



ESPAÑA

19 ES	11 21	NUMERO 443.965	10 A1
	22	FECHA DE PRESENTACION 30.12.75	

PATENTE DE INVENCION

P.- 61.953

30 PRIORIDADES:		
31 NUMERO 538.211	32 FECHA 2.1.75	33 PAIS EE.UU.
47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL F23B//F22B	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
54 TITULO DE LA INVENCION "METODO Y HORNO PARA QUEMAR UN COMBUSTIBLE CARBONOSO" CONCEDIDA 21 ABR. 1977		
71 SOLICITANTE (ES) ENGELHARD MINERALS & CHEMICALS CORPORATION		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE 430 Mountain Avenue, Murray Hill, Nueva Jersey, Estados Unidos de América		
72 INVENTOR (ES) William C. Pfefferle		
73 TITULAR (ES)		
74 REPRESENTANTE D. ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ		

FUNDAMENTO DEL INVENTO

5 Este invento se refiere a un método y un aparato para hornos para quemar combustibles carbonosos que producen energía en forma de calor.

10 Uno de los problemas más importantes encontrados al diseñar y hacer funcionar hornos es controlar las cantidades de óxidos de nitrógeno en los gases de salida del horno, puesto que los óxidos de nitrógeno constituyen un problema de contaminación de aire extremadamente importante. Se forman inevitablemente cantidades sustanciales de óxidos de nitrógeno cuando se queman el combustible y al menos una cantidad estequiométrica de aire a temperaturas en exceso de aproximadamente 1.800°C. Como se emplea en la presente memoria y en las reivindicaciones anejas, 15 el término aire significa cualquier gas o combinación de gases que contiene oxígeno disponible para las reacciones de combustión, y la expresión cantidad estequiométrica de aire significa una cantidad de aire que es teóricamente suficiente para la oxidación completa de todos los componentes combustibles existentes en una cantidad dada de combustible (por ejemplo, a dióxido de carbono y agua). La expresión combustible carbonoso significa cualquier combustible 20 en el que una proporción sustancial de la cantidad valiosa de combustible es carbono elemental o compuestos de carbono.

no que contienen carbono en combinación combustible con otros elementos tal como hidrógeno.

5 Un modo de reducir las cantidades de óxidos de nitrógeno formadas en un horno es disminuir la temperatura del horno mezclando el combustible con un mayor volumen de gas eficazmente inerte para producir una mezcla diluida de combustible y aire. Por razones de eficacia térmica, es casi siempre preferible no emplear más aire en el horno que el que se requiere para la combustión completa del combustible (es decir, tan cerca como sea posible de la cantidad estequiométrica de aire). El aire en exceso de la cantidad estequiométrica debe calentarse, generalmente desde la temperatura ambiente a la temperatura del horno y luego expulsarse a la atmósfera de nuevo, llevando con él calor que no puede recuperarse con fines útiles. La fuente preferida de gases inertes para mezclar con el combustible y el aire para disminuir la temperatura de combustión son el efluente de combustible final o los gases de chimenea del horno. Estos gases están más caliente que el aire ambiente, pero sustancialmente más fríos que los gases que abandonan la zona de combustión. Por consiguiente, una parte de los gases efluentes de la combustión final del horno puede ser recirculada para diluir el combustible y el aire suministrado al horno para disminuir las 25 temperaturas de combustión en el horno y mantener el con-

trol de la formación de óxidos de nitrógeno.

Otro modo mediante el que puede controlarse la formación de óxidos de nitrógeno es realizando la combustión del combustible en dos o más etapas sucesivas. En la primera etapa, una mezcla de combustible y una cantidad de aire sustancialmente menor que la cantidad necesaria para la combustión completa del combustible (es decir, una mezcla no estequiométrica respecto al miembro rico en combustibles) se quema térmicamente para producir un efluente gaseoso que contiene una proporción sustancial de monóxido de carbono. Este efluente puede contener también algo de combustible parcialmente quemado o sin quemar. La temperatura de esta combustión (que es baja con relación a la temperatura de combustión estequiométrica) y particularmente la insuficiencia de aire en esta primera etapa de combustión térmica limita sustancialmente la formación de óxidos de nitrógeno. El calor se retira del efluente de la primera etapa y este efluente se mezcla luego con aire adicional y se quema térmicamente en una etapa o etapas de combustión térmica subsiguientes. El aire adicional es suficiente para compensar la deficiencia de aire suministrado a la primera etapa de combustión térmica de modo que en la etapa o etapas subsiguientes todo el monóxido de carbono existente en el efluente de la primera etapa se oxida completamente a dióxido de carbono y el combus

tible no quemado o parcialmente quemado en ese efluente se oxida completamente a dióxido de carbono y agua. Aunque las condiciones en al menos la última de las etapas de combustión deben ser suficientemente oxidantes para asegurar la combustión completa del combustible, se producen menos óxidos de nitrógenos que los que se producirían en un sistema de combustión de una sola etapa.

Aunque los sistemas anteriores disminuyen la formación de óxidos de nitrógeno, estos sistemas no eliminan la formación de óxidos de nitrógeno y son además, típicamente más difíciles de hacer funcionar y controlar. Por ejemplo, en estos sistemas frecuentemente es más difícil alcanzar las reacciones de combustión térmicas eficaces y evitar la formación de cantidades sustanciales de productos de combustión incompleta tal como monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados sin la producción de elevadas concentraciones de óxidos de nitrógeno. Aunque solamente puede perderse una cantidad insignificante de la cantidad valiosa de combustible como resultado de esta combustión incompleta, los productos de combustión incompleta constituyen otros importantes problemas de contaminación del aire. Para asegurar la combustión completa del combustible y para facilidad general de operación, los hornos trabajan por consiguiente frecuentemente con sustancialmente más aire que el teóricamente suficiente para comple-

tar la combustión del combustible suministrado al horno. Sin embargo como se ha mencionado antes, el aire en exceso disminuye la eficacia térmica. Además, hay límites prácticos sobre hasta donde pueden disminuirse las temperaturas en un horno de combustión convencional de dos etapas y mantener todavía la combustión estable. Esto limita a su vez la reducción factible en la formación de óxidos de nitrógeno.

En los hornos antes descritos, la energía en forma de calor se retira del efluente de combustión final para fines de funcionamiento del horno (por ejemplo, para generar vapor de agua de alta presión para empleo como un fluido motriz en una turbina de vapor) hasta que la temperatura del efluente es demasiado baja para posterior transferencia eficaz de calor para este fin. El calor adicional se recupera luego del efluente por transferencia de calor convencional para precalentar el aire suministrado al horno. Sin embargo frecuentemente, se dispone de más calor para la recuperación para el precalentamiento del aire que el que puede emplearse sin elevar las temperaturas del horno hasta el punto en el que se formarían cantidades excesivas de óxidos de nitrógeno. En la mayoría de los casos este exceso de calor debe desecharse, aunque en algunas situaciones puede ser posible emplear algo de dicho calor con otros fines, por ejemplo, para generar vapor de

baja presión. La capacidad de emplear sustancialmente todo el calor previo del aire disponible es una importante ventaja de los hornos contruidos de acuerdo con los principios de este invento.

5 En vista de lo anterior, es un objeto de este invento reducir la cantidad de contaminantes atmosféricos producidos por hornos que queman combustibles carbonosos para producir energía térmica.

10 Otro objeto de este invento es aumentar la eficacia térmica de los hornos que queman combustibles carbonosos para producir energía térmica.

15 Todavía es otro objeto de este invento aumentar la eficacia de la combustión en los hornos que queman combustibles carbonosos para producir energía térmica, particularmente en combinación con la baja producción de óxidos de nitrógeno.

20 En la solicitud de patente de EE.UU. pendiente Nº 358.411, presentada el 8 de Mayo de 1.973, e incorporada en la presente memoria como referencia, se describe el descubrimiento de la combustión térmica soportada catalíticamente. De acuerdo con este método, los combustibles carbonosos pueden quemarse muy eficazmente a temperaturas entre aproximadamente 925° y 1.750°C, por ejemplo, sin la formación de cantidades sustanciales de monóxido de carbono u óxidos de nitrógeno por un procedimiento llamado con

25

bustión térmica soportada catalíticamente. Para resumir brevemente lo que se describe con mayor detalle en la solicitud de patente de EE.UU. 358.411, en la combustión térmica convencional de combustibles carbonosos, una mezcla inflamable de combustible y aire o combustible, aire y gases inertes se pone en contacto con una fuente de ignición (por ejemplo, una chispa) para inflamar la mezcla. Una vez inflamada, la mezcla continua quemándose sin soporte adicional de la fuente de ignición. Las mezclas inflamables de combustibles carbonosos se queman normalmente a temperaturas relativamente altas (es decir, normalmente muy por encima de 1.800°C). A estas temperaturas se forman inevitablemente cantidades sustanciales de óxidos de nitrógeno, si hay presente nitrógeno, como ocurre siempre cuando se emplea aire como fuente de oxígeno para la reacción de combustión. Las mezclas de combustible y aire o combustible, aire y gases inertes que se quemarían teóricamente a temperaturas por debajo de aproximadamente 1.800°C son demasiado pobres en combustible para soportar una llama estable y por lo tanto no pueden quemarse satisfactoriamente en un sistema de combustión térmica convencional.

Por otro lado en la combustión catalítica convencional, el combustible se quema a temperaturas relativamente bajas (típicamente en el intervalo de unos 100° a apro-

ximadamente 759°C). Sin embargo antes del invento descrito en la solicitud serie de patente de EE.UU. 358.411, la combustión catalítica se vió que tenía un valor limitado como fuente de energía térmica. En primer lugar, la combustión catalítica convencional transcurre relativamente lenta de modo que se requerirían grandes cantidades de catalizador poco prácticas para producir suficientes gases efluentes de combustión para accionar una turbina o para consumir grandes cantidades de combustible requerido en aplicaciones de los hornos más grandes. En segundo lugar, las temperaturas de reacción normalmente asociadas a la combustión catalítica convencional son demasiado bajas para la transferencia eficaz de calor en muchos fines, por ejemplo, transferencia de calor al agua en una caldera de vapor. Típicamente, la combustión catalítica es también relativamente ineficaz, de modo que se producen o se dejan sin quemar grandes cantidades de monóxido de carbono a no ser que se empleen bajas velocidades espaciales en el catalizador.

Las reacciones de combustión catalíticas siguen el curso de la gráfica mostrada en la Figura 1 de los dibujos que se acompañan, en la extensión de las regiones A a C en la Figura. Esta gráfica es una representación de la velocidad de reacción en función de la temperatura para un catalizador y una serie de condiciones de reacción dadas.

