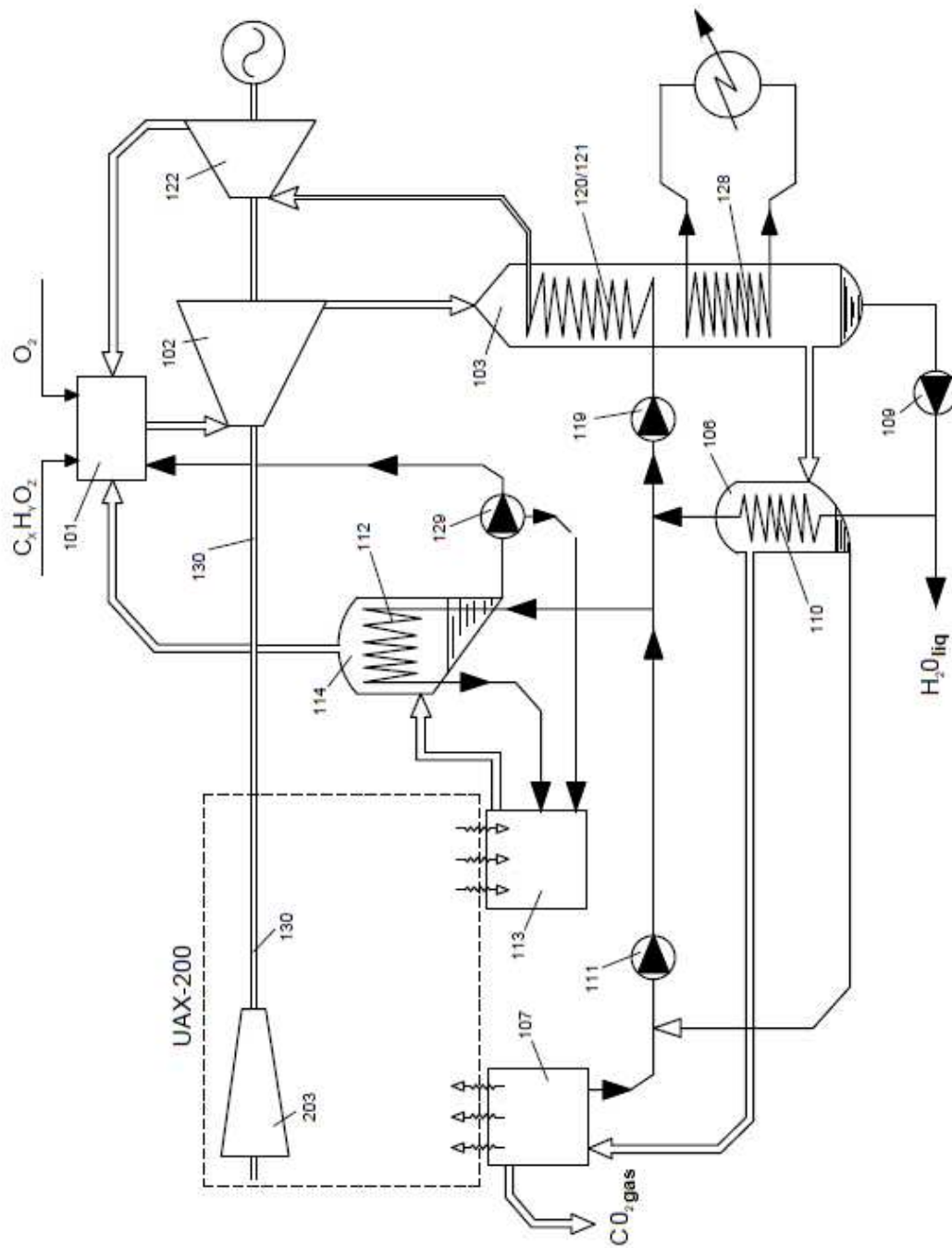


FIG. 1

