

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 611 304**

51 Int. Cl.:

F22B 37/10 (2006.01)

F22G 7/14 (2006.01)

F22G 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.12.2012 PCT/EP2012/076083**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2013 WO13092660**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2012 E 12809797 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2016 EP 2795189**

54 Título: **Una caldera de vapor que comprende un elemento de radiación**

30 Prioridad:

21.12.2011 EP 11194868

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.05.2017

73 Titular/es:

**SANDVIK INTELLECTUAL PROPERTY AB
(100.0%)
811 81 Sandviken, SE**

72 Inventor/es:

JÖNSSON, BO

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 611 304 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Una caldera de vapor que comprende un elemento de radiación

Campo Técnico

La presente invención se refiere a una caldera de vapor de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

5 Antecedentes

Las plantas de energía con calderas de vapor están provistas de elementos que transportan agua y/o vapor, tales como tuberías de vapor, en las paredes de la caldera y también a menudo supercalentadores para convertir el vapor saturado que es producido en la caldera en vapor supercalentado seco que es eficiente para la generación de energía.

10 El principio global de funcionamiento de una caldera que produce agua caliente o vapor es la generación de gases de escape calientes quemando un combustible fósil o un combustible renovable para generar agua o vapor caliente que en el caso de una planta de energía es convertido en electricidad. El gas caliente transfiere la energía térmica a través de intercambiadores de calor a agua caliente o vapor a presión que pueden ser utilizados para el calentamiento doméstico o industrial, en procesos industriales, o en una caldera de energía para generar
15 electricidad. La transferencia de calor en la etapa final en este último caso se realiza normalmente en supercalentadores que típicamente constan de conjuntos de tubos dispuestos en la caldera de energía. Durante el funcionamiento, el agua o vapor caliente que se produce en las tuberías de pared de caldera es redirigido de nuevo a la caldera a través de tubos supercalentadores. Los gases de escape calientes procedentes de la caldera calientan los tubos del supercalentador principalmente de manera convectiva y el calor es conducido a través de la paredes de
20 tubos del supercalentador a vapor que fluye en los mismos. La temperatura del vapor es con ello incrementada de manera que se produce vapor seco supercalentado.

Por lo tanto, en calderas convencionales, la transferencia de calor desde el gas de escape a las paredes de caldera o los supercalentadores está restringida principalmente al calentamiento convectivo desde los gases de escape calientes en la caldera. Por lo tanto, las paredes de la caldera y los supercalentadores deben tener un área de
25 superficie grande con el fin de conseguir una transferencia de calor efectiva desde los gases de escape calientes al agua o vapor. Como consecuencia de ello, las calderas y los supercalentadores convencionales están asociados con el problema del elevado coste de material. Un problema adicional es que las paredes de caldera y los supercalentadores voluminosos aumentan el tamaño total de la planta de energía lo que da lugar a elevados costes de construcción para la planta de energía.

30 Un ejemplo de tal caldera se muestra en el documento US4325328 que muestra una caldera de vapor que está construida a partir de tubos intercambiadores que definen cuatro paredes de recinto y una partición, también fabricada a partir de tubos interconectados, que está situada dentro de las paredes de recinto de manera que están definidas dos cámaras de combustión. El agua es evaporada en vapor en las paredes de recinto y en la partición. El vapor es después conducido a través de una superficie de calentamiento de platina para el primer
35 supercalentamiento y después a través de un supercalentador adicional.

También se conoce disponer deflectores de gas de escape y deflectores para controlar el flujo de gas en las calderas.

El documento US4226279 muestra aletas que están soldadas a los tubos en una caldera de vapor para evitar que las partículas de hollín se muevan lateralmente sobre los tubos de vapor. El documento US4226279 está dirigido a
40 superar el problema del alabeo y abombamiento de las placas de deflector en las calderas. Este problema se resuelve en el documento US4226279 soldando las aletas directamente a la sección de tubo, de manera que las aletas son enfriadas por el fluido que fluye a través del tubo.

El documento GB10233 tiene como objetivo resolver el problema de conseguir un flujo de gas uniforme en los tubos de caldera. De acuerdo con el documento GB10233 esto se consigue introduciendo las placas de deflector que
45 presentan una resistencia al flujo de gas en algunas posiciones en la caldera y por tanto se fuerza al gas a fluir de forma uniforme en los tubos de caldera. En el documento GB10233 las placas de deflector están en contacto con el tubo de agua o, alternativamente las placas de deflector están dispuestas perpendiculares al flujo de gas. Esto restringe el flujo de gas sobre las placas de deflector y como consecuencia de ello, las placas de deflector no adoptan una temperatura mucho mayor que el tubo del agua.

50 El documento JP49104001 muestra placas de deflector que están dispuestas en un ángulo considerable con el flujo de gas con el fin de recoger las partículas de hollín en una parte de una caldera.

Se han realizado intentos adicionales para aumentar la transferencia de calor con los tubos supercalentadores y para aumentar la eficiencia de combustión. Uno de tales diseños comercializado es la caldera de lecho fluidificado circulante en la que se consigue una transferencia de calor de 250 – 300 kW/m²°C haciendo circular partículas
55 sólidas calientes (arena y ceniza) en el volumen de caldera y también alrededor de los tubos supercalentadores. Sin

embargo, este método está relacionado con una elevada complejidad y coste de la caldera y el desgaste incrementado de los tubos supercalentadores y otras partes del interior de la caldera.

5 Un método similar está descrito en el documento FR1154090 que describe una caldera en la que el vapor fluye a través de una placa con forma de supercalentador y es calentado mediante radiación de calor de las partículas de hollín calientes en los gases de escape.

Por lo tanto, es un objetivo de la presente invención conseguir una caldera de energía eficiente. Un objetivo más de la presente invención es conseguir a caldera de vapor de efectiva desde el punto de vista del coste. Todavía un objetivo más es conseguir una caldera en la que las emisiones con forma de gases NOx e hidrocarburos no quemados sean reducidas.

10 Compendio de la Invención

De acuerdo con la invención, al menos uno de estos objetivos se consigue por medio de una caldera de vapor que comprende al menos un elemento de transporte de agua y/o vapor que es calentado por los gases de escape en la caldera, caracterizada por que la caldera de vapor comprende al menos un elemento de radiación en la misma; dicho elemento de radiación es un elemento no enfriado; dicho elemento de radiación está dispuesto en el flujo de los gases de escape calientes que es convenientemente calentado por los gases de escape; dicho elemento de radiación está situado a una distancia predeterminada de dicho al menos un elemento de transporté de agua y/o vapor, de manera que el flujo de los gases de escape calientes entre el elemento de radiación y elemento de transporte de agua y/o vapor es calentado por la radiación de calor procedente del elemento de radiación.

20 El principio general de la invención se puede explicar como sigue; Durante el funcionamiento de la caldera de vapor, tanto los tubos de transporte de agua y/o vapor como el elemento de radiación son calentados conductivamente por los gases de escape y posteriormente tanto el elemento de transporte de agua y/o vapor como el elemento de radiación, cuando se aplican las suposiciones geométricas, emitirán energía calorífica de acuerdo con la Ley de Stefan-Boltzman:

$$P = \varphi \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_e^4 - T_s^4)$$

25 en donde

P es la energía radiada por área de superficie del elemento de radiación en W/m²

φ es un factor de geometría que depende de la cantidad de autoemisión de elemento de radiación, entre 0 y 1

σ es 5,67 10⁻⁸ W/m²

ε es la emisividad de superficie (típicamente entre aproximadamente 0,7 y 0,9 para superficies oxidadas)

30 y T_e y T_s son la temperatura del elemento de radiación y circundante en °K

Sin embargo, la diferencia entre el elemento de radiación y las tuberías es que los tubos de transporte de agua y/o vapor son enfriados por el fluido que fluye a través de los mismos, mientras que el elemento de radiación es un elemento no enfriado. Por lo tanto, no circulan flujos de vapor ni de agua en el elemento de radiación.

35 Dado que el elemento de radiación está situado en el gas de escape caliente y no es enfriado por el vapor, será calentado hasta una temperatura mucho mayor que la de los tubos de transporte de vapor.