A temperaturas relativamente bajas (es decir, en la región A de la Figura 1) la velocidad de reacción catalítica aumenta exponencialmente con la temperatura. A medida que la temperatura es elevada adicionalmente, la velocidad de reacción entra en una zona de transición (región B en la gráfica de la Figura 1) en la que la velocidad a la que el combustible y el oxígeno se transfieren a la superficie catalítica comienza a limitar aumentos posteriores en la velocidad de reacción. A medida que se aumenta la temperatura todavía más, la velocidad de reacción entra en la llamada zona limitada de transferencia de masa (región C en la gráfica de la Figura 1) en la que los reaccionantes no pueden transferirse a la superficie catalítica lo suficientemente rápido para mantener la reacción en la superficie catalítica y la velocidad de reacción se estabiliza a pesar de los aumentos adicionales de temperatura. En la zona limitada de transferencia de masa, la velocidad de reacción no puede aumentarse a medida que lo hace la actividad del catalizador debido a que la actividad catalítica no es determinante de la velocidad de reacción. Antes del invento descrito en la solicitud de patente de EE.UU. 358.411, el único camino evidente para aumentar la velocidad de reacción en la zona limitada de transferencia de masa fue aumentar la velocidad de transferencia en masa. Sin embargo, esto requiere un aumento en la caída de

presión a través del catalizador y por consiguiente una pérdida sustancial de energía. La caída de presión suficiente puede incluso no ser asequible para proporcionar la velocidad de reacción deseada. Naturalmente, puede efectuarse más transferencia de masa y por consiguiente puede producirse siempre más energía aumentando la cantidad de superficie de catalizador. En muchas aplicaciones sin embargo, esto da como resultado configuraciones de catalizador de un tamaño y complejidad tales que el costo es prohibitivo y el cuerpo del catalizador es inmanejable. Por ejemplo, en el caso de los motores de turbina a gas, el reactor catalítico podría ser mucho mayor que el motor mismo.

Como se ha descrito en la solicitud de patente de EE.UU. 358.411, se ha descubierto que es posible conseguir una combustión esencialmente adiabática en presencia de un catalizador a una velocidad de reacción muchas veces mayor que la velocidad limitada de transferencia de masa. En particular, se ha encontrado que la temperatura de trabajo del catalizador se aumenta sustancialmente en la zona limitada de transferencia de masa, la velocidad de reacción comienza otra vez a aumentar rápidamente con la temperatura (región D en la gráfica de la figura 1). Esto está en contradicción evidente con las leyes cinéticas de transferencia de masa en las reacciones catalíti-

cas. Los fenómenos pueden explicarse por el hecho que la temperatura de la superficie del catalizador y la capa de gas próxima a la superficie de catalizador es tá por encima de la temperatura de autoignición instantánea de la mezcla de combustible, y cualesquiera gases inertes (definida en la presente memoria y en la solicitud de patente de EE.UU. 358.411, significando la temperatura a la cual el retardo de la ignición de la mezcla que entra en el catalizador es despreciable con relación al tiempo de permanencia en la zona de combustión de la mezcla que experimenta combustión), y a una temperatura a la que existe una combustión térmica a una velocidad mayor que la velocidad de combustión catalítica. Las moléculas de combustible que entran en esta capa se queman espontáneamente sin transporte a la superficie del catalizador. A medida que progresa la combustión y la temperatura aumenta, se cree que la capa en la cual ocurre la combustión térmica se hace más profunda. Al final, la totalidad sustancial del gas de la región catalítica es llevada a una temperatura en la que ocurre la combustión térmica en virtualmente la corriente completa de gas en lugar de justamente cerca de la superficie del catalizador. Una vez se alcanza esta etapa en el catalizador, la reacción térmica parece que continua incluso sin contacto adicional del gas con el catalizador.

Lo anterior se ofrece solamente como una explicación posible y no ha de interpretarse en ningún modo que limita el presente invento.

5 Entre las ventajas únicas de la combustión
antes descrita en presencia de un catalizador está el
hecho de que las mezclas de combustible y aire que son
demasiado pobres en combustible para la combustión térmica ordinaria pueden quemarse eficazmente. Puesto que
10 la temperatura de combustión para un combustible dado
en cualquier serie de condiciones (por ejemplo, la temperatura inicial y en menor grado, la presión) depende
mucho de las proporciones de combustible, del oxígeno
disponible para la combustión y de los gases inertes de
la mezcla que ha de quemarse, es práctico quemar las mezclas
15 que se caracterizan por temperaturas de llama mucho
más bajas. En particular, los combustibles carbonosos pueden quemarse muy eficazmente y a velocidades de reacción
técnica a temperaturas en el intervalo de aproximadamente
20 925 y 1.750°C. A estas temperaturas se forma muy poco
óxido de nitrógeno, si se forma algo, y verdaderamente la
reacción puede ser tal que realmente disminuyan las cantidades de óxidos de nitrógeno presentes en los gases suministrados a la reacción. Además, debido a que la combustión como se ha descrito antes es estable por encima de
25 amplio intervalo de mezclas, es posible seleccionar o con

trolar la temperatura de reacción por encima de un am
plio correspondientemente intervalo seleccionando o
controlando las proporciones relativas de los gases
en la mezcla.

5 El método de combustión como se ha descri-
to en la solicitud de patente de EE.UU. 358.411 impli-
ca una combustión esencialmente adiabática de una mez-
cla de combustible o aire o combustible, aire y gases
inertes en presencia de un catalizador de oxidación só
10 lido que trabaja a una temperatura sustancialmente por
encima de la temperatura auto-ignición instantánea de
la mezcla, pero por debajo de una temperatura que daría
como resultado la formación sustancial de óxidos de ni-
trógeno en las condiciones que existen en el catalizador.
15 La temperatura de auto-ignición instantánea de la mezcla
se ha definido anteriormente. Los medios de combustión
esencialmente adiabática en este caso en que la tempera-
tura de trabajo del catalizador no difiere en más de apro-
ximadamente 540°C, más típicamente no más de aproximada-
20 mente 270°C, desde la temperatura de llana adiabática de
la mezcla debido a las pérdidas de calor del catalizador.

Resumen de la invención

De acuerdo con los principios de este invento,
el combustible carbonoso en cualquier forma se quema tér-
25 micamente en la primera etapa de un horno de varias eta-

pas, utilizando una primera mezcla formada de combustible y una cantidad de aire sustancialmente menor que la cantidad necesaria para la combustión completa a dióxido de carbono y agua de todos los componentes combustibles para producir un primer efluente gaseoso que contiene una proporción importante de monóxido de carbono. Dependiendo del combustible que se quema este efluente puede también contener algo de combustible no quemado o parcialmente quemado (por ejemplo algo de hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados). Ordinariamente se retira el calor desde la primera etapa de combustión térmica con el fin de que el horno esté funcionando (por ejemplo para generar vapor en tubos de caldera en el horno), con lo cual se enfría el primer efluente.

Luego se mezcla aire adicional con el primer efluente gaseoso para formar una segunda mezcla y al menos una parte de esta segunda mezcla se conduce o se hace pasar a través de un catalizador y es quemada al menos parcialmente en presencia del mismo. La cantidad de aire mezclada con el primer efluente gaseoso para formar la segunda mezcla es preferiblemente justa la suficiente para oxidar a dióxido de carbono y agua todos los componentes combustibles que quedan en el primer efluente gaseoso; aunque una cantidad menor que ésta puede mezclarse con el efluente gaseoso y la restante ser suministrada luego

a una zona de combustión aguas abajo del catalizador. La segunda mezcla tiene una temperatura y composición tales que su temperatura de llama adiabática es superior a su temperatura de auto-ignición instantánea. Al menos una parte de la segunda mezcla se alimenta a un catalizador de oxidación sólido, en el que es sometida a combustión en presencia del catalizador que trabaja a una temperatura sustancialmente superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de la mezcla, pero inferior a una temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxidos de nitrógeno, produciendo un segundo efluente. Típicamente, la temperatura de trabajo del catalizador se encuentra en el intervalo de aproximadamente 925°C a aproximadamente 1750°C, preferiblemente desde aproximadamente 1100°C a aproximadamente 1650°C.

El calor adicional se retira del segundo efluente y de la combustión que tiene lugar en el efluente con el fin de que el horno esté funcionando (por ejemplo, para generar vapor de agua). Si la combustión del segundo efluente no es completa, el efluente puede mezclarse con todavía más aire para una combustión posterior. Al menos parte de la combustión puede tener lugar en presencia de más catalizador bajo condiciones similares a las resumidas anteriormente. Cuando los gases efluentes de la combustión fi

nal están demasiado frios para una transferencia de calor eficaz posterior con el fin principal de la operación del horno, puede recuperarse calor adicional de estos gases conduciéndolos a uno o más intercambiadores de calor, por ejemplo, para precalentar el agua que vuelve al horno para la conversión vapor de agua y para precalentar el aire suministrado a cualquiera o la totalidad de las etapas de combustión. Algunos de los gases efluentes de la combustión final puede recircularse en el horno, por ejemplo, mezcándolos con el primer combustible y la mezcla de aire, o con la segunda mezcla pasada en presencia del catalizador, o con ambas mezclas. Los gases efluentes de la combustión final restantes pueden ser descargados a la atmósfera.

La cantidad de aire suministrada al primer combustible y mezcla de aire puede variar dependiendo del combustible que se queme. Si el combustible es un combustible sólido tal como carbón o coque, el aire aportado a la primera mezcla puede ser desde aproximadamente 50 a 90, preferiblemente alrededor de 55 a 80 por ciento de la cantidad estequiométrica de aire, expresión que está definida anteriormente. Si el combustible es líquido o gaseoso, la cantidad de aire suministrado a la primera mezcla debe ser al menos suficiente para proporcionar una mezcla inflamable de combustible y aire. En el caso de com

16-12-75

bustibles carbonosos líquidos y gaseosos para los cuales la formación de hollín no es un problema (por ejemplo monóxido de carbono, metanol y similares), la cantidad de aire suministrada a la primera mezcla puede ser desde aproximadamente 50 a 90% de la cantidad estequiométrica. En el caso de combustibles líquidos y gaseosos para los cuales la formación de hollín es un problema (por ejemplo los hidrocarburos gaseosos y líquidos), la cantidad de aire suministrada a la primera mezcla es típicamente alrededor de 80 a 90%, más típicamente al menos aproximadamente 85% de la cantidad estequiométrica. La formación de hollín en la primera etapa de combustión ha de ser evitada por lo general puesto que puede interferir con el funcionamiento del horno (por ejemplo, ensucia las superficies de intercambio de calor del horno y obstruye el catalizador en la etapa o etapas de combustión subsiguientes). La cantidad de monóxido de carbono en el primer efluente gaseoso dependerá del combustible que se quemé y de la cantidad de aire suministrada para la combustión. Típicamente, el primer efluente gaseoso contiene desde aproximadamente 5 a 30% en volumen de monóxido de carbono. La cantidad total de aire suministrada a la segunda y cualesquiera mezclas subsiguientes es preferiblemente justa la suficiente para la combustión completa a dióxido de carbono y agua de la totalidad del monóxido de

5 carbono y el combustible no quemado en el primer efluen-
te gaseoso. Los gases de recirculación antes menciona-
dos son útiles en ayudar a controlar las temperaturas
en el horno y para aumentar el volumen de gases que cir-
culan a través del horno, mejorando la transferencia de
calor por convección desde las diversas etapas de combus-
10 tión del horno. De gran importancia para la eficacia tér-
mica mejorada de los hornos construidos de acuerdo con
los principios de este invento, la cantidad máxima de ca-
lor puede recuperarse del efluente de combustión final
para precalentar el aire suministrado al horno sin aumen-
tar las cantidades de óxido de nitrógeno formadas, en
contraste con los sistemas de hornos convencionales de va-
rias etapas.