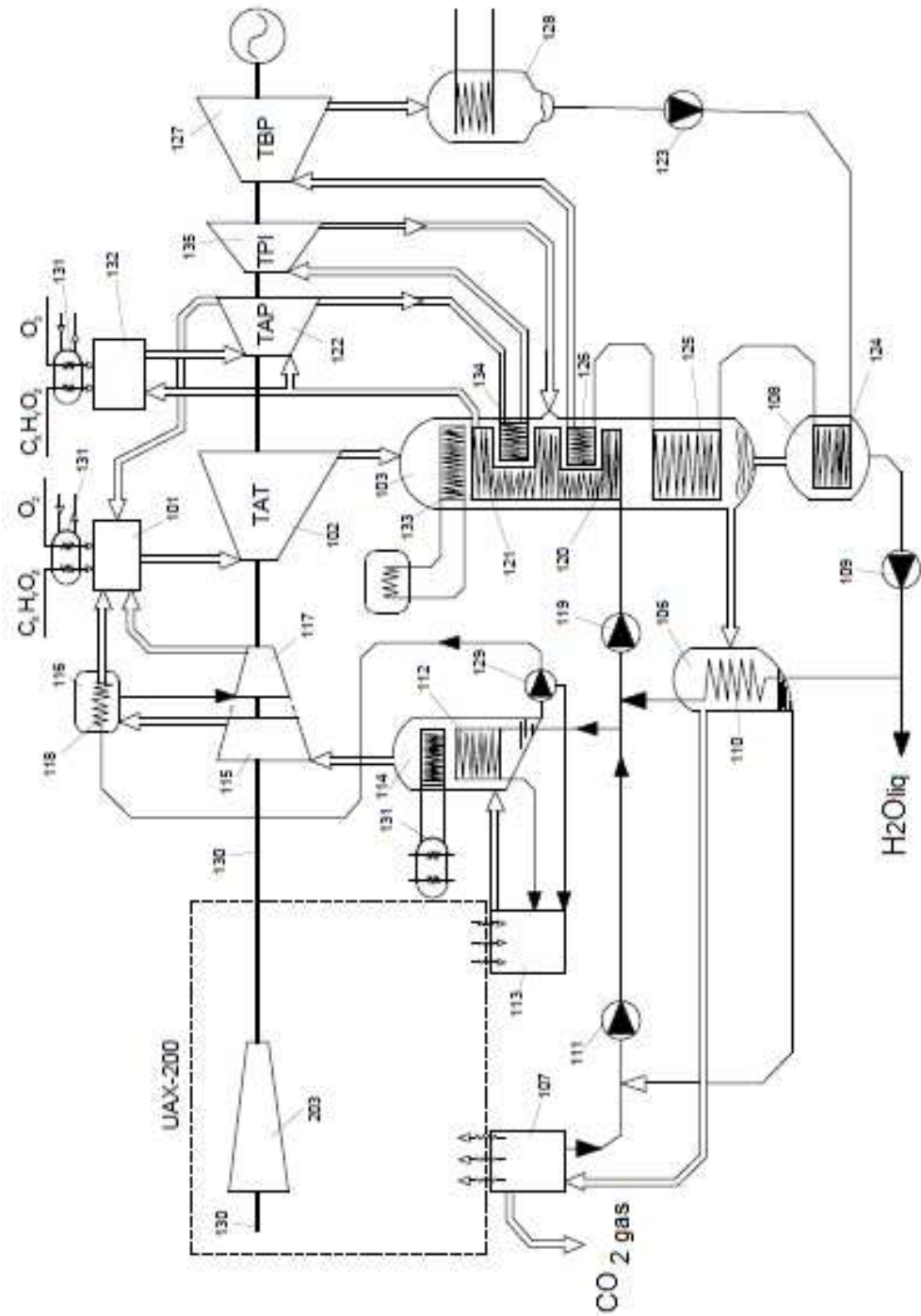


FIG. 2