En el funcionamiento de la caldera de vapor, incluso la temperatura de los componentes más calientes en contacto con el vapor o agua, a saber, la temperatura de las superficies exteriores de los tubos de transporte de vapor, es típicamente no más de 50 °C más elevada que la temperatura máxima del vapor que fluye a través de tubo, que típicamente no es mayor que 400 – 650 °C. El elemento de radiación, por otra parte, adopta una temperatura más próxima a la de los gases de escape que está comprendida típicamente entre 800 – 1250 °C. El elemento de radiación, por tanto, cuando las temperaturas hayan alcanzado un valor estable, emitirá más calor que los tubos de transporte de vapor, típicamente del orden de 3 a 10 veces más calor por área de superficie. Este calor será en gran medida absorbido por los tubos de transporte de vapor.

45 Debido al elemento de radiación, la transferencia de calor total a los tubos supercalentadores y/o las paredes de caldera aumenta en comparación con los supercalentadores convencionales que son calentados principalmente por convección. Debido a la transferencia de calor por unidad de área incrementada, el tamaño de la pared de caldera y de los supercalentadores se puede reducir manteniendo la eficiencia de la caldera.

La invención proporciona también ventajas adicionales.

Las emisiones en forma de gases NOx e hidrocarburos no quemados se reducen en los gases de escape debido a que las superficies de los elementos de radiación y los elementos de transporte de agua y/o vapor de la caldera son calentados a una temperatura en la que las reacciones gas/superficie son cinéticamente estimuladas. Por lo tanto, debido a la elevada temperatura del elemento de radiación, están dispuestas superficies químicamente más activas donde los gases de escape pueden reaccionar ante componentes más estables.

En las calderas convencionales, los gases de escape se condensan en las superficies relativamente frías de las tuberías de la caldera y forman grandes cantidades de depósitos. En la caldera de la invención, estos problemas se reducen al mínimo ya que la radiación de calor procedente de los elementos de radiación proporciona una posibilidad de para controlar la ubicación de la condensación de depósitos en las regiones de la caldera en donde las consecuencias son menores. Además se cree que la introducción de radiación de calor sobre la superficie de los depósitos condensados puede alterar o incluso disolver los revestimientos condensados. La radiación aumentada en una parte de por ejemplo los tubos de vapor en la pared de caldera puede elevar la temperatura de superficie a un nivel en el que los componentes no deseados no condensarán.

En la presente invención es importante que los elementos de radiación estén dispuestos de tal manera que los gases de escape fluyan sin dificultades en el elemento de radiación, en los tubos de transporte de vapor y también fluyan sin dificultades en el espacio entre los elementos de radiación y los tubos de transporte de vapor. El flujo sin dificultades del gas de escape es importante para asegurar que sea transferido tanto calor como sea posible por convección desde los gases de escape calientes a los tubos de transporte de vapor. El flujo sin dificultad en los elementos de radiación también es importante para asegurar que el calentamiento convectivo del elemento de radiación sea maximizado, debido a que cuanto más elevada es la temperatura que el elemento de radiación adopta, más energía calorífica será transferida por radiación de calor desde el elemento de radiación a los tubos de transporte de vapor.

Por flujo "sin dificultad" se entiende que el gas de escape fluye libremente sobre las superficies del elemento de radiación y las superficies de los tubos de transporte de vapor y que el flujo del gas de escape no está restringido a ningún camino entre el elemento de radiación y el elemento de transporte de vapor. Por lo tanto, el elemento de radiación debería estar dispuesto a una distancia predeterminada de los tubos de transporte de vapor, es decir, de tal manera que haya un espacio abierto entre el elemento de radiación y los tubos de transporte de vapor.

La distancia predeterminada entre dicho al menos un elemento de radiación y dicho al menos un elemento de transporte de vapor y/o agua es por tanto adoptada preferiblemente de manera que se permita un flujo sin dificultad de los gases de escape entre dicho elemento de radiación y dicho elemento de transporte de vapor y/o agua. Preferiblemente, la distancia predeterminada entre el elemento de radiación y el elemento de transporte de vapor y/o agua es lo suficientemente grande para garantizar que el flujo de los gases de escape entre éste último es suficiente para generar un efecto de calentamiento positivo de los gases de escape y el elemento de transporte de agua y/o vapor. La distancia predeterminada debería ser optimizada para cada caso específico, dependiendo de las condiciones de presión en la caldera, la temperatura de gas de escape, etc. Se prefiere que el elemento de radiación no esté demasiado distante del elemento de transporte de agua y/o vapor, con el fin de proporcionar un efecto de calentamiento positivo de dicho elemento de radiación. Una distancia máxima de aproximadamente 500 cm, preferiblemente 250 cm, más preferiblemente 100 cm, incluso más preferible 60 cm, y lo más preferible, 30 cm se concibe para la mayoría de las aplicaciones.

De acuerdo con la invención, una distancia mínima entre el elemento de radiación y el elemento de transporte de agua y/o vapor es de 20 cm, preferiblemente 10 cm, preferiblemente 5 cm, más preferiblemente 1 cm, más preferiblemente 2 cm, incluso más preferiblemente 5 mm, lo más preferible 3 mm. Con ello se consigue un flujo suficiente de gases de escape para la mayoría de las aplicaciones de caldera concebibles. La separación es abierta y permitirá el flujo de los gases de escape entre dichos elementos.

Para asegurar el máximo calentamiento convectivo del elemento de radiación, también es importante que el elemento de radiación esté dispuesto en el flujo del gas de escape, de manera que todos los lados del elemento de radiación estén expuestos al flujo de gas de escape, es decir debería haber un flujo de gas de escape en todos los lados del elemento de radiación. El elemento de radiación, por tanto, debería estar dispuesto a una distancia predeterminada de otras partes de la caldera, por ejemplo las paredes circunferenciales, de manera que haya un espacio abierto entre todas las superficies laterales del elemento de radiación y las otras partes de la caldera. Preferiblemente, el elemento de radiación está dispuesto a una distancia de al menos 5 mm, preferiblemente al menos 1 cm, más preferiblemente al menos 5 cm, incluso más preferiblemente al menos 10 cm desde las partes de caldera que no forman parte del elemento de radiación.

Para maximizar la transferencia de calor convectiva a los tubos de transporte de vapor también es importante que el elemento de radiación no defleccione el flujo del gas de escape alejándolo de los tubos de transporte de vapor. Por tanto, el elemento de radiación debería estar dispuesto de manera que el gas de escape pueda fluir pasado el elemento de radiación en una dirección hacia el elemento de transporte de vapor sin cambiar esencialmente la dirección principal de flujo. De este modo, el elemento de radiación debería estar dispuesto de manera que los gases de escape puedan fluir en una dirección de flujo constante sobre el elemento de radiación.

La “dirección de flujo principal” es la dirección de flujo desde la sección de quemado hacia la salida del gas de la caldera, o desde una entrada de gas hacia la salida de gas.

Para evitar la deflexión del flujo de gas, el elemento de radiación está preferiblemente dispuesto de manera que se extiende en una dirección que es esencialmente paralela a la dirección de flujo principal de los gases de escape.

- 5 De acuerdo con una primera realización, el elemento de radiación es una lámina, tal como un lámina de acero plana. Una ventaja con una lámina plana es que tiene un área de superficie mayor con relación al peso. Esto es ventajoso para la eficiencia de radiación. La lámina de acero debería estar dispuesta de manera que una normal a sus superficies laterales grandes sea perpendicular a la dirección del flujo de gas, es decir, que las superficies laterales de la lámina de acero sean paralelas a la dirección de flujo. La lámina de acero debería además estar dispuesta de manera que su parte de borde, que es relativamente estrecha, y por tanto presenta pequeña resistencia al flujo de gas, se enfrente al flujo de gas.

También es posible que el elemento de radiación sea una lámina de acero ondulada, es decir, con forma de meandro.