15 En el caso de hornos que queman combustibles car-
bonosos sólidos en un lecho continuamente móvil, el suminis-
tro de aire a la primera zona de combustión puede regular-
se en zonas específicas a lo largo del lecho para propor-
cionar condiciones relativamente más reductoras en donde
20 ocurre el grueso de la combustión y condiciones relativa-
mente más oxidantes en donde el combustible tiene poco car-
bono oxidable restante. De este modo, virtualmente la tota-
lidad del carbón oxidable del combustible puede utilizarse
sin la existencia de cualquier región altamente oxidante
25 sustancial en la primera zona de combustión.

Más características del invento, su naturaleza y diversas ventajas serán más evidentes de los dibujos que se acompañan y de la descripción detallada siguiente del invento.

5

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es, como se ha descrito anteriormente, una gráfica de una velocidad de la reacción de combustión en función de la temperatura de combustión en presencia de un catalizador de oxidación sólido;

10

La Figura 2 es un dibujo esquemático simplificado de un horno construido de acuerdo con los principios de este invento para quemar combustibles carbonosos sólidos;

15

La Figura 3 es un dibujo esquemático simplificado que muestra una modificación de una parte del horno de la Figura 2 de acuerdo con los principios de este invento;

20

La Figura 4 es un dibujo esquemático simplificado que muestra otra modificación de una parte del horno de la Figura 2 de acuerdo con los principios de este invento;

25

La Figura 5 es un dibujo esquemático simplificado que muestra todavía otra modificación de una parte del horno de la Figura 2 de acuerdo con los principios del invento; y

La Figura 6 es un dibujo esquemático simplificado de un horno construido de acuerdo con los principios de este invento para quemar combustibles carbonosos líquidos o gaseosos.

5 Descripción detallada del invento

Aunque los principios de este invento son fácilmente aplicables a hornos que producen calor para prácticamente cualquier finalidad, se supondrá en esta descripción que los hornos descritos se hacen funcionar para producir calor para la generación de vapor de agua de alta presión para empleo, por ejemplo, como fluido motriz de una turbina de vapor. El invento se describirá en su aplicación a hornos que queman combustibles carbonosos sólidos. Después, el invento se describirá en su aplicación a hornos que queman combustibles líquidos o gaseosos.

10 La Figura 2 muestra un horno, generalmente designado por el número de referencia 10, para quemar combustibles carbonosos sólidos en un lecho continuamente móvil, produciendo calor para la generación de vapor de agua. El horno 10 incluye alojamientos de combustión 12 y 14. El catalizador 34 está dispuesto a través de la tubería 32 que conecta los alojamientos 12 y 14 cerca de la entrada al último de ellos. Los alojamientos 12 y 14 están adaptados para transferir calor desde el horno al agua en un sistema de tubos de caldera existente en ellos (representados

esquemáticamente por líneas de trazos discontinuos 15, la totalidad de los cuales se supone que están interconectados) para generar vapor de agua para empleo como fluido motriz, por ejemplo, en una turbina de vapor.

5 Como se muestra en la Figura 2, el combustible carbonoso sólido se suministra a una tolva 16 de su ministro de combustible a través de la boca 20. Desde la tolva 16 el combustible sólido cae sobre una cinta transportadora 18 que está soportada por rodillos 22 y que se mueve continuamente en la dirección indicada por la flecha 19. Por consiguiente, la cinta transportadora 18 lleva el combustible al alojamiento de combustión 12 a través de la boca de entrada de combustible 24 y actúa como un lecho continuamente móvil para el combustible durante la combustión térmica del mismo en el interior del alojamiento 12. Cualquier residuo sólido de esta combustión térmica es llevado fuera del alojamiento 12 por la cinta 18 a través de la boca de salida de residuos sólidos 26 y es descargado en el depósito de recogida 28 para la retirada del sistema por la tubería 30.

10

15

20

Naturalmente, pueden emplearse otros métodos de distribución de combustible. Por ejemplo, el combustible sólido puede ser finamente dividido y pulverizado en la zona de combustión térmica o el combustible sólido puede ser quemado en un lecho vertical. Sin embargo, el método

25

de distribuir el combustible en una cinta horizontal con
tinuuamente móvil ofrece cierto número de ventajas que se
rán más evidentes a medida que transcurra la explicación.

5 Cualquiera de una amplia variedad de combusti-
bles carbonosos sólidos puede ser quemada en el horno 10;
por ejemplo, carbón (incluyendo antracita, carbones bitu-
minosos, sub-bituminosos, ligníticos y similares y puedan
ser de alta o baja volatilidad), coque (incluyendo coque
hecho de diversos carbones a altas o bajas temperaturas o
10 a partir de fuentes petrolíferas) carbón vegetal, y simi-
lares. Aunque la mayoría del contenido energético de estos
combustibles procede de la combustión del carbono elemental
del combustible, muchos combustibles carbonosos sólidos ade
cuados también contienen cantidades sustanciales de hidro-
carburos, hidrógeno fijado, etc.
15

A medida que el combustible sólido es transporta
do a través del alojamiento de combustión 12, sobre la cin
ta 18, es quemado térmicamente en el aire suministrado deg
de uno o más orificios o toberas de entrada de aire situa
dos en el alojamiento 12 por debajo de la cinta 18. En la
20 realización particular mostrada en la Figura 2, son emplea
das para este fin cinco de tales toberas, designadas por
los números de referencia 44, 46, 48, 50 y 52 en orden as-
cendente desde la boca de entrada de combustible 24. La
25 cantidad de aire suministrada a cada una de estas toberas

es controlada mediante una válvula en una tubería que conecta la tobera a la tubería de suministro de aire 42. La tobera 44 está conectada a la tubería de suministro de aire 42 por la tubería 54 que tiene la válvula 56. Similarmente, las toberas 46, 48, 50 y 52 están conectadas a la tubería de suministro de aire 42 por las tuberías 58, 62, 66 y 70 que tienen las válvulas 60, 64, 68, y 72, respectivamente. El aire suministrado a las toberas 44, 46, 48, 50 y 52 debe haber sido precalentado como se explica con más detalle más adelante. Aunque usualmente el aire servirá como fuente de oxígeno libre para la combustión en hornos contruidos de acuerdo con los principios de este invento, el término aire tal como se emplea en la presente memoria se entenderá también que incluye cualquier mezcla de gases que incluye oxígeno disponible para reacciones de combustión.

Aunque la cantidad y proporción de aire (mezclada con cualesquiera gases de recirculación como se describe más adelante) puede ser variada localmente a lo largo de la longitud de la cinta 18 del alojamiento 12, la cantidad total de aire introducida en el alojamiento 12 por medio de las toberas 44, 46, 48, 50 y 52 es sustancialmente menor que la cantidad de aire necesaria para la combustión completa de la totalidad del carbono del combustible sólido a dióxido de carbono y el hidrógeno, los hidrocar-

buros etc, del combustible a dióxido de carbono y agua. Típicamente, la cantidad de aire suministrada a las toberas 44, 46, 48, 50 y 59 es aproximadamente 50 a 90, preferiblemente alrededor de 55 a 80, por ciento de la cantidad estequiométrica de aire, expresión que se ha de finido anteriormente. El efluente gaseoso de la combustión en el alojamiento 12 (en lo sucesivo denominado primer efluente gaseoso) contiene por lo tanto un porcentaje sustancial de monóxido de carbono y es por consiguiente relativamente reductor. El primer efluente gaseoso puede también contener algo de hidrocarburos no quemados o parcialmente quemados, pero las cantidades de tales hidrocarburos serán generalmente pequeñas.

Las condiciones existentes en el alojamiento 12 (es decir, temperatura y cantidad de aire disponible para la combustión) son controladas cuidadosamente para impedir la formación de cantidades excesivas de óxidos de nitrógeno. El factor más importante que limita la producción de óxidos de nitrógeno es la cantidad de aire disponible para la combustión. Ventajosamente, el aire suministrado al alojamiento 12 se distribuye a lo largo de la longitud de la cinta 18 de tal modo que sustancialmente la totalidad del carbono oxidable y el hidrógeno, los hidrocarburos, etc, del combustible sólido se utilicen sin la producción que un efluente gaseoso altamente oxidante en el alojamiento 12,

con la posible excepción de una pequeña región cerca de la boca de salida 26 en la que puede ser deseable mantener más condiciones oxidantes para recuperar las cantidades restantes últimas del carbono del combustible. Por tanto cuando una parte grande de la oxidación del combustible sólido ocurre normalmente (es decir en la dirección de la boca de entrada del combustible 24,) se mantienen las condiciones severamente reductoras en el efluente suministrando cantidades relativamente pequeñas de aire a la tobera o toberas más próximas a la boca de entrada de combustible 24. Condiciones de reducción menos severas pueden mantenerse en el efluente cerca de la mitad de la cinta 18 por control de la cantidad de aire suministrada a la tobera o toberas en la mitad del alojamiento 12. Finalmente, cuando exista poco carbono oxidable restante en el combustible (cerca de la boca de salida 26) pueden mantenerse condiciones más oxidantes en el efluente gaseoso como se ha mencionado anteriormente por control de la cantidad de aire suministrada a la tobera o toberas más próximas a la boca de salida 26.