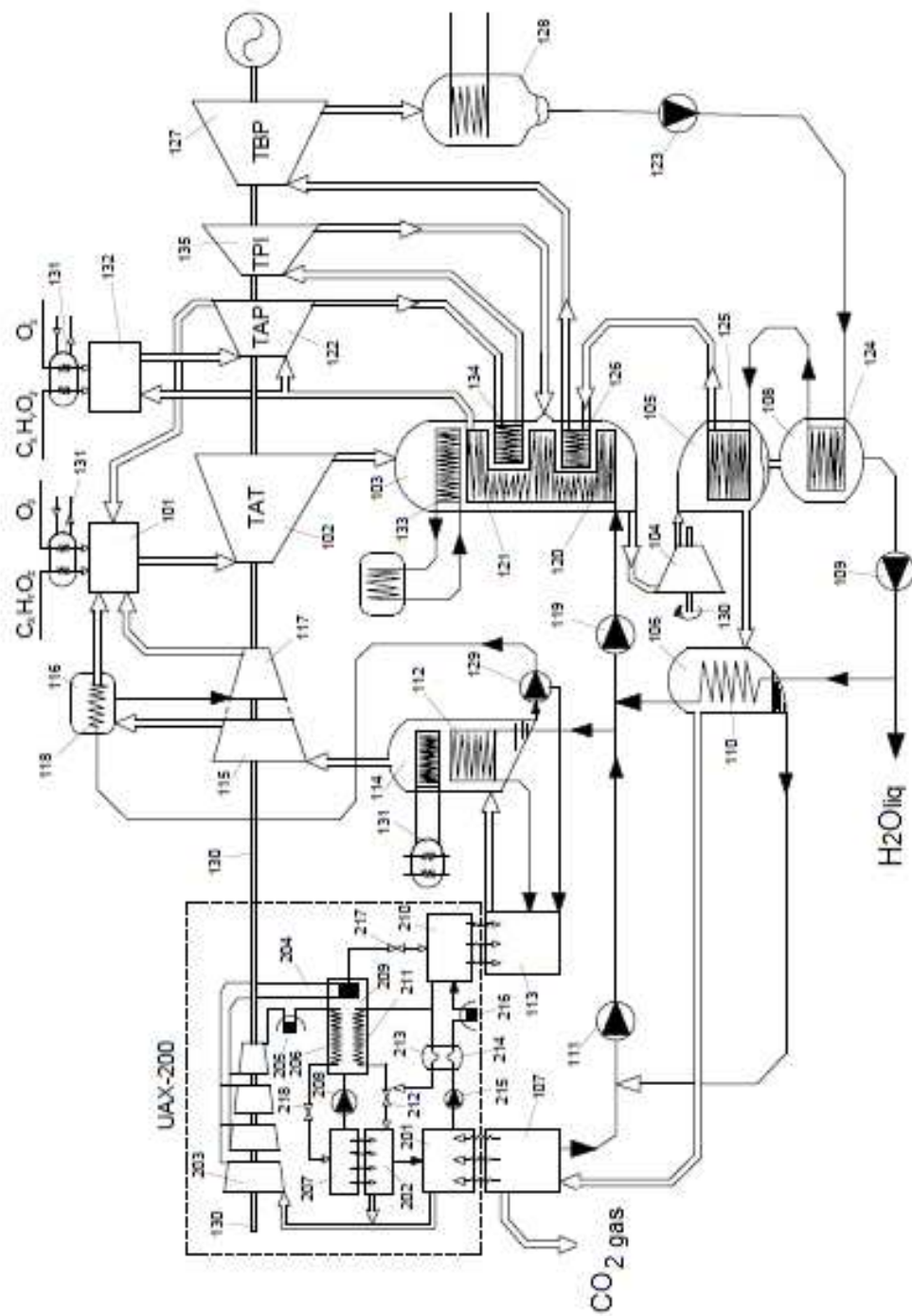


FIG. 3