- 15 El elemento de radiación también puede ser una tira plana u ondulada (típicamente de 1 – 20 cm de anchura). El elemento de radiación debería ser tan delgado como sea posible para reducir al mínimo el peso. Sin embargo, para asegurar la estabilidad térmica y para evitar el fallo rápido debido a la corrosión, el espesor del elemento de radiación debería ser de al menos 0,5 mm. Típicamente, el espesor del elemento de radiación es de 0,5 – 20 mm, preferiblemente 1,5 – 10 mm. La longitud y peso del elemento de radiación son seleccionados dependiendo de la aplicación en cuestión.

- 20 De acuerdo con una segunda realización, el elemento de radiación es un elemento de barra alargada. El elemento de barra podría tener una sección transversal circular, tal como una barra redonda o un cable o un tubo de pared gruesa. También podría tener una sección transversal rectangular. El elemento de radiación con forma de barra debería estar dispuesto de manera que el eje longitudinal del elemento de barra sea paralelo al flujo de gas y de tal manera que la normal al eje longitudinal del elemento de barra sea perpendicular al flujo de gas.

- 25 Se ha de apreciar que el elemento de radiación es un elemento separado, individual, que está dispuesto deliberadamente en la caldera con el fin de aumentar la eficiencia de la caldera emitiendo calor a los elementos de transporte de vapor y/o agua.

- 30 Para maximizar el calentamiento convectivo del elemento de radiación, se prefiere que el elemento de radiación se extienda en el flujo de los gases de escape desde un lado de aguas arriba de los tubos de transporte de vapor hacia el lado de aguas abajo de los mismos. Se prefiere una disposición supercalentadora si el elemento de radiación está dispuesto en una parte aguas arriba de la disposición de supercalentador. La razón para esto es que los gases de escape son enfriados cuando fluyen sobre los tubos de transporte de vapor. Para exponer el elemento de radiación al gas más caliente, preferiblemente debería estar dispuesto tan lejos como sea posible aguas arriba con relación a los tubos de transporte de vapor. Si el elemento de radiación está dispuesto en una parte aguas abajo de la disposición de supercalentador, será expuesto a los gases de escape de menor temperatura y el calentamiento convectivo del elemento de radiación no será efectivo.

- 40 El elemento de radiación debería preferiblemente estar unido a una superficie en la caldera que tenga una temperatura tan próxima como sea posible al elemento de radiación, preferiblemente la misma temperatura. Con ello son evitados gradientes de temperatura en el elemento de radiación que conducirían a esfuerzos mecánicos y al abombamiento y fisuración del elemento de radiación. Por lo tanto, es adecuado unir el elemento de radiación a una parte del techo de caldera que no esté cubierta con tubos de vapor.

Preferiblemente, el elemento de radiación es flexible, es decir, es móvil, está unido a la caldera de manera que el elemento de radiación se puede mover y está sometido a extensión térmica durante el calentamiento. La ventaja del mismo es que la acumulación de esfuerzos mecánicos se evita en el elemento de radiación.

- 45 Preferiblemente, el elemento de radiación comprende elementos de sujeción con forma de ganchos o anillos, de manera que el elemento de radiación puede ser colgado sobre por ejemplo una barra de la caldera. Los ganchos o anillos permiten que el elemento de radiación se mueva durante la expansión térmica.

- 50 Cuando el elemento de radiación comprende ganchos o anillos puede ser colgado directamente sobre un elemento de transporte de vapor y/o agua, tal como un tubo supercalentador. Los ganchos o anillos permiten que el elemento de radiación se mueva y con ello los esfuerzos mecánicos debido a las diferencias de temperatura entre el elemento de radiación y el elemento de transporte de vapor y/o agua se eviten. Preferiblemente, los ejemplos de sujeción son fabricados a partir de cables (por ejemplo de 1 – 5 mm de espesor) para minimizar la transferencia de calor entre el elemento de radiación y los elementos de transporte de vapor y/o agua.

- 55 La función de los ganchos de los elementos de sujeción es puramente mecánica y no contribuye a la función de radiación.

Preferiblemente, el elemento de radiación está unido a la caldera de manera que al menos un extremo del elemento de radiación queda libre. Con ello se permite la expansión del elemento de radiación, normalmente la expansión por calor y el alargamiento de deslizamiento lento.

5 De acuerdo con una alternativa, el elemento de transporte de vapor y/o agua es al menos un tubo supercalentador de transporte de vapor.

De acuerdo con una alternativa, dicho elemento de transporte de vapor y/o agua son los tubos de transporte de agua y/o vapor en al menos una parte de la pared de la caldera.

De acuerdo con una alternativa, dicho elemento de transporte de agua y/o vapor es un forro con doble pared.

10 Preferiblemente, el área de superficie de la parte del elemento de radiación que está enfrentada a dicho al menos un elemento de transporte de agua y/o vapor es al menos el 3 por ciento del área de superficie exterior de dicho al menos un elemento de transporte de agua y/o vapor.

15 De acuerdo con una alternativa, dicho elemento de radiación comprende una superficie cóncava que está girada hacia un elemento de transporte de agua y/o vapor. Por lo tanto, la radiación procedente del elemento de radiación está enfocada en el elemento de transporte de agua y/o vapor, en particular si este último tiene una forma tubular y está por tanto parcialmente encerrado por el elemento de radiación. Preferiblemente, la superficie cóncava es una superficie de una lámina doblada que forma dicho elemento de radiación. Preferiblemente, el radio de dicha superficie cóncava está dentro del intervalo de 0,8 – 2 veces, preferiblemente 1,0 – 1,5 veces el radio del elemento de transporte de agua y/o vapor en el caso de que este último sea tubular.

20 El elemento de radiación está formado por una aleación con base de Fe o Ni y contiene Al y que, cuando está sometida al calor en una atmósfera que contiene oxígeno, forma una capa de alúmina protectora sobre la superficie de la misma. Tal acero tiene la ventaja de tener una resistencia al calor superior y presentar una larga vida como elementos en el ambiente duro generado en una caldera.

25 De acuerdo con una realización particularmente preferida, el elemento de radiación está formado por un acero que contiene entre 10 – 30 % en masa, preferiblemente 15 – 25% en masa de Cr, 2 – 7 % en masa de Al, Fe de compensación e impurezas inevitables. Tal acero tiene una excelente resistencia al calor, resistencia a la corrosión y capacidad para generar una capa de alúmina protectora cuando está sometido a calor en una atmósfera que contiene oxígeno. Preferiblemente, el acero debería estar sometido a temperaturas de 700 °C, preferiblemente 1050 °C o superiores para obtener tal capa protectora de alúmina.

30 De acuerdo con todavía otra realización, el elemento de radiación está formado por acero que contiene entre 10 – 30 % en masa, preferiblemente entre 15 – 25 % en masa de Cr, 2 – 7 % en masa de Al, 1 – 4 % en masa de Mo, Fe de compensación e impurezas inevitables. La presencia de Mo en este acero contribuye a una resistencia al calor mejorada.

35 De acuerdo con todavía otra realización, el elemento de radiación está formado por acero que contiene entre 10 – 30 % en masa, preferiblemente 15 – 25 % en masa de Cr, 2 – 7 % en masa de Al, 1 – 4% en masa de Mo, 0,01 -1,0 % en masa de metales de tierras raras (REM), Fe de compensación e impurezas inevitables. REM contribuye a una resistencia a la corrosión y oxidación mejoradas.

40 De acuerdo con todavía otra realización, el elemento de radiación está formado por acero que contiene entre 10 – 30 % en masa, preferiblemente 15 – 25% en masa de Cr, 2 – 7% en masa de Al, 1 – 4% en masa de Mo, 0,01 -1,0% en masa de metales de tierras raras (REM), 0,05-2,0 en masa de Ti, Zr, Y, y Hf, Fe de compensación e impurezas inevitables. REM contribuye a una resistencia a la corrosión y oxidación mejoradas.

45 La caldera de vapor puede comprender una pluralidad de elementos de radiación. En un diseño de caldera en el que el elemento de transporte de agua y/o vapor está dispuesto en una o más filas, los elementos de radiación pueden entonces estar situados entre tales filas o en cada lado de cada fila. Con ello, cada una de tales filas puede ser calentada desde dos lados opuestos de la misma mediante elementos de radiación adyacentes dispuestos en los lados opuestas de dicha fila.