Las temperaturas del alojamiento 12 son típicas para la combustión en dos etapas de carbón, coque, etc (por ejemplo en el intervalo de aproximadamente 1092°C a aproximadamente 2202°C) y pueden variar ampliamente en el interior del lecho. Estas temperaturas son controladas al menos par-

cialmente regulando la cantidad de aire disponible para la combustión en cualquier punto a lo largo de la longitud de la cinta 18. Como se ha mencionado anteriormente, pueden emplearse temperaturas relativamente altas cuando las condiciones del efluente de combustión térmica son más severamente reductoras debido a que tales condiciones reductoras son altamente eficaces en inhibir la formación de óxidos de nitrógeno. Además de controlar la cantidad de aire disponible para la combustión, las temperaturas del alojamiento 12 pueden también ser controladas mezclando gases de recirculación relativamente inertes y relativamente fríos (es decir, el efluente de combustión final del horno) suministrados desde la tubería 124 de suministro de gas de recirculación con el aire aportado al alojamiento 14 para disminuir la temperatura de llama y aumentar la velocidad de transferencia de calor hacia fuera desde el lecho. Estos gases de recirculación están típicamente a una temperatura intermedia entre la temperatura media del efluente de combustión térmica y la temperatura ambiente. El empleo de gases de recirculación también aumenta el volumen de gases que circulan a través del horno, con lo cual mejoran la transferencia de calor en todo el horno. La cantidad de gases de recirculación mezclados con el aire suministrado a la tobera 44 se controla mediante la válvula 74 que conecta la tubería 124 de suministro

tro de gas de recirculación con la tubería 54. Similarmente, la cantidad de gases de recirculación suministrada a cada una de las toberas 46, 48, 50 y 52 desde la tubería 124 de suministro de gas de recirculación está controlada por las válvulas 78, 82, 86 y 90 en las tuberías 76, 80, 84 y 88, respectivamente. De nuevo, en donde ocurre normalmente una parte principal de la oxidación del combustible sólido (es decir, en la dirección de la boca de entrada de combustible 24), el volumen de gas que pasa a través del lecho en dicha región puede mantenerse relativamente grande para ayudar a mantener las temperaturas descedentes en dicha región suministrando cantidades relativamente grandes de gases de recirculación a la tobera o toberas más próximas a la boca de entrada de combustible 24. Al mismo tiempo, los gases de recirculación suministrados a esta parte del horno ayudan a iniciar la combustión del combustible entrante. Los gases de recirculación pueden también suministrarse a la boca de entrada de combustible 24 para este último fin. Si se desea, puede inyectarse vapor de agua al alojamiento 12 para hacer la oxidación parcial en él más limpia.

A medida que el primer efluente gaseoso asciende por el alojamiento 12, se retira energía en forma de calor de dicho alojamiento para generar vapor de agua en los tubos de caldera 15 del alojamiento 12, con lo cual se dismi

nuye la temperatura del efluente. Solamente una cantidad relativamente pequeña de calor puede retirarse desde el efluente, o el calor puede retirarse hasta que la temperatura del efluente ha descendido hasta un punto en el que la energía térmica no puede ser ya eficazmente transferida con el fin de que el horno esté funcionando (por ejemplo, una temperatura de efluente en el intervalo de aproximadamente 537°C a aproximadamente 981°C o más en el caso de varias aplicaciones de caldera de vapor). Cuando ha sido retirada la cantidad deseada de calor, el efluente sale del alojamiento 12 por medio de la tubería 32.

En la tubería 32, el primer efluente gaseoso se mezcla con aire adicional suministrado por la tobera 122 para formar una segunda mezcla y esta mezcla se alimenta en presencia del catalizador de oxidación sólido 34 que se extiende a través de la tubería 32 de la entrada del alojamiento 14 o cerca de ella. Como se ha mencionado anteriormente, la cantidad de aire suministrada a la zona de combustión del alojamiento 12 por medio de las toberas 44, 46, 48, 50 y 52 es considerablemente menor que la requerida para la combustión completa de todo el carbono del combustible a dióxido de carbono y el hidrógeno, hidrocarburos etc. del combustible a dióxido de carbono y agua. Por consiguiente, el primer efluente gaseoso con

tiene una proporción sustancial de monóxido de carbono y además, puede contener algo de hidrocarburos no quemados o parcialmente quemados. La cantidad de aire añadida al primer efluente gaseoso por medio de la tobera 122 es preferiblemente al menos la cantidad necesaria para completar la combustión de sustancialmente la totalidad del monóxido de carbono y los hidrocarburos del efluente a dióxido de carbono y agua. Este aire se suministra a la tobera 122 desde la tubería de suministro de aire 42 por medio de la tubería 92 que tiene la válvula 94. Como en el caso de las otras toberas para entrada de aire (por ejemplo la tobera 44), los gases de recirculación procedentes de la tubería de suministro de gas de recirculación 124, pueden mezclarse con el aire suministrado a la tobera 122, en cualquier proporción deseada por medio de la tubería 96 que tiene la válvula 98. Las condiciones en la tubería 32 (por ejemplo temperatura, tiempo de permanencia y proporciones de efluente, aire, y gases de recirculación) son típicamente tales que no ocurre combustión u ocurre muy poca en la tubería 32 antes del catalizador 34 a temperaturas que podrían dar como resultado la formación sustancial de óxidos de nitrógeno. La composición y la temperatura de la segunda mezcla son tales que su temperatura de llama adiabática es superior a su temperatura de auto-ignición instantánea.

En presencia del catalizador 34, al menos una parte del monóxido de carbono y los hidrocarburos no quemados en el primer efluente gaseoso son quemados a dióxido de carbono y agua, siendo suministrada la porción correspondiente del aire adicional por medio de la tobera 122. Esta combustión tiene lugar en presencia del catalizador 34 que trabaja a una temperatura sustancialmente superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de la mezcla de gases alimentada al catalizador, pero inferior a la temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxidos de nitrógeno bajo condiciones que existen en el catalizador. En una realización preferida del invento, la combustión en presencia del catalizador tiene lugar bajo condiciones esencialmente adiabáticas como se ha mencionado anteriormente con referencia a la solicitud de patente de Estados Unidos 358.411. Tal combustión permanece esencialmente adiabática, incluso aunque tenga lugar una pequeña cantidad de transferencia de calor por radiación o conducción desde el catalizador, cuando la temperatura de trabajo del catalizador no difiere en más de aproximadamente 270°C de la temperatura de llama adiabática de la mezcla de combustión. En otra realización útil del invento, puede ser transferido por radiación o conducción suficiente calor desde el catalizador a las partes del horno que rodean al catalizador de

modo que la combustión no sea adiabática. En estas condiciones la temperatura de llama adiabática de la mezcla combustible-aire admitida al catalizador puede sobrepasar una temperatura de aproximadamente 1750°C, siendo esta temperatura la temperatura más elevada consistente con la evitación sustancial de la formación de óxidos de nitrógeno cuando la combustión se realiza adiabáticamente. Realmente la temperatura de llama adiabática puede ser tan elevada como 2091°C o incluso más elevada, dependiendo de la magnitud del calor separado del catalizador. Típicamente, la temperatura de trabajo del catalizador se encuentra en el intervalo de aproximadamente 925°C a aproximadamente 1750°C, preferiblemente desde aproximadamente 1100°C a aproximadamente 1650°C. El alojamiento 14 debe por tanto estar construido para resistir estas temperaturas de combustión. No solamente, por tener lugar la reacción de combustión en presencia del catalizador 34 se impide la formación de óxidos de nitrógeno adicional en cantidad importante, sino que también es típico que se reduzcan realmente de un modo sustancial las cantidades de óxidos de nitrógeno en los gases alimentados al horno.

La temperatura de trabajo del catalizador está determinada por la temperatura de llama adiabática de la mezcla que se quema en presencia del catalizador. Típicamente, cuando la combustión es esencialmente adiabática,

la superficie reactiva del catalizador está a la temperatura de llama adiabática de la mezcla o cerca de ella y la combustión de la segunda mezcla tiene lugar a la temperatura de llama adiabática o una temperatura próxima a la misma. La temperatura de llama adiabática de la mezcla es a su vez función de la temperatura de entrada y de las proporciones relativas de combustible (es decir, monóxido de carbono y gases no quemados), aire y gases de recirculación en la mezcla. Por consiguiente, la temperatura de trabajo del catalizador puede controlarse ajustando alimentación de la mezcla al catalizador, particularmente la proporción de gases de recirculación inertes en la mezcla. La temperatura de los gases que salen del catalizador 34 (denominados en lo sucesivo el segundo efluente) es función de la temperatura de los gases alimentados al catalizador, la cantidad de energía térmica liberada en la reacción de combustión que tiene lugar en presencia del catalizador y el volumen y capacidad calorífica del efluente total.

La oxidación de los gases que salen del catalizador 34 debe ser sustancialmente completa, aunque usualmente es ventajoso que la combustión continúe durante alguna distancia aguas abajo del catalizador en el alojamiento 14. Esto hace posible emplear menos catalizador, reducir el descenso de presión en el sistema. La combustión

5 aguas abajo del catalizador 34 se induce y mantiene por los niveles de temperatura resultantes de la combustión que tienen lugar en presencia del catalizador 34. La temperatura de la combustión aguas abajo del catalizador 34 es típicamente la temperatura de combustión en presencia del catalizador 34 o una temperatura próxima a ella. Esto impide sustancialmente la formación de cualesquiera óxidos de nitrógeno adicionales en el alojamiento 14.

10 A medida que se elevan los gases en el alojamiento 14, se retira calor de ellos, por ejemplo, para generar más vapor de agua en los tubos de caldera 15 en el alojamiento 14. Particularmente en la parte superior del alojamiento 14 puede ser deseable tener tubos de caldera espaciados en todo en el interior del alojamiento para mejorar la transferencia de calor por convección de los gases en el alojamiento. Si se desea aire adicional en el alojamiento 14, puede ser suministrado por medio de la tobera 104. El aire se suministra a la tobera 104 desde la tubería de suministro de aire 42 por medio de la tubería 100 que tiene la válvula 102. Los gases de recirculación de la tubería 124 pueden mezclarse con aire suministrado a la tobera 104 por medio de la tubería 106 que tiene la válvula 108. La tobera 104 es opcional.