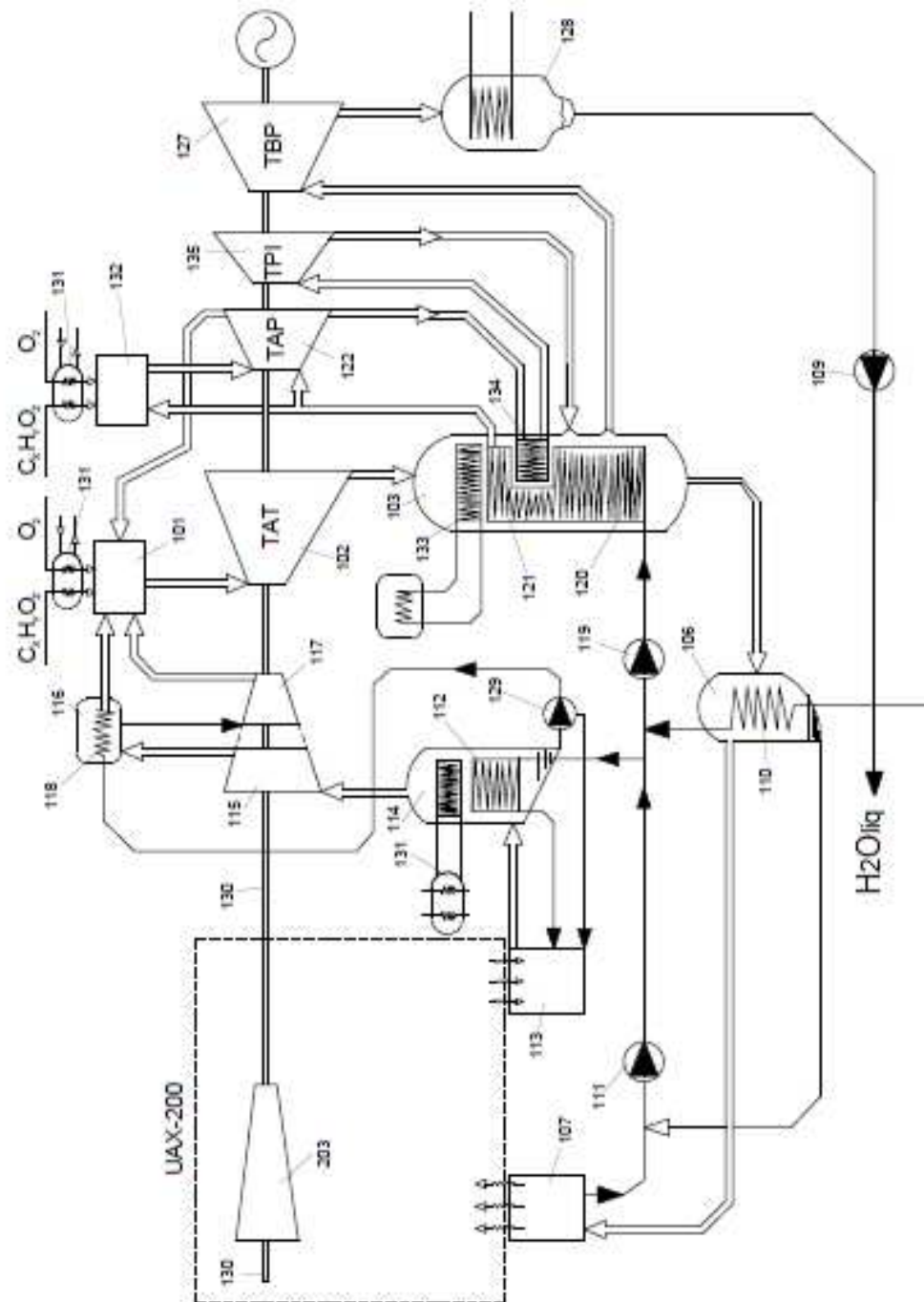


FIG. 4