Los elementos de radiación pueden estar distribuidos de una manera predeterminada, de manera que cubran determinadas partes del elemento de transporte de agua y/o vapor. Con ello, el elemento de radiación tendría el efecto técnico de hacer posible un control de la condensación de los depósitos.

Descripción de los dibujos

50 La Figura 1 es una ilustración esquemática de una planta de caldera de vapor de acuerdo con una primera realización de la invención.

La Figura 2 es una ilustración esquemática de una sección de una configuración de tubos supercalentadores en una caldera de vapor de la invención.

La Figura 3 es una ilustración esquemática de una configuración de elementos de radiación y supercalentador en una caldera de vapor de acuerdo con una primera realización preferida de la invención.

La Figura 4 es una ilustración esquemática en vista lateral de una configuración de elementos de radiación y supercalentador en una caldera de vapor de acuerdo con una segunda realización preferida de la invención.

- 5 La Figura 5 es una ilustración esquemática en vista superior de una configuración de elemento de radiación y supercalentador en una caldera de vapor de acuerdo con una segunda realización preferida de la invención.

La Figura 6 es una ilustración esquemática en planta superior de una configuración de supercalentador convencional que constituye la base para el cálculo de transferencia de calor.

- 10 La Figura 7 es una ilustración esquemática en vista superior de una configuración de supercalentador de la invención que forma la base para el cálculo de transferencia de calor.

Descripción de las realizaciones

La Figura 1 muestra esquemáticamente una caldera de vapor de acuerdo con una primera realización preferida de la invención. Por razones de claridad, sólo se muestran los componentes que son relevantes para la invención.

- 15 La caldera 1 es una caldera de vapor de carbón. Este tipo de caldera comprende una zona de combustión 11 en la que quemadores 11 producen gases de escape calientes a una temperatura de hasta 1250 °C. La temperatura del vapor producido en la caldera está comprendida entre 400 – 700 °C. La caldera también podría ser una caldera de vapor de lecho fluidificado de burbujeo, en la que la combustión tiene lugar en una zona de combustión de una capa de arena de un metro de profundidad en la para inferior de la caldera.

- 20 La caldera 1 comprende una primera sección 10 y una segunda sección 20 que está definida por paredes circunferenciales 9. Es posible que la caldera solo comprenda una sección, es decir la primera sección 10. También es posible que la caldera comprenda más de dos secciones. Los quemadores 11 están dispuestos en la zona de combustión en la parte inferior 8 de la primera sección 10 de la caldera, en este caso los quemadores queman carbón, sin embargo los quemadores podrían ser accionados por combustibles de otros tipos de material combustible tal como gas natural. Los quemadores 11 producen gases de escape calientes 12 que, bajo elevadas turbulencias, fluyen a través de la sección de 10 de la caldera, sobre la segunda sección 20 y fuera, a través de una salida de gas 40. En el caso de que la caldera solo comprenda una sección, la salida de gas 40 está situada en esta sección. El gas de escape expulsado 12 es después sometido a purificación catalítica y liberado o utilizado para otros fines. Estas etapas se muestran en la Figura 1. La caldera 1 comprende además un techo 13.

- 30 Las superficies internas de las paredes circunferenciales, es decir las superficies que se enfrentan a los gases de combustión, de la primera y la segunda secciones 10, 20 están forradas con un elemento de transporte de agua y/o vapor con forma de tubos de vapor 30. En la Figura 1, sólo las partes de los tubos 30 en la parte inferior de la sección de caldera se muestran con el fin de no oscurecer otras partes relevantes de la caldera. Sin embargo, los tubos 30 discurren desde la parte inferior de cada sección de caldera 10, 20 hasta la parte superior de cada sección 10, 20, de manera que esencialmente todo el interior de la caldera está cubierto por tubos. El agua entra en los tubos de vapor en la entrada de agua 21 en la primera sección de caldera 10 y es después bombeada a través de la caldera por una bomba de circulación, no mostrada. Como el agua es bombeada a través de los tubos de vapor 30 desde la primera sección de caldera 10, la segunda sección de caldera 20 es calentada a vapor por los gases de fluido calientes de la caldera.

- 40 La caldera también comprende además elementos de transporte de agua y/o vapor en la forma de dos disposiciones de tubos supercalentadores para incrementar la temperatura del vapor que llega desde los tubos de vapor 30. En la Figura 1 una disposición supercalentadora primaria 50 está dispuesta en la segunda sección 20 de la caldera, una disposición supercalentadora secundaria 60 está dispuesta en la primera sección 10 de la caldera. Sin embargo, es obvio que cualquier número de disposiciones supercalentadoras podría estar dispuesto en la caldera.

- 45 El vapor saturado es conducido desde los tubos de vapor 30 en la segunda sección de caldera al supercalentador primario 50. El vapor es hecho circular a través de la primera disposición supercalentadora 50 y conducido a la segunda disposición supercalentadora secundaria 60 en la primera sección 10 de la caldera que comprende una salida de vapor 52 en donde el vapor supercalentado seco es extraído de la caldera.

- 50 Las disposiciones supercalentadoras 50 y 60 típicamente comprenden varias secciones de tubos con forma de U 61 que están dispuestas lado con lado, de manera que se consigue un volumen de tubo grande. La Figura 2 muestra una vista detallada de una sección 61 de una disposición supercalentadora que comprende varios tubos con forma de U 61a, 61b, 61c.

De acuerdo con una primera realización de la invención, las disposiciones supercalentadoras 50, 60 comprenden elementos de radiación 70, que, al contrario que los tubos supercalentadores o los tubos de vapor de la caldera, no son enfriados por el vapor o el agua.

Los elementos de radiación están dispuestos entre las secciones de tubos 61 con forma de U en el supercalentador, de manera que en la medida de lo posible la superficie de los elementos de radiación esté enfrentada a los tubos supercalentadores. En la Figura 1 los elementos de radiación están dispuestos paralelos a la dirección de flujo principal de los gases de escape. Los elementos de radiación están parcialmente obstruidos por las disposiciones supercalentadoras 60 y 50.

La Figura 3 muestra esquemáticamente con detalle un elemento de radiación en las tres secciones de las disposiciones supercalentadora 60.

Para fines ilustrativos, la figura 3 muestra tres secciones supercalentadoras 61 y un elemento de radiación 70. Sin embargo, es obvio que la disposición supercalentadora podría comprender cualquier número de secciones de tubos 61 y también cualquier número de elementos de radiación 70. Por ejemplo, dos elementos de radiación adicionales podrían estar dispuestos en los espacios vacíos entre las secciones de tubo 61. Las secciones supercalentadoras 61 en la Figura 3 son idénticas a la sección supercalentadora 61 de la Figura 2, sin embargo, con el fin de no oscurecer el elemento de radiación, sólo el tubo con forma de U más exterior se muestra en cada sección.

El elemento de radiación 70 es una lámina plana de acero resistente al calor. Una lámina de acero plana es ventajosa como elemento de radiación dado que está disponible a un coste relativamente bajo y cubre una gran superficie. La lámina de acero plana tiene dos grandes superficies laterales planas 71, 72 y una parte de borde circunferencial 73. Típicamente, la lámina de acero tiene un espesor de 3 – 50 mm. Como se puede ver en la Figura 3, el elemento de radiación 70 está dispuesto de manera que la normal N a sus superficies laterales planas es perpendicular a la dirección de flujo principal del gas de escape 12 y de tal manera que su parte de borde 73 está enfrentada al flujo de gas.

Preferiblemente, el acero es un acero de FeCrAl de formación de alúmina que tiene elevada resistencia a la oxidación y corrosión del gas de escape. Preferiblemente, el acero comprende en % en peso, 15 a 25 % de Cr, 2 a 7 % de Al, 1 – 4 % de Mo, 0,01 – 1,0 % de metales de tierras raras, y Fe de compensación e impurezas inevitables. Una aleación así es la aleación comercialmente disponible Kanthal APMT, comercializada por Sandvik AB. Esa aleación, que está reforzada por dispersión mediante metalurgia de polvo, presenta unas buenas propiedades ante la corrosión, buena resistencia mecánica y elevada resistencia a la deformación por deslizamiento lento a elevadas temperaturas.