25 Cuando la cantidad deseada de calor ha sido retirada de los gases del alojamiento 14 (típicamente, cuando

do aquellos gases están demasiado frios, para una transferencia de calor eficaz posterior para generar vapor de agua, por ejemplo a una temperatura en el intervalo de aproximadamente 315°C a aproximadamente 648°C), los gases del efluentes de combustión final salen del alojamiento 14 por medio de la tubería de salida 36. Puede retirarse calor adicional del efluente de combustión final para precalentar el agua que vuelve a la caldera por la tubería 110, por medio del intercambiador de calor 112 en la tubería 36. Este agua precalentada se suministra luego a un sistema de tubo de caldera 15 por medio de la tubería 114 y, después de conversión en vapor, sale desde el sistema de tubo de caldera por medio de la tubería 116. Después de pasar a través del intercambiador de calor 112, algo del efluente de combustión final de la tubería 36 puede retirarse por medio de la tubería de suministro de gas de recirculación 124 para recircular en el horno como se ha descrito anteriormente. El resto de los gases de salida puede conducirse a un intercambiador de calor 38 en donde se recupera energía térmica adicional para precalentar aire llevado al sistema por la tubería 40 y distribuido luego al horno por la tubería 42. Alternativamente, algunos gases de recirculación pueden retirarse después de intercambio de calor con aire. Típicamente, el aire introducido en el sistema de horno se pre-

5 lenta a al menos aproximadamente 204°C, preferiblemen-
te desde aproximadamente 315°C a aproximadamente 537°C.
Unidades adicionales de intercambio de calor pueden em-
plearse para otros fines. Finalmente, los gases de sali-
10 da de la tubería 36 son liberados a la atmósfera. Recir-
culando parte del efluente de combustión final y preca-
lentando el aire suministrado al horno tal como se ha
descrito anteriormente, cantidades valiosas de calor que
de otro modo se perderían en la atmósfera son recuperadas
15 o conservadas dentro del sistema, con lo cual se incremen-
ta la eficacia térmica del horno.

 Si es deseable retirar más calor de los gases
pasados a través del catalizador (por ejemplo, para re-
ducir el tamaño de alojamiento de combustión térmica ini-
20 cial y por consiguiente reducir costes de capital), la
combustión del primer efluente gaseoso puede realizarse
en una serie de etapas sucesivas. El primer efluente ga-
seoso puede hacerse pasar a estas etapas de combustión adi-
cionales a temperaturas más elevadas o con cantidades va-
25 lios de combustible más elevadas (significando que la
etapa de combustión térmica puede realizarse de modo más
reductor) sin la existencia de temperaturas en cualquiera
de las etapas de combustión adicionales que podrían ser
suficientemente altas para causar la formación de canti-
dades contaminantes de óxidos de nitrógeno. La Figura 3

muestra una posible modificación de la parte del horno de la Figura 2, encima del alojamiento 12 que incluye dos o más etapas de combustión adicionales, incluyendo cada una un paso de los gases efluentes de la etapa de combustión precedente a través de un catalizador que trabaja bajo condiciones similares a las descritas anteriormente para el catalizador 34. En la primera de estas etapas, el primer efluente gaseoso procedente de la etapa de combustión térmica del alojamiento 12, similar a la descrita anteriormente, se mezcla con una cantidad de aire suministrada por la tobera 101 menor que la cantidad necesaria para completar la combustión a dióxido de carbono y agua de todo el monóxido de carbono y de los hidrocarburos no quemados en el primer efluente gaseoso. Los gases de recirculación inerte en la cantidad deseada también pueden suministrarse por la tobera 101. Esta mezcla se alimenta en presencia del catalizador 134 (similar al catalizador 34 en el aparato de la Figura 2) y se quema al menos parcialmente en presencia del mismo bajo condiciones similares a las descritas anteriormente para el catalizador 34 en el horno de la Figura 2. Los gases que salen del catalizador 134 entran en el alojamiento 136. La combustión puede continuar aguas abajo del catalizador 134 del modo similar a la combustión que continúa aguas abajo del catalizador 34 en el aparato de la Figura

2. La energía térmica se retira de los gases en el alojamiento 136, por ejemplo para calentar agua en tubos de caldera (no mostrados) en el alojamiento 136. Los gases que salen del alojamiento 136 se mezclan luego con todavía más aire y gases de recirculación suministrados por la tobera 201 y se alimentan en presencia de catalizador 234 para combustión adicional en presencia del mismo bajo condiciones similares a las descritas anteriormente para el catalizador 34 en la Figura 2. Los gases que salen del catalizador 234 entran en el alojamiento 236. De nuevo, la combustión puede continuar aguas abajo del catalizador 234 de un modo similar a la combustión que continúa aguas abajo de los catalizadores 34 y 134 descrita anteriormente. Se retira más energía térmica para calentar agua en tubos de caldera (no mostrados) en el alojamiento 236. Pueden emplearse etapas de combustión similares adicionales hasta que la totalidad del monóxido de carbono y los hidrocarburos no quemados en el primer efluente gaseoso hayan sido completamente quemados. Como en el horno de la Figura 2, el efluente de combustión final sale por la tubería de salida 36. El empleo de varias etapas sucesivas de combustión adicional del primer efluente gaseoso significa que no todo el aire necesario para completar la combustión del efluente necesita ser suministrado de una vez. Por consiguiente, no ocurre la totalidad de la combus-

tión del primer efluente gaseoso de una vez y el efluente puede hacerse pasar a etapas de combustión adicionales a temperaturas más elevadas o con cantidades valiosas de combustible más elevadas sin elevar las temperaturas en las etapas de combustión adicionales a un valor demasiado alto para impedir la formación de cantidades contaminantes de óxidos de nitrógeno.

Como otra alternativa que emplea dos o más etapas adicionales para la combustión del primer efluente gaseoso, una parte del primer efluente del alojamiento 12 se desvía alrededor de la primera etapa de combustión adicional por medio de la tubería 335 como se muestra en la Figura 4. El resto del primer efluente gaseoso se mezcla con aire y gases de recirculación suministrados por la tobera 301 en la tubería 332 y se alimenta en presencia de catalizador 334 (similar a los catalizadores anteriormente descritos) para la combustión bajo condiciones similares a las descritas anteriormente. La cantidad de aire suministrada a la tobera 301 es preferiblemente suficiente para completar la combustión de la totalidad del primer efluente gaseoso (incluyendo la cantidad desviada por la tubería 335). Por consiguiente, la totalidad del primer efluente gaseoso de la tubería 332 se quema completamente en presencia del catalizador 334 y en el alojamiento 336. Se retira calor de los gases del alojamiento 336. Des

pués, los gases del alojamiento 336 se mezclan con la parte no quemada del primer efluente gaseoso de la tubería 335 y esta mezcla se alimenta en presencia de catalizador 434 por medio de la tubería 432 para una etapa adicional de combustión bajo condiciones similares a las descritas anteriormente. Puesto que queda suficiente aire en los gases que salen del alojamiento 336 para la combustión completa del efluente en la tubería 335, no se necesita suministrar aire adicional antes del catalizador 434. El primer efluente gaseoso de la tubería 335 se quema completamente en presencia del catalizador 434 y en el alojamiento 436 y se retira calor adicional de los gases del alojamiento 436. El efluente de combustión final se extrae por medio de la tubería 36. Naturalmente, etapas de combustión adicionales similares a las descritas anteriormente pueden incluirse entre el alojamiento 436 y la tubería de salida 36 y parte de los gases de la tubería 335 puede desviarse a aquellas etapas adicionales. La realización mostrada en la Figura 4 puede preferirse sobre la realización mostrada en la Figura 3, puesto que en la realización mostrada en la Figura 4 las condiciones en ambos cuerpos de catalizador son relativamente oxidantes, reduciendo al mínimo por tanto la formación o acumulación de hollín en la superficies reactivas de los catalizadores.

Como todavía otra alternativa, algo menos de la cantidad de aire necesaria para completar la combustión del primer efluente gaseoso puede ser suministrada a la tobera 122 en el aparato de la Figura 2. Esta deficiencia de aire puede ser luego suministrada a la tobera 104 aguas abajo del catalizador 34 en el alojamiento 14. El monóxido de carbono que queda en los gases que salen del catalizador 34 se quema luego en la parte superior del alojamiento 14 con este aire adicional. Esta combustión se induce y mantiene por los niveles de temperatura resultantes de la combustión que tiene lugar en presencia del catalizador 34. La temperatura de la combustión en el alojamiento 14 es típicamente la temperatura de la combustión, en presencia del catalizador 34 o una temperatura próxima a ella.

No es necesario que la totalidad del primer efluente gaseoso de la tubería 32 en el horno de la Figura 2 pase a través del catalizador 34, aunque una parte sustancial de tal efluente debe pasar a través del catalizador. Así como se muestra en la Figura 5, el catalizador 34 (soportado por una placa anular perforada 35) puede ocupar solamente una parte de la entrada al alojamiento 14. Por consiguiente, solo una parte de la mezcla de la tubería 32 encima de la tobera de entrada de aire 122 pasa a través del catalizador 34 y se quema en pre-

sencia del mismo. El resto de la mezcla pasa alrededor del catalizador 34 a través de la placa perforada 35 y se quema en el alojamiento 14 situado encima del catalizador 34. La combustión en el alojamiento 14 está in
5 ducida y mantenida por los niveles de temperatura resul
tantes de la combustión que tiene lugar en presencia del catalizador 34. De este modo, el volumen requerido de catalizador necesario para la combustión del primer
10 efluente gaseoso se reduce grandemente. De nuevo, la tem
peratura de la combustión en el alojamiento 14 es típicamente la temperatura de la combustión que tiene lugar en presencia del catalizador 34 o una temperatura próxima a ella.

La Figura 6 muestra como puede construirse un
15 horno 610 de acuerdo con los principios de este invento para quemar combustible carbonoso líquido o gaseoso. Ejemplos de combustibles carbonosos líquidos y gaseosos que pueden quemarse en hornos del tipo mostrado en la Figura
20 6 son los hidrocarburos normalmente líquidos que pueda ser vaporizados (por ejemplo nafta, queroseno, aceite diesel, aceites combustibles y de calefacción, ciertos aceites residuales y minerales no destilados, etc); alcoholes, tales como metanol, etanol y otros combustibles que contie
25 nen oxígeno combinado tal como monóxido de carbono; y prác
ticamente cualquier hidrocarburo normalmente gaseoso tal

como metano, etano, propano y otros hidrocarburos de bajo peso molecular. El combustible líquido o gaseoso se suministra al horno 610 por medio de la tubería 620, que tiene la válvula 622 y se pulveriza en la parte inferior del alojamiento 612 por medio de la tobera 624. Si el combustible de la tubería 620 es normalmente líquido, la tobera 624 es preferiblemente una que atomizará o vaporizará el combustible a medida que se pulverice en el alojamiento 612. Alternativamente, el combustible líquido de la tubería 620 puede mezclarse con gases de recirculación calientes o pulverizarse en ellos suministrados por medio de la tubería 654 que tiene la válvula 678, para vaporizar o atomizar el combustible antes de la pulverización en el alojamiento 612.