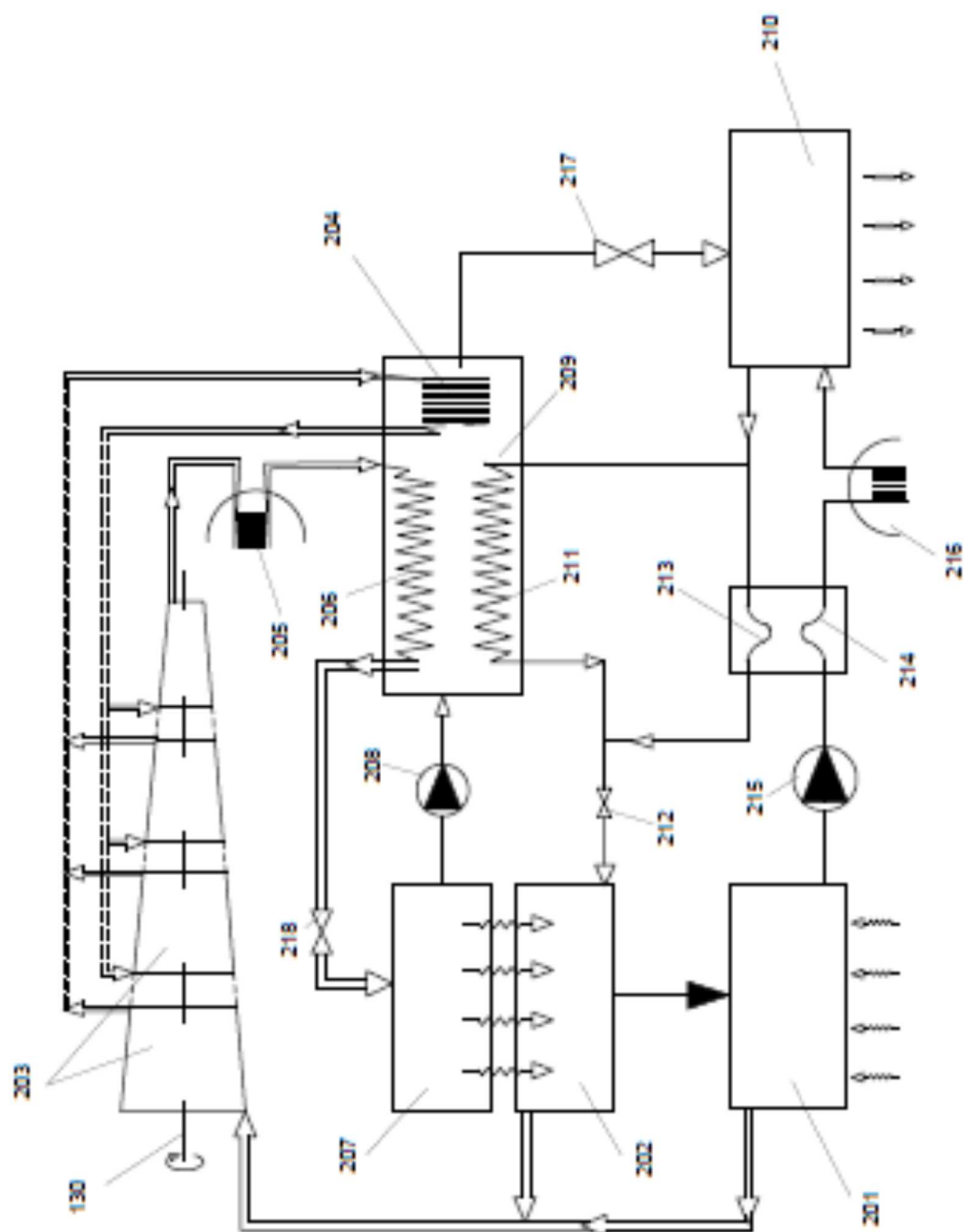


FIG. 5