Otro grupo de aleaciones de formación de alúmina adecuadas son aleaciones de NiFeCrAl que contienen 15 -30 % de Cr y 2 – 7 % de Al, más adiciones menores. El Ni es de compensación pero podría ser también parcialmente sustituido por Fe.

El elemento de radiación está dispuesto de manera que al menos una de sus dos superficies laterales grandes se enfrenta a la sección de tubo 61 del supercalentador. Está además dimensionado de manera que el área de superficie total de la parte de los elementos de radiación que se enfrenta a los tubos supercalentadores es igual a al menos el 3 por ciento de área de superficie exterior total de los tubos supercalentadores.

Se ha mostrado que el área de superficie total de los elementos de radiación es el menos el 3 por ciento del área de superficie exterior de los tubos supercalentadores, una contribución significativa por la radiación es proporcionada al vapor en los tubos supercalentadores. Sin embargo, es ventajoso si el área de superficie de los elementos de radiación es grande en comparación con el área de superficie exterior total de los tubos supercalentadores, dado que la transferencia de calor por la radiación a los tubos supercalentadores aumenta con ello. Preferiblemente, el área de superficie de la parte de los elementos de radiación que se enfrenta al tubo supercalentador tiene un área de superficie que es al menos el 5 por ciento del área de superficie exterior total de los tubos supercalentadores, más preferido el 7 por ciento, más preferido al menos el 10 por ciento de la misma, más preferido al menos el 15 por ciento de la misma, más preferido al menos en 25 por ciento de la misma.

Las dimensiones máximas de los elementos de radiación están limitadas por las condiciones de flujo en la caldera así como por las condiciones de funcionamiento y diseño de la caldera y son determinadas en cada caso separado.

En la realización descrita, cada uno de los elementos de radiación tiene una forma rectangular con una altura de 6 metros y una anchura de 2 metros. El elemento de radiación puede también estar montado a partir de varias partes más pequeñas.

Con el fin de no dificultar el flujo del gas de escape alrededor de los supercalentadores, una abertura podría estar dispuesta en el elemento de radiación. La Figura 3 indica esquemáticamente con líneas discontinuas la posición de una abertura rectangular 71 en el elemento de radiación 70. El resto de la lámina de acero, es decir, el borde 71 alrededor de la abertura cubre los tubos supercalentadores. Además, el elemento de radiación podría estar provisto de elementos de estimulación de turbulencia (no mostrados) para estimular el flujo turbulento alrededor del supercalentador y del elemento de radiación.

La intensidad por unidad de superficie de la radiación de calor a partir de una fuente de calor con forma de punto o línea disminuye con la distancia. Para maximizar el intercambio de radiación entre el elemento de radiación y el supercalentador es por tanto importante, para un tamaño geométrico dado del elemento de radiación, que la

distancia entre el elemento de radiación y el tubo supercalentador sea lo más pequeña posible.

Sin embargo, también es importante que la distancia entre el elemento de radiación y el tubo supercalentador grande, sea lo suficientemente grande para permitir que los gases de escape fluyan sin dificultad sobre el tubo supercalentador. Preferiblemente, la distancia debería ser lo suficientemente grande para permitir un flujo turbulento de los gases de escape entre el tubo supercalentador y el elemento de radiación.

Los elementos de radiación y los tubos supercalentadores pueden tener varias formas y dimensiones y por tanto la distancia exacta entre los tubos supercalentadores y los elementos de radiación se debe determinar para cada aplicación en cuestión. En la realización preferida mostrada esquemáticamente en la Figura 3, la distancia entre los elementos de radiación y el tubo supercalentador es de 20 a 60 cm.

Los elementos de radiación 70 están preferiblemente unidos al techo de la caldera. De acuerdo con una alternativa, una o varias barras de acero 90 están unidas en el techo de la caldera sobre los tubos supercalentadores. Los elementos de radiación 70 comprenden elementos de sujeción 80, por ejemplo pasadores, o ganchos o anillos que están unidos, por ejemplo mediante soldadura o remachado al borde superior de la lámina. El elemento de radiación podría comprender cualquier número de elementos de sujeción, por ejemplo dos o tres o cinco. Los elementos de sujeción están unidos a la barra de acero 90 de manera que los elementos de radiación cuelgan hacia abajo entre los tubos supercalentadores. Esto se puede conseguir de muchas formas diferentes, los elementos de sujeción pueden por ejemplo estar soldados a la barra de manera que el elemento de radiación cuelga de manera fija. También es posible unir el borde superior del elemento de radiación directamente al techo de la caldera. También es posible unir los elementos de radiación a otras partes de la caldera, por ejemplo a las paredes. Sin embargo, para evitar el abombamiento y el alabeo, se prefiere que el elemento de radiación esté unido a superficies no enfriadas, es decir superficies que no son enfriadas con agua o vapor, por ejemplo a una parte del techo o a la barra 90.

La expansión térmica en combinación con los gradientes de temperatura durante el funcionamiento de la caldera puede introducir esfuerzos mecánicos en los elementos de radiación y producir deformación, tales como el doblado o el abombamiento. Para evitar o reducir los esfuerzos mecánicos en los elementos de radiación, por tanto se prefiere disponer el elemento de radiación de manera que al menos uno de los mismos se pueda expandir libremente, por ejemplo colgando los elementos de radiación del techo de la caldera como se ha descrito anteriormente.

Para conseguir esto, el elemento de radiación comprende elementos de sujeción con forma de anillos y ganchos y está colgado de la barra 90. Esto permite que los elementos de radiación se expandan en todas las direcciones y se reduce aún más la cantidad de esfuerzo mecánico.

Cuando el elemento de radiación comprende elementos de sujeción con forma de anillos o ganchos, también es posible colgar el elemento de radiación directamente de los elementos de transporte de agua y/o vapor de la caldera, por ejemplo en un tubo supercalentador.

También es posible disponer el elemento de radiación de manera que se mueva desde el exterior de la caldera acercándose o alejándose del tubo supercalentador, o de manera que el ángulo entre el elemento de radiación y el tubo supercalentador se pueda cambiar desde el exterior de la caldera. Por consiguiente, un elemento de desplazamiento de elemento de radiación puede estar dispuesto, el cual está en acoplamiento con el elemento de radiación y se extiende al exterior de la caldera, de manera que puede ser accionado desde el exterior de la caldera con el fin de desplazar el elemento de radiación 70. Esto se puede conseguir uniendo la barra de acero 90, sobre la cual el elemento de radiación 70 está unido, a una llave de pivotamiento en el techo de la caldera o disponiendo la barra de acero deslizante en una ranura del techo. La barra de acero 90 puede ser maniobrada desde el exterior por una palanca.

La función de la disposición supercalentadora debería haber sido aclarada en base a lo anterior. De este modo, en funcionamiento, los gases de escape 12 procedentes de los quemadores 11 calientan los elementos de radiación 70 que en equilibrio alcanzan una temperatura dada por la temperatura del gas de escape y la pérdida de calor de radiación. El efecto neto es que el calor de radiación es absorbido por los tubos supercalentadores, que están más fríos que los elementos de radiación, y conducidos más lejos al vapor que fluye en los tubos.

También es posible disponer elementos de radiación adyacentes a los elementos de transporte de agua y/o vapor en la caldera de vapor.

De acuerdo con una segunda realización (no mostrada), los elementos de radiación están dispuestos adyacentes a los tubos de conducción de vapor o agua 30 que forman las paredes de la caldera. También en este caso, el área de superficie de la parte de los elementos de radiación que se enfrenta a los tubos de vapor debería ser al menos el 3 por ciento del área total de los tubos de vapor en las paredes de las calderas con el fin de conseguir una transferencia significativa de calor al vapor o al agua de los tubos. Sin embargo, dependiendo del diseño y dimensión de la caldera, una transferencia de calor significativa se podría conseguir cuando el área de superficie de los elementos de radiación sea al menos el 3 por ciento del área de superficie total de los tubos 30 en una parte de las paredes de la caldera. Por ejemplo, al menos el 3 por ciento del área de superficie total de los tubos en una de las secciones de caldera 10, 20.