En el alojamiento 612, el combustible pulverizado se mezcla íntimamente con aire precalentado y los gases de recirculación calientes suministrados por el distribuidor de aire 626 que rodean la tobera 624 para producir una primera mezcla y esta primera mezcla se quemará térmicamente. Aunque solo están mostrados en el dibujo esquemático simplificado de la Figura 6 una tobera de combustible y un distribuidor de aire se comprenderá que pueden emplearse en el alojamiento 612 un número variable de tales toberas y distribuidores de aire asociados. El aire se suministra al distribuidor de aire 626 por medio de una

tubería de suministro de aire 642 que tiene la válvula 656 y la tubería 652. Cualquier cantidad deseada de gases de recirculación calientes puede mezclarse con el aire suministrado al distribuidor de aire 626 por medio de la tubería 650 que tiene la válvula 674. En el caso de combustibles líquidos o gaseosos para los cuales la formación de hollín no es un problema (por ejemplo monóxido de carbono, metanol, y similares), la cantidad de aire suministrada a la etapa de combustión térmica puede ser desde aproximadamente 50 a 90% de la cantidad estequiométrica. En el caso de combustibles líquidos o gaseos para los cuales la formación de hollín es un problema (por ejemplo hidrocarburos líquidos o gaseosos), la cantidad de aire suministrada a la etapa de combustión térmica es típicamente aproximadamente 80 a 90%, más típicamente al menos alrededor de 85%, de la cantidad estequiométrica. La formación de hollín en la etapa de combustión térmica generalmente ha de evitarse puesto que puede interferir con el funcionamiento del horno (por ejemplo ensuciando la superficie de intercambio de calor en el horno y obstruyendo el catalizador en la etapa de combustión subsiguiente). En cualquier caso, la combustión térmica del combustible en el alojamiento 612 tiene lugar bajo condiciones sustancialmente reductoras y el efluente gaseoso de la combustión térmica (en lo sucesivo denominado

primer efluente gaseoso) contiene una proporción sustancial de monóxido de carbono. Dependiendo del material de alimentación, el primer efluente gaseoso puede también contener algo de hidrocarburos no quemados o parcialmente quemados.

5

Energía en forma de calor se retira desde los gases del alojamiento 612 (por ejemplo para generar vapor de agua en tubos de caldera 615 situados en el alojamiento 612). En la parte superior del alojamiento 612

10 aire precalentado adicional en una cantidad suficiente para completar la combustión de la totalidad del monóxido de carbono en el primer efluente gaseoso a dióxido de carbono y hidrocarburos no quemados o parcialmente quemados, etc en tal efluente a dióxido de carbono y agua,

15 se mezcla con el primer efluente gaseoso para formar una segunda mezcla. Este aire adicional se suministra por medio del distribuidor de aire 660. De nuevo, aunque solamente se muestre un distribuidor de aire en el dibujo esquemático simplificado de la Figura 6, se comprenderá que

20 pueden disponerse alrededor de la parte superior del alojamiento 612 un número variable de tales dispositivos para mezclar exhaustivamente el aire adicional con el primer efluente gaseoso. El aire se suministra al distribuidor de aire 660 desde la tubería de suministro de aire 642

25 por medio de la tubería 662 que tiene la válvula 664. Cual

quier cantidad deseada de gases de recirculación calientes procedentes de la tubería de suministro de gas de recirculación 650 puede mezclarse con el aire suministrado al distribuidor de aire 660 por medio de la tubería 666 que tiene la válvula 668.

La segunda mezcla se alimenta en presencia de un catalizador de oxidación sólido 634 (similar a cualquiera de los catalizadores anteriormente mencionados) en el que al menos una parte de la mezcla se quema bajo condiciones similares a las descritas anteriormente, por ejemplo, para el catalizador 34 en el horno de la Figura 2. Los gases que salen del catalizador 634 entran en el alojamiento 614. La combustión puede continuar aguas abajo del catalizador 634 en el alojamiento 614. La combustión aguas abajo del catalizador 634 se induce y mantiene por los niveles de temperaturas resultantes de la combustión que tiene lugar en presencia del catalizador 634. Se retira calor de los gases del alojamiento 614 (por ejemplo para generar vapor de agua en tubos de caldera 615 en el alojamiento 614). Cuando los gases del alojamiento 614 están demasiado fríos para una transferencia eficaz adicional de calor al vapor de agua, se hacen salir del alojamiento 614 por medio de la tubería de salida 636. Parte del calor restante de los gases de la tubería 636 puede recuperarse, por ejemplo, para precalentar el agua que vuelve a la

5 caldera por medio del intercambiador de calor 617 en la
tubería 636. Este agua precalentada se suministra al sis-
tema de tubos de caldera 615 por medio de la tubería 619
y después de conversión en vapor de agua, sale del siste-
ma de tubos de caldera por la tubería 621. Los gases de
recirculación se retiran de la tubería 636 y se distri-
buyen al horno tal como se ha descrito anteriormente por
la tubería 650. El calor adicional de los gases restantes
10 en la tubería 636 se recupera por medio de un intercambia-
dor de calor 638 que precalienta el aire suministrado al
horno por medio de la tubería 640. Este aire precalentado
se distribuye luego al horno por medio de la tubería 642
como se ha descrito anteriormente. Pueden emplearse inter-
cambiadores de calor adicional para otros fines. Finalmen-
15 te, los gases de la tubería 636 se expulsan a la atmósfe-
ra.

Las temperaturas en el horno 610 generalmente
corresponden a las temperaturas en las partes correspon-
dientes del horno mostrado en la Figura 2. Cualquiera de
20 las modificaciones mostradas en las Figuras 3 a 5 puede
también emplearse en los hornos del tipo mostrado en la
Figura 6.

Los catalizadores de oxidación sólidos útiles
para el invento pueden incluir cierto número de catali-
25 zadores utilizados para la oxidación de combustibles. Ti

picamente, el catalizador comprende un soporte y un componente activo con o sin la adición de otros activadores o promotores. Estos catalizadores pueden incluir una amplia variedad de materiales así como configuraciones o estructuras. Por ejemplo, el catalizador puede comprender un lecho relleno de gránulos, "sillas", anillos o similares. Preferiblemente, el catalizador comprende una estructura monolítica o unitaria que contiene un sustrato cerámico o soporte impregnando con uno o más componentes catalíticamente activos. Las estructuras monolíticas de este tipo pueden ser estructuras de tipo alveolar de paredes delgadas. Los canales de flujo en las estructuras alveolares son usualmente paralelos y pueden ser de la sección transversal deseada tal como triangular o hexagonal. El número de canales por centímetro cuadrado puede variar ampliamente dependiendo de la aplicación particular, y están disponibles en el comercio estructuras alveolares monolíticas que tienen desde aproximadamente 8 a 310 canales por cm^2 . El sustrato o parte de soporte de la estructura alveolar deseablemente es poroso, pero puede ser esencialmente no poroso, y catalíticamente es relativamente inerte. El sustrato puede estar provisto de una película o revestimiento poroso típicamente de alúmina, que se impregna con uno o más componentes catalíticamente activos. Las estructuras de este tipo son particularmente deseables pues-

to que la caída de presión de los gases que pasan a través de ella es relativamente baja y generalmente son autoportantes. El componente catalíticamente activo del catalizador es generalmente un metal bien sea en el estado elemental o bien sea en estado combinado tal como óxido. Ejemplos de tales metales son zirconio, vanadio, cromo, manganeso, cobre, platino, paladio, iridio, rodio, rutenio, cerio, cobalto, níquel y hierro. El catalizador particular y la cantidad empleada pueden depender principalmente del diseño del sistema de combustión, el tipo de combustible utilizado y la temperatura de trabajo. La caída de presión de los gases que pasan a través del catalizador, por ejemplo, puede ser inferior a aproximadamente $0,7 \text{ kg/cm}^2$, preferiblemente inferior a aproximadamente $0,21 \text{ kg/cm}^2$.

Los hornos descritos en la presente memoria están caracterizados por una alta eficacia y bajas emisiones de contaminantes atmosféricos, particularmente monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Debido a la eficacia de las reacciones de combustión que tienen lugar en presencia de los catalizadores en particular, la combustión completa se consigue con una cantidad de aire solamente ligeramente en exceso de la cantidad de aire teóricamente requerida para la combustión completa. Esto mejora considerablemente la eficacia térmica del horno. Además,

la alta eficacia de la reacción de combustión que tiene lugar en presencia del catalizador impide la emisión de cantidades contaminantes de monóxido de carbono. Cualquiera que sean las condiciones en el horno (en particular las temperaturas y concentraciones de oxígeno) son tales que solamente tenderán a formarse cantidades relativamente pequeñas de óxidos de nitrógeno. Además, las reacciones de combustión que tienen lugar en presencia de los catalizadores tienden a reducir la cantidad de óxidos de nitrógeno en los gases alimentados en presencia del catalizador. La eficacia térmica se aumenta además precalentando el aire que se suministra al horno y recirculando parte del efluente de combustión final para recuperar calor que de otro modo podría perderse en la atmósfera.

Ha de entenderse que las realizaciones mostradas y descritas en la presente memoria son solamente ilustrativas de los principios de este invento y que pueden llevarse a cabo diversas modificaciones por los expertos en la técnica sin apartarse del alcance y espíritu del invento. Por ejemplo, pueden emplearse, como se ha mencionado anteriormente, otros métodos de distribuir el combustible sólido en la zona de combustión térmica de hornos que queman tales combustibles. Otros ejemplos de modificaciones dentro del alcance del invento son las diferentes

formas alternativas del catalizador mencionado en lo que antecede.

5 La presente solicitud, que corresponde a la presentada en Estados Unidos de América, el 2 de Enero de 1975, bajo el número 538.211, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto de la Propiedad Industrial.

10

REIVINDICACIONES

15 Los puntos de invención propia y nueva, que se presentan para que sean objeto de la presente solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

20 1ª.- Método de quemar un combustible carbonoso para producir energía en forma de calor, que comprende las etapas de: quemar térmicamente una primera mezcla, formada de combustible carbonoso y una cantidad de aire sustan-
25 tancialmente menor que la necesaria para la combustión completa a dióxido de carbono y agua de todos los componentes combustibles de dicho combustible, para producir un primer efluente gaseoso que contiene una proporción sustancial de monóxido de carbono; retirar calor del primer

5 efluente gaseoso; mezclar al menos una parte del primer efluente gaseoso con una cantidad adicional de aire para formar una segunda mezcla que tiene una temperatura de llama adiabática superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de dicha segunda mezcla; y quemar al menos una parte de dicha segunda mezcla en presencia de un catalizador de oxidación sólido que trabaja a una temperatura sustancialmente superior a dicha temperatura de auto-ignición instantánea de dicha segunda mezcla, pero inferior a una temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxidos de nitrógeno, para oxidar al menos una parte del monóxido de carbono de dicha segunda mezcla a dióxido de carbono.

10 2ª.- Método según la reivindicación 1ª, en el que la cantidad de aire suministrada a dicha primera mezcla está comprendida entre aproximadamente 50 a 90% de la cantidad estequiométrica de aire.

15 3ª.- Método según la reivindicación 1ª, en el que el combustible carbonoso es un combustible sólido y en el que la cantidad de aire suministrado a dicha primera mezcla está comprendida entre aproximadamente 55 y 80% de la cantidad estequiométrica de aire.

20 4ª.- Método según la reivindicación 1ª, en el que el combustible carbonoso es un hidrocarburo líquido o gaseoso y en el que la cantidad de aire suministrada

a dicha primera mezcla es desde aproximadamente 80 a 90% de la cantidad estequiométrica de aire.

5 5^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el que la temperatura de trabajo del catalizador está en el intervalo de aproximadamente 925°C a aproximadamente 1750°C.

10 6^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el que la temperatura de trabajo del catalizador está en el intervalo de aproximadamente 1100°C a aproximadamente 1650°C.

7^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el que al menos una parte de la energía producida por dicho método en calor retirado del efluente gaseoso de la combustión que tiene lugar en presencia del catalizador.

15 8^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el que dicha cantidad adicional de aire incluye al menos suficiente oxígeno libre para completar la combustión a dióxido de carbono y agua de la totalidad de los componentes combustibles del primer efluente gaseoso.

20 9^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el que solamente una parte de dicha segunda mezcla se quema en presencia del catalizador y el resto de dicha segunda mezcla se quema aguas abajo del catalizador, induciéndose y manteniéndose dicha combustión aguas abajo del catalizador por niveles de temperaturas resultantes de la com
25

bustión que tiene lugar en presencia del catalizador.

5 10^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el que solamente una parte de dicha segunda mezcla se que ma en presencia del catalizador y una porción adicional de dicha segunda mezcla se hace pasar en derivación por el catalizador y se quema aguas abajo del catalizador, induciéndose y manteniéndose dicha combustión aguas aba-
10 jo del catalizador por los niveles de temperatura resul-
tantes de la combustión que tiene lugar en presencia del catalizador.

11^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el que una parte del efluente gaseoso de combustión de di-
cho método se mezcla con dicha primera mezcla para recir-
15 cular dicha parte del efluente de combustión final.

12^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el que una parte del efluente gaseoso de combustión final
de dicho método se mezcla con dicha segunda mezcla para
recircular dicha parte del efluente de combustión final.

13^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el
20 que al menos parte de la energía del efluente de combus-
tión final de dicho método se recupera para precalentar
al menos parte del aire suministrado en al menos una de
dichas primera y segunda mezclas.

14^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el
25 que dicha cantidad adicional de aire es suficiente para

oxidar solamente una parte de los componentes combustibles de dicho primer efluente gaseoso a dióxido de carbono y agua, y en el que dicho método comprende las etapas adicionales de: mezclar el efluente gaseoso de la combustión que tiene lugar en presencia de dicho catalizador con una cantidad adicional de aire para formar una tercera mezcla que tiene una temperatura de llama adiabática por encima de la temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla; y quemar al menos una parte de dicha tercera mezcla en presencia de un catalizador de oxidación sólido adicional que trabaja a una temperatura sustancialmente superior a dicha temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla, pero inferior a la temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxidos de nitrógeno, para oxidar al menos una parte de los componentes combustibles de dicha tercera mezcla a dióxido de carbono y agua.

15^a.- Método según la reivindicación 1^a, en el que solamente una parte del primer efluente gaseoso se mezcla con dicha cantidad adicional de aire para formar dicha segunda mezcla, conteniendo dicha cantidad adicional de aire al menos suficiente oxígeno libre para completar la combustión a dióxido de carbono y agua de todos los componentes combustibles en la totalidad del primer efluente

te gaseoso, y en el que dicho método comprende las etapas adicionales de: mezclar el efluente gaseoso de la combustión que tiene lugar en presencia de dicho catalizador con al menos un parte del primer efluente gaseoso no suministrada a dicha segunda mezcla para formar una tercera mezcla que tiene una temperatura de llama adiabática superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla; y quemar al menos una parte de dicha tercera mezcla en presencia de un catalizador de oxidación adicional que trabaja a una temperatura sustancialmente superior a dicha temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla, pero inferior a la temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxido de nitrógeno, para oxidar al menos una parte de los componentes combustibles de dicha tercera mezcla a dióxido de carbono y agua.

16ª.- Método según la reivindicación 1ª, en el que dicho combustible carbonoso se quema para producir calor para la generación de vapor de agua y en el que dicho método comprende las etapas adicionales de: retirar calor del primer efluente gaseoso para generar vapor de agua antes de mezclar dicho efluente con dicha cantidad adicional de aire; y retirar calor del efluente gaseoso de la combustión de dicha segunda mezcla para generar vapor de agua adicional.

17ª.- Método según la reivindicación 1ª, en el que la parte de dicha segunda mezcla, conteniendo dicho primer efluente gaseoso y dicha cantidad adicional de aire, que se suministra al catalizador de oxidación sólido, se quemama en condiciones esencialmente adiabáticas en presencia de dicho catalizador para oxidar al menos una parte del combustible incompletamente quemado en dicha segunda mezcla y producir un efluente gaseoso calentado.

18ª.- Método según la reivindicación 17ª, en el que al menos una parte de la energía producida por dicho método es calor retirado del efluente gaseoso de la combustión que tiene lugar en presencia del catalizador.

19ª.- Método según la reivindicación 17ª, en el que dicha cantidad adicional de aire es suficiente para oxidar solamente una parte de los componentes combustibles de dicho primer efluente gaseoso a dióxido de carbono y agua y en el que dicho método comprende las etapas adicionales de: mezclar el efluente gaseoso de la combustión que tiene lugar en presencia de dicho catalizador con una cantidad adicional de aire para formar una tercera mezcla que tiene una temperatura de llama adiabática superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla; y quemar al menos una parte de dicha tercera mezcla bajo condiciones esencialmente adiabáticas en presencia de un catalizador de oxidación sólido adicional que

trabaja a una temperatura sustancialmente superior a dicha temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla pero inferior a la temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxidos de nitrógeno para oxidar al menos una parte de los componentes combustibles de dicha tercera mezcla a dióxido de carbono y agua.

20.- Método según la reivindicación 17ª, en el que dicho combustible carbonoso se quema para producir calor para la generación de vapor de agua y en el que dicho método comprende además las etapas de: retirar calor del primer efluente gaseoso para generar vapor antes de mezclar dicho efluente con dicha cantidad adicional de aire; y retirar calor del efluente gaseoso de la combustión de dicha segunda mezcla para generar vapor de agua adicional.

21.- Método según la reivindicación 2ª, en el que el primer efluente gaseoso contiene al menos aproximadamente un 10% en volumen de monóxido de carbono, y al menos una parte del primer efluente gaseoso se mezcla con gases inertes y aire adicional para formar dicha segunda mezcla.

22.- Método según la reivindicación 21ª, en el que dicha segunda mezcla tiene una temperatura de llama adiabática en el intervalo de aproximadamente 925°C

a aproximadamente 1.750°C.

23ª.- Método según la reivindicación 21ª,
en el que dicha segunda mezcla tiene una temperatura de
llama adiabática en el intervalo de aproximadamente 1100°C
a aproximadamente 1650°C.

24ª.- Método según la reivindicación 21ª,
en el que el primer efluente gaseoso contiene desde aproxima-
damente 10 a 30% en volumen de monóxido de carbono.

25ª.- Método según la reivindicación 22ª,
en el que dicho aire adicional contiene una cantidad de
oxígeno libre suficiente para oxidar solamente una parte
de los componentes combustibles de dicha segunda mezcla a
dióxido de carbono y agua y en el que dicho método compren-
de las etapas adicionales de: mezclar el efluente gaseoso
de la combustión que tiene lugar en presencia del cataliza-
dor con aire adicional y gases inertes para formar una ter-
cera mezcla que tiene una temperatura de llama adiabática
en el intervalo de aproximadamente 925°C a aproximadamente
1750°C y superior a la temperatura de auto-ignición instan-
tánea de dicha tercera mezcla; y quemar al menos una parte de
dicha tercera mezcla en presencia de un catalizador de oxida-
ción sólido adicional que trabaja a una temperatura sus-
tancialmente superior a dicha temperatura de auto-ignición
instantánea de dicha tercera mezcla pero inferior a la tem-
peratura que daría como resultado la formación sustancial

de óxidos de nitrógeno para oxidar al menos una parte de los componentes combustibles de dicha tercera mezcla a dióxido de carbono y agua.

26ª.- Método según la reivindicación 22ª,
5 en el que solamente una parte del primer efluente gaseoso se mezcla con dicho aire adicional y gases inertes para formar dicha segunda mezcla, conteniendo dicho aire adicional al menos suficiente oxígeno libre para completar la
10 combustión a dióxido de carbono y agua de la totalidad de los componentes combustibles de todo dicho primer efluente gaseoso, y en el que dicho método comprende las etapas adicionales de: mezclar el efluente gaseoso de la combustión que tiene lugar en presencia de dicho catalizador con
15 al menos parte del primer efluente gaseoso no suministrado a dicha segunda mezcla, para formar una tercera mezcla que tiene una temperatura de llama adiabática en el intervalo de aproximadamente 925°C a aproximadamente 1750°C y superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de dicha
20 tercera mezcla; y quemar al menos una parte de dicha tercera mezcla en presencia de un catalizador de oxidación sólido adicional que trabaja a una temperatura sustancialmente superior a dicha temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla pero inferior a la temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxidos de nitrógeno, para oxidar al menos una
25

parte de los componentes combustibles de dicha tercera mezcla a dióxido de carbono y agua.

5 27ª.- Método según la reivindicación 22ª, en el que la parte de dicha segunda mezcla suministrada al catalizador de oxidación sólido se quema en condiciones esencialmente adiabáticas en presencia de dicho catalizador para oxidar al menos una parte del combustible incompletamente quemado en dicha segunda mezcla y producir un efluente gaseoso calentado.