Preferiblemente, el área de superficie total de los elementos de radiación debería ser al menos el 5 por ciento del área de superficie exterior total de los tubos de vapor, más preferido en 7 por ciento, más preferido al menos el 10 por ciento de la misma, más preferido al menos el 15 por ciento de la misma, más preferido al menos el 25 por ciento de la misma.

5 También es posible que al menos una parte de la pared de caldera comprenda un elemento de transporte de vapor y/o agua en forma de forro de doble pared (no mostrado en las figuras). Esto es típicamente un espacio cerrado rectangular alargado que es fabricado a partir de láminas de acero que son soldadas juntas. El agua es introducida en un extremo del forro de pared doble y en el otro extremo el agua es distribuida sobre un distribuidor a los tubos de vapor que forran la pared de la caldera.

10 De acuerdo con una tercera realización (no mostrada en las figuras), los elementos de radiación están dispuestos adyacentes a dicho forro de pared doble. También en el caso de un forro de doble pared, el área de superficie de la parte del elemento de radiación que se enfrenta al forro de doble pared debería ser al menos el 3 por ciento del área total del forro de doble pared para conseguir una transferencia de calor significativa. Preferiblemente, el área de superficie total de los elementos de radiación debería ser al menos el 5 por ciento del área de superficie exterior total del forro de doble pared, más preferido al menos el 10 por ciento de la misma, más preferido al menos el 15 por ciento de la misma, más preferido al menos el 25 por ciento de la misma.

Por supuesto, es posible disponer elementos de radiación tanto en las proximidades de los tubos de vapor en la pared de la caldera como en las proximidades de los supercalentadores y el forro de doble pared. También es posible disponer solo elementos de radiación en las proximidades de algunos de estos elementos de transporte de agua y/o vapor. Una aplicación selectiva de los elementos de radiación proporciona la posibilidad de controlar la cantidad de flujo de calor en las diferentes partes de la caldera. Por tanto, es posible compensar una distribución de calor variable que puede ser producida por combustibles de composición o contenido de cenizas variables.

Los elementos de radiación podrían estar separados de cualquier forma sobre los elementos de transporte de agua y/o vapor. Por ejemplo, podrían estar dispuestos varios elementos de radiación unos cerca de los otros en una parte de los tubos de vapor en la pared de la caldera, mientras que otros elementos podrían estar dispuestos separados más lejos en otras partes de la pared de caldera. Como se ha mencionado, es por tanto posible controlar la cantidad y la ubicación de los depósitos que se condensan en la caldera.

De acuerdo con una cuarta realización, véase la Figura 4, el elemento de radiación es un elemento con forma de barra, con forma de una barra alargada de sección transversal circular, tal como una barra redonda. Sin embargo, el elemento de radiación podría tener también una sección transversal rectangular. El elemento de radiación también podría ser hueco, por ejemplo un tubo de pared gruesa. El elemento de radiación podría tener cualquier diámetro adecuado, por ejemplo 2 – 20 mm y ser de cualquier longitud, dependiendo del tamaño del elemento de transporte de vapor, por ejemplo 6 metros.

Una ventaja con los elementos de radiación de sección transversal redonda es que una cantidad igual de calor es emitida 360 ° alrededor del elemento de radiación. Es por tanto posible calentar varios elementos de transporte de vapor con relativamente pocos elementos de radiación. Los elementos de radiación redondos compactos ocupan poco espacio por lo tanto tienen poco impacto en el flujo de gas.

El elemento de radiación con forma de barra está dispuesto en el flujo de los gases de escape de manera que el gas de escape se encuentra en la superficie de extremo del elemento de radiación. El elemento de radiación está dispuesto de manera que su eje longitudinal L es paralelo al flujo de gas y su normal N es perpendicular al flujo de gas

Ejemplos

El efecto de calentamiento del elemento de radiación de la invención en una caldera de vapor, en lo que sigue será mostrado mediante un ejemplo calculado. En el ejemplo, los cálculos de las temperaturas y la transferencia de calor se han hecho en base a los datos empíricos a partir de diseños de caldera convencionales. El coeficiente de absorción y emisión de gas de escape se suponen iguales y todas las superficies se supone que tienen un coeficiente de emisión y absorción de 0,8 y que además tienen las mismas propiedades de transferencia de calor convectiva. Para el cálculo, se han considerado la radiación primaria, la primera y segunda reflexiones y la absorción en el volumen de gas.

50 El cálculo muestra que el calor que es absorbido en una disposición supercalentadora en una caldera compacta que quema petróleo. Un cálculo está hecho para una disposición sobrecalentadora de la invención con un elemento de radiación y un cálculo está hecho para una disposición sobrecalentadora convencional sin elemento de radiación.

La Figura 6 muestra una disposición de tubo supercalentador convencional en una vista lateral. El flujo de gas es transversal a los tubos en la dirección vertical. La disposición supercalentadora consta de varios tubos supercalentadores 60. La distancia entre los tubos es aproximadamente 80 mm en este ejemplo. La Figura 7 muestra una disposición supercalentadora de la invención en la que elementos de radiación planos 70 están dispuestos entre los tubos supercalentadores 60. Nótese que los elementos de radiación están dispuestos a una

distancia de los tubos supercalentadores.

Los datos de entrada y los resultados para el cálculo se muestran a continuación en la Tabla 1.

Los resultados muestran que el calor total absorbido por la disposición supercalentadora de la invención, es incrementado en un 19% en comparación con la disposición supercalentadora convencional, es decir de 57 a 68 kW/m².

5

		Disposición supercalentadora Convencional	Disposición supercalentadora de la invención con elemento de radiación	
Superficie de radiación		No	Sí	
Velocidad de gas	w _g	13,4	13,4	m/s
Temperatura de gas	t _g	1000	1000	°C
Coeficiente de emisión de gas	ε _g	0,07	0,07	-
Temperatura de superficie enfriada	t _k	480	480	°C
Coeficiente de emisión de superficie enfriada	ε _k	0,8	0,8	-
Coeficiente de emisión de superficie de radiación	ε _s		0,8	-
Temperatura de superficie de Radiación	t _s		760	°C
Calor absorbido por la superficie enfriada por superficie proyectada				
Convección	q _k	49	49	kW/m ²
Radiación	q _s	8	19	kW/m ²
Total	q	57	68	kW/m ²

Tabla 1: Cálculo que muestra el efecto de un elemento de radiación en combinación con tubos supercalentadores.

10 La Tabla 2 muestra más resultados de simulación de la presente invención. En la Tabla 2 la temperatura del transporte de agua y/o vapor y la temperatura de los elementos de radiación de lámina plana han sido calculadas para varias temperaturas de gas de escape y varios componentes de caldera.

	Temperatura de superficie enfriada °C	Temperatura de elemento de radiación °C	Temperatura de gas de escape °C
Supercalentador terciario de caldera	555	670	790
Hueco vacío	450	675	800
Supercalentador de panel	490	710	900

	Temperatura de superficie enfriada °C	Temperatura de elemento de radiación °C	Temperatura de gas de escape °C
Supercalentador de panel	490	745	1000
Superficie de caldera	400	710	1000

Tabla 2. Relación entre la temperatura de la superficie de transporte de agua y/o vapor, la temperatura del elemento de radiación, y la temperatura del gas.

5 Aunque se ha descrito con detalle realizaciones particulares, se ha hecho sólo con fines ilustrativos, y no están destinadas a ser limitativas. En particular se contempla que se pueden realizar diversas sustituciones, alteraciones y modificaciones dentro del campo de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, el elemento de radiación puede tener cualquier tipo de forma geométrica, tal como la forma de un ala de avión o forma de carrete. La caldera también podría ser de un tipo que solo comprendiera elementos de transporte de vapor y/o agua con forma de tubos de vapor/agua en la pared de la caldera.