10 28ª.- Método según la reivindicación 27ª, en el que dicho combustible carbonoso se quema para producir calor para la generación de vapor de agua y en el que dicho método comprende adicionalmente las etapas de: retirar calor del primer efluente gaseoso para generar vapor de
15 agua antes de mezclar dicho efluente con dicho aire adicional y gases inertes; y retirar calor del efluente gaseoso de la combustión de dicha segunda mezcla para generar vapor de agua adicional.

20 29ª.- Método según la reivindicación 1ª, en el que se lleva a cabo la etapa adicional de retirar calor del efluente gaseoso de la combustión de dicha segunda mezcla.

25 30ª.- Horno para quemar un combustible carbonoso para producir energía en forma de calor de acuerdo con el método de cualquiera de las reivindicaciones 1ª a

29ª, que comprende: primeros medios de combustión para quemar térmicamente una primera mezcla, formada de combustible carbonoso y una cantidad de aire sustancialmente menor que la necesaria para la combustión completa a dióxido de carbono y agua de la totalidad de los componentes combustibles de dicho combustible, para producir un primer efluente gaseoso que contiene una proporción sustancial de monóxido de carbono; primeros medios de transferencia de calor, asociados a dichos primeros medios de combustión, para retirar calor de dichos primeros medios de combustión; medios para formar una segunda mezcla de dicho primer efluente gaseoso y aire adicional que tiene una temperatura de llama adiabática superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de dicha segunda mezcla; y segundos medios de combustión que incluyen un catalizador de oxidación sólido para quemar al menos una parte de dicha segunda mezcla en presencia de dicho catalizador que trabaja a una temperatura sustancialmente superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de dicha segunda mezcla pero inferior a la temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxidos de nitrógeno, para producir un segundo efluente gaseoso.

31ª.- Horno según la reivindicación 3ª, que comprende además segundos medios de transferencia de calor, asociados a dichos segundos medios de combustión, para retirar calor de dicho segundo efluente gaseoso.

32ª.- Horno según las reivindicaciones 30ª y 31ª, en el que dichos segundos medios de combustión, dicho catalizador de oxidación incluido en ellos, y dichos segundos medios de transferencia de calor asociados a ellos están dispuestos para quemar al menos dicha parte de dicha segunda mezcla bajo condiciones esencialmente adiabáticas.

33ª.- Horno según la reivindicación 30ª, en el que el combustible carbonoso es un combustible sólido y en el que los primeros medios de combustión comprenden: un alojamiento de combustión que tiene una boca de entrada para el combustible sólido, una boca de salida para el residuo sólido, y una boca de salida para el efluente gaseoso por encima de la boca de entrada de combustible y la boca de salida del residuo sólido; medios de transporte para transportar combustible sólido dispuesto sobre ellos a través del alojamiento de combustión desde la boca de entrada de combustible hasta la boca de salida de residuo sólido; y medios de entrada de aire para introducir dicha cantidad de aire en el alojamiento de combustión por debajo de los medios de transporte.

34ª.- Horno según la reivindicación 33ª, en el que dichos medios de entrada de aire comprenden además: una pluralidad de bocas de entrada de aire espaciadas a lo largo de los medios de transporte en el alojamiento de combustión; y medios de distribución de aire para distribuir

una parte predeterminada de dicha cantidad de aire a cada una de dichas bocas de entrada de aire.

5 35ª.- Horno según la reivindicación 30ª, que comprende además medios de intercambio de calor para recuperar algo de la energía térmica del efluente de combustión final de dicho horno para precalentar el aire suministrado a los primeros medios de combustión.

10 36ª.- Horno según la reivindicación 30ª, que comprende además medios de intercambio de calor para recuperar algo de la energía térmica del efluente de combustión final de dicho horno para precalentar el aire suministrado a los medios para formar dicha segunda mezcla.

15 37ª.- Horno según la reivindicación 30ª, que comprende además medios para recircular una parte del efluente de combustión final de dicho horno a los primeros medios de combustión.

20 38ª.- Horno según la reivindicación 37ª, que comprende además medios para mezclar el efluente de combustión final recirculado en una proporción predeterminada con el aire que ha de suministrarse a dicha primera mezcla para la combustión en dichos primeros medios de combustión.

25 39ª.- Horno según la reivindicación 30ª, que comprende además medios para recircular una parte del efluente de combustión final del horno mezclándola en una proporción predeterminada con el aire suministrado a los medios pa

ra formar dicha segunda mezcla.

5 40ª.- Horno según la reivindicación 30ª, en
el que dicha cantidad adicional de aire es suficiente para
oxidar solamente una parte de los componentes combustibles
del primer efluente gaseoso a dióxido de carbono y agua y
en el que dicho horno comprende además: medios para formar
una tercera mezcla de dicho segundo efluente gaseoso y una
cantidad adicional de aire para producir una tercera mezcla
que tiene una temperatura de llama adiabática superior a la
10 temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera
mezcla; terceros medios de combustión que incluyen un cata-
lizador de oxidación sólido adicional para quemar al menos
una parte de dicha tercera mezcla en presencia de dicho ca-
talizador adicional a una temperatura sustancialmente supe-
rior a dicha temperatura de auto-ignición instantánea de di-
15 cha tercera mezcla pero inferior a la temperatura que daría
como resultado la formación sustancial de óxidos de nitróge-
no para producir un tercer efluente gaseoso; y terceros me-
dios de transferencia de calor, asociados a dichos terceros
20 medios de combustión, para retirar calor de dicho tercer
efluente gaseoso.

 41ª.- Horno según la reivindicación 32ª, en
el que dicha cantidad adicional de aire es suficiente para
oxidar solamente una parte de los componentes combustibles
25 del primer efluente gaseoso a dióxido de carbono y agua, y

en el que dicho horno comprende además: medios para formar una tercera mezcla de dicho segundo efluente gaseoso y una cantidad adicional de aire para producir una tercera mezcla que tiene una temperatura de llama adiabática superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla; terceros medios de combustión que incluyen un catalizador de oxidación sólido adicional para quemar al menos una parte de dicha tercera mezcla bajo condiciones esencialmente adiabáticas en presencia de dicho catalizador adicional a una temperatura sustancialmente superior a dicha temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla pero inferior a la temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxido de nitrógeno, para producir un tercer efluente gaseoso; y terceros medios de transferencia de calor, asociados a dichos terceros medios de combustión, para retirar calor de dicho tercer efluente gaseoso.

42ª.- Horno según la reivindicación 30ª, en el que solamente una parte del primer efluente gaseoso se mezcla con dicha cantidad adicional de aire para producir dicha segunda mezcla, siendo dicha cantidad de aire adicional al menos suficiente para la combustión a dióxido de carbono y agua de la totalidad de los componentes combustibles de todo el primer efluente gaseoso y en el que dicho horno comprende además: medios para formar una tercera mezcla de al menos una parte del primer efluente gaseoso no suavis-

trada a dicha segunda mezcla y el segundo efluente gaseoso, teniendo dicha tercera mezcla una temperatura de llama adiabática superior a la temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla; terceros medios de combustión que incluyen un catalizador de oxidación sólido adicional para quemar al menos una parte de dicha tercera mezcla en presencia de dicho catalizador adicional a una temperatura sustancialmente superior a dicha temperatura de auto-ignición instantánea de dicha tercera mezcla pero inferior a la temperatura que daría como resultado la formación sustancial de óxidos de nitrógeno para producir un tercer efluente gaseoso; y terceros medios de transferencia de calor asociados a dichos terceros medios de combustión, para retirar calor de dicho tercer efluente gaseoso.

43ª.- Horno según las reivindicaciones 30ª y 31ª, en el que el combustible carbonoso se quema para producir calor para la generación del vapor de agua y en el que dichos primeros y segundos medios de transferencia de calor están adaptados para retirar calor para la generación de vapor de agua.


44ª.- Método y horno para quemar un combustible carbonoso.

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

Esta Memoria consta de sesenta y ocho hojas
escritas a máquina por una sola cara.

MADRID, 16. ABR 1977

P.A.

Alberto de Elizaburu
Por Poder


12.4.77
CGD.

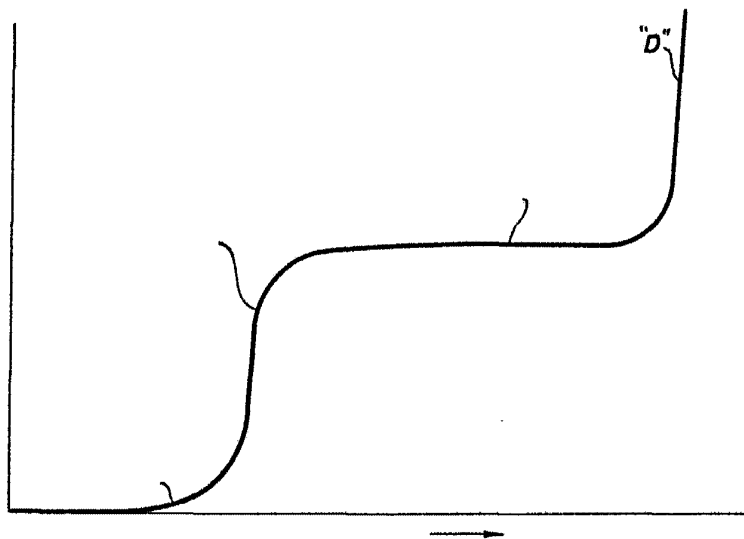


FIG. 1

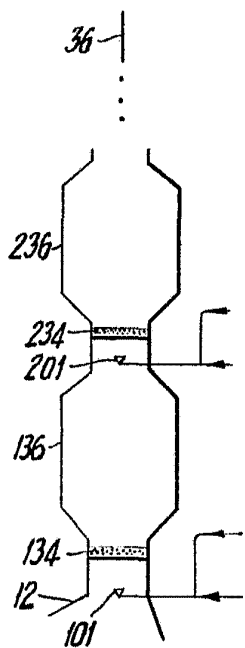


FIG. 3

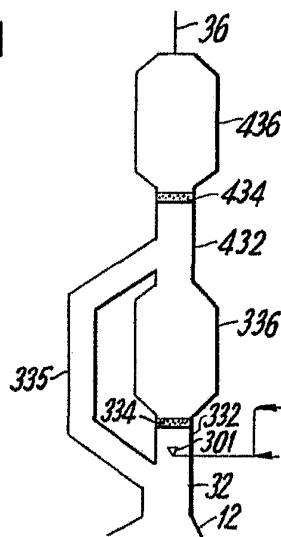


FIG. 4

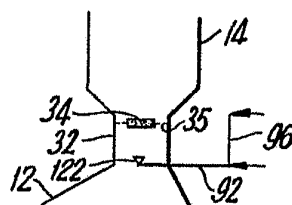