10

REVINDICACIONES

1. Una caldera de vapor (1) que comprende al menos un elemento de transporte de agua y/o vapor (30, 60) que es calentado por los gases de escape calientes en la caldera, en donde la caldera de vapor (1) comprende al menos un elemento de radiación (70) en la misma; dicho elemento de radiación (70) es un elemento no enfriado; dicho elemento de radiación (70) está dispuesto en el flujo de los gases de escape calientes (12), de manera que es convectivamente calentado por los gases de escape; dicho elemento de radiación (70) está situado a una distancia predeterminada de dicho al menos un elemento de transporte de agua y/o vapor (30, 60), en donde dicha distancia predeterminada está adoptada de manera que el flujo de los gases de escape calientes entre el elemento de radiación y el elemento de transporte de agua y/o vapor se produzca sin dificultad, y de manera que el elemento de transporte de agua y/o vapor sea calentado por la radiación procedente del elemento de radiación, caracterizada por que el elemento de radiación (70) está formado por una aleación con base de Fe o Ni y contiene Al y que, cuando es sometida a calor en una atmósfera que contiene oxígeno, forma una capa de alúmina protectora sobre la superficie exterior de la misma.
2. La caldera de vapor de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dicho elemento de radiación (70) está dispuesto de manera que el flujo de los gases de escape calientes (12) puede pasar dicho elemento de radiación (70) esencialmente sin cambiar la dirección del flujo.
3. La caldera de vapor de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en la que el elemento de radiación está dispuesto en el flujo de los gases de escape de manera que todo el elemento de radiación está expuesto al flujo de los gases de escape.
4. La caldera de vapor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 3, en la que el elemento de transporte de agua y/o vapor (30, 60) es al menos un tubo supercalentador (60) que transporta vapor.
5. La caldera de vapor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 4, en la que el área de superficie del elemento de radiación (70) es al menos el 3 por ciento, preferiblemente al menos el 10 por ciento, del área de dicho al menos un elemento de transporte de agua y/o vapor (30, 60) que está directamente expuesta a los gases de escape.
6. La caldera de vapor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 – 5, en la que el elemento de radiación se extiende esencialmente paralelo a la dirección de flujo de los gases de escape.
7. La caldera de vapor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 6, en la que dicho elemento de radiación (70) es una lámina (70) que comprende dos superficies laterales (71, 72) y un borde circunferencial (73), en donde el elemento de radiación está dispuesto de manera que una normal a una de sus superficies laterales (71, 72) es perpendicular a la dirección de flujo de los gases de escape calientes (12) y de manera que una parte de borde de la lámina (70) está enfrentada al flujo de los gases de escape calientes.
8. La caldera de vapor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 7, en la que dicho elemento de radiación (70) es una lámina ondulada.
9. La caldera de vapor de acuerdo con las reivindicaciones 1 – 6, en la que el elemento de radiación es un elemento de barra alargado, en donde el elemento de radiación está dispuesto de manera que su eje radial R es perpendicular a la dirección de flujo de los gases de escape.
10. La caldera de vapor de acuerdo la reivindicación 9, en la que el elemento de radiación tiene una sección transversal circular o una sección transversal rectangular.
11. La caldera de vapor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 10, en la que el elemento de radiación está unido de manera flexible a una superficie no enfriada de la caldera (1).
12. La caldera de vapor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 11, en la que el elemento de radiación (70) está unido de manera flexible a la caldera, de manera que al menos un extremo del elemento de radiación está libre para expandirse o contraerse.
13. La caldera de vapor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 12, en la que el elemento de radiación (70) está dispuesto de manera que cuelga de forma flexible del elemento de transporte de agua y/o vapor.
14. La caldera de vapor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 – 13, en la que el elemento de radiación comprende ganchos o anillos para colgar el elemento de radiación sobre el elemento de transporte de agua y/o vapor.

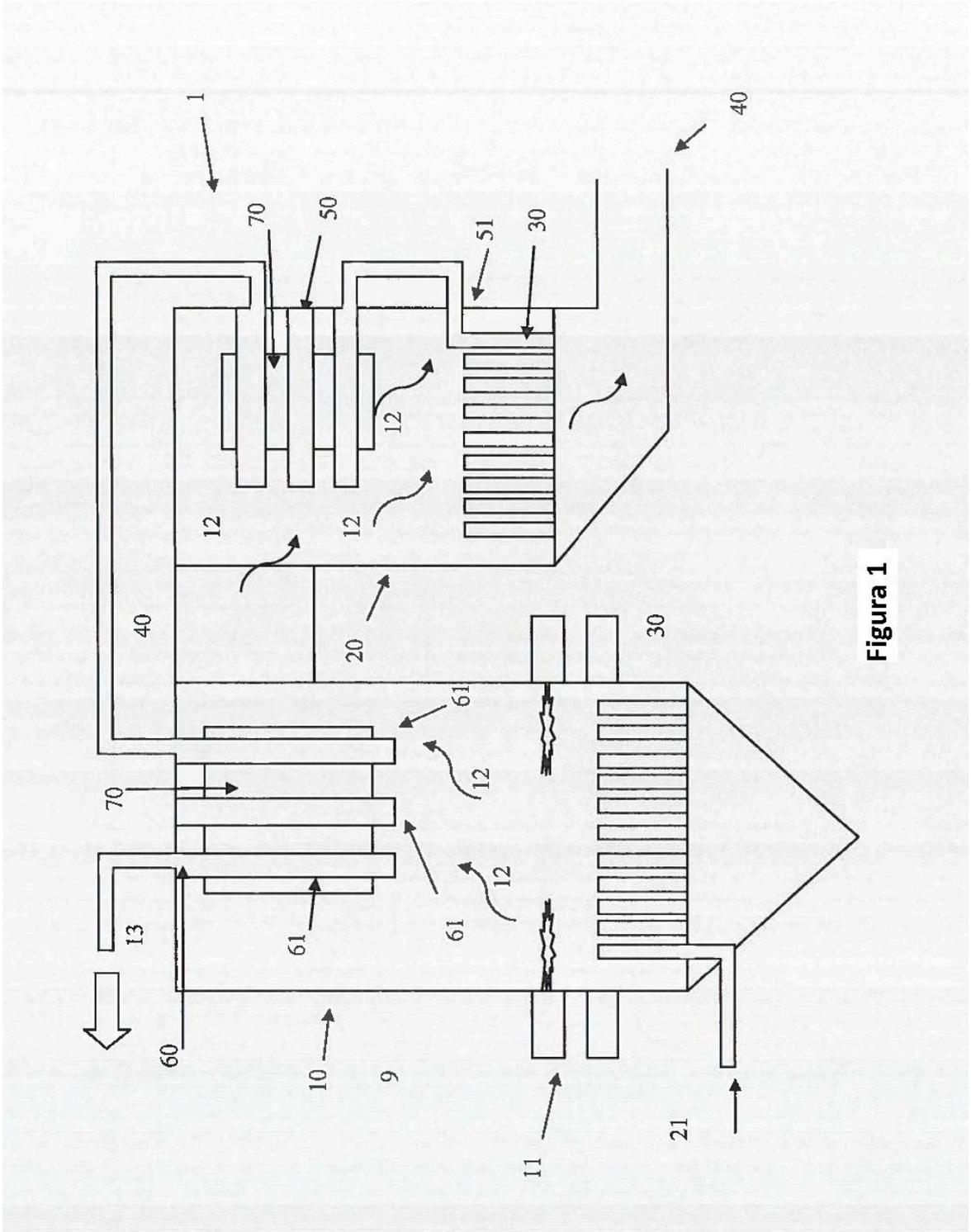


Figura 1

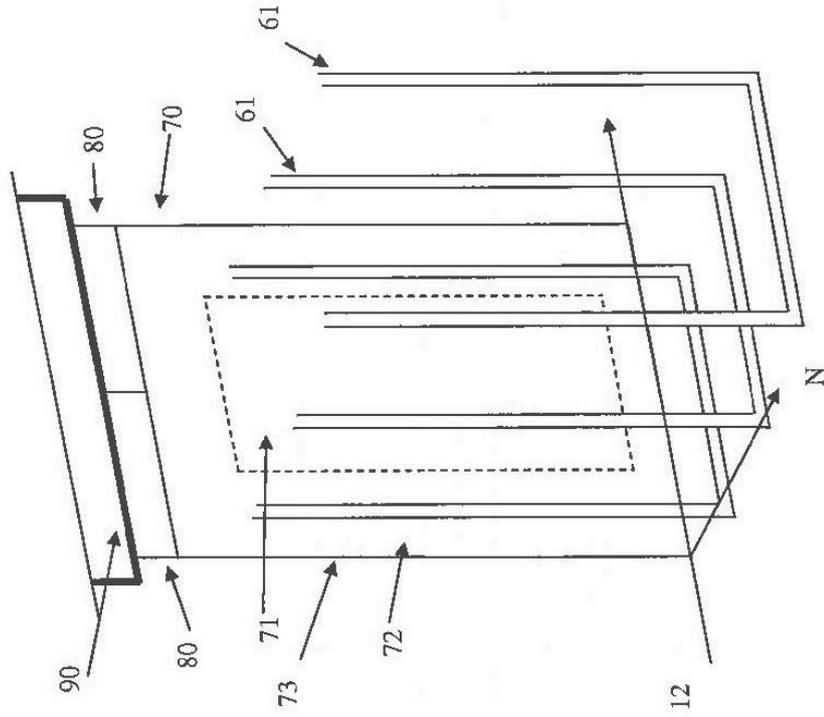


Figura 3

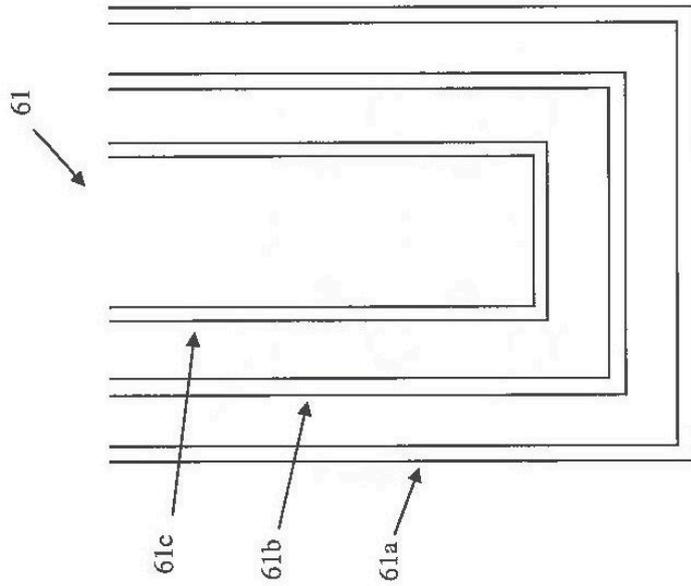
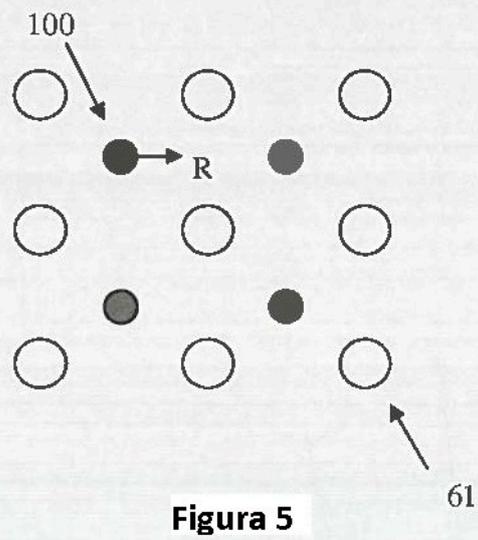
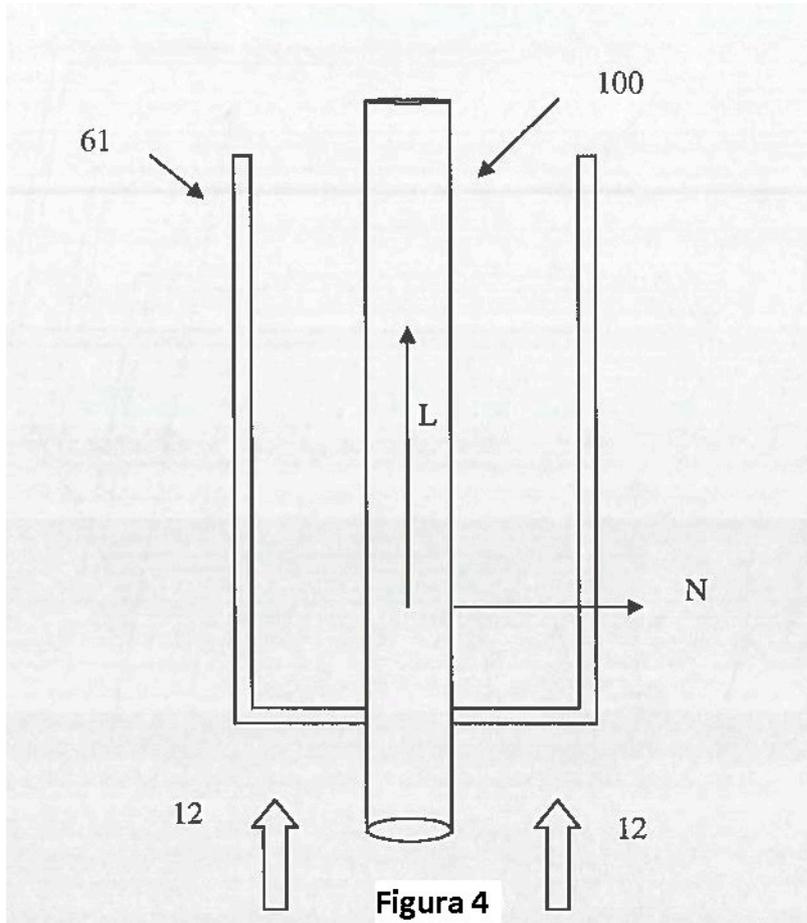


Figura 2



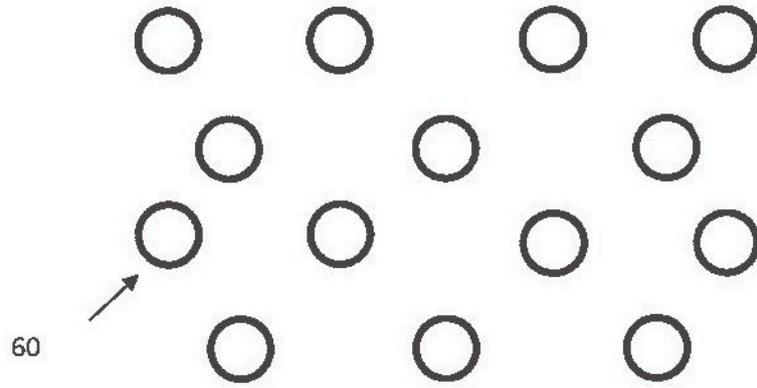


Figura 6

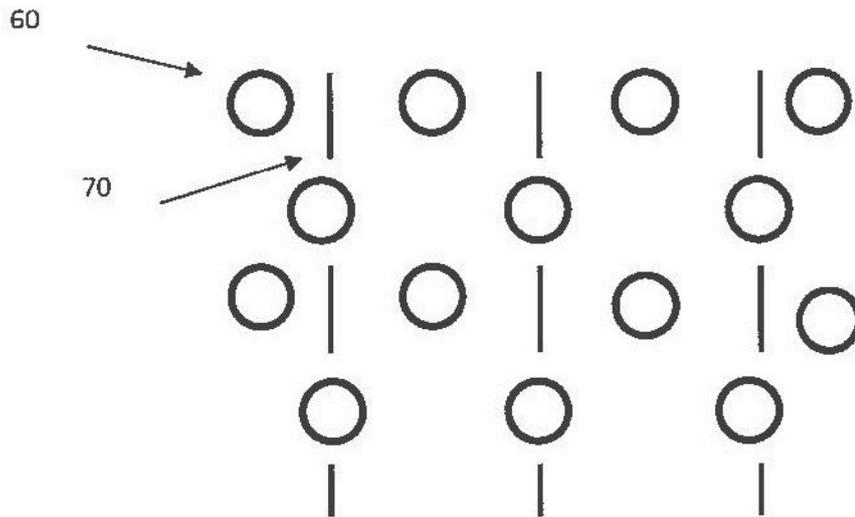


Figura 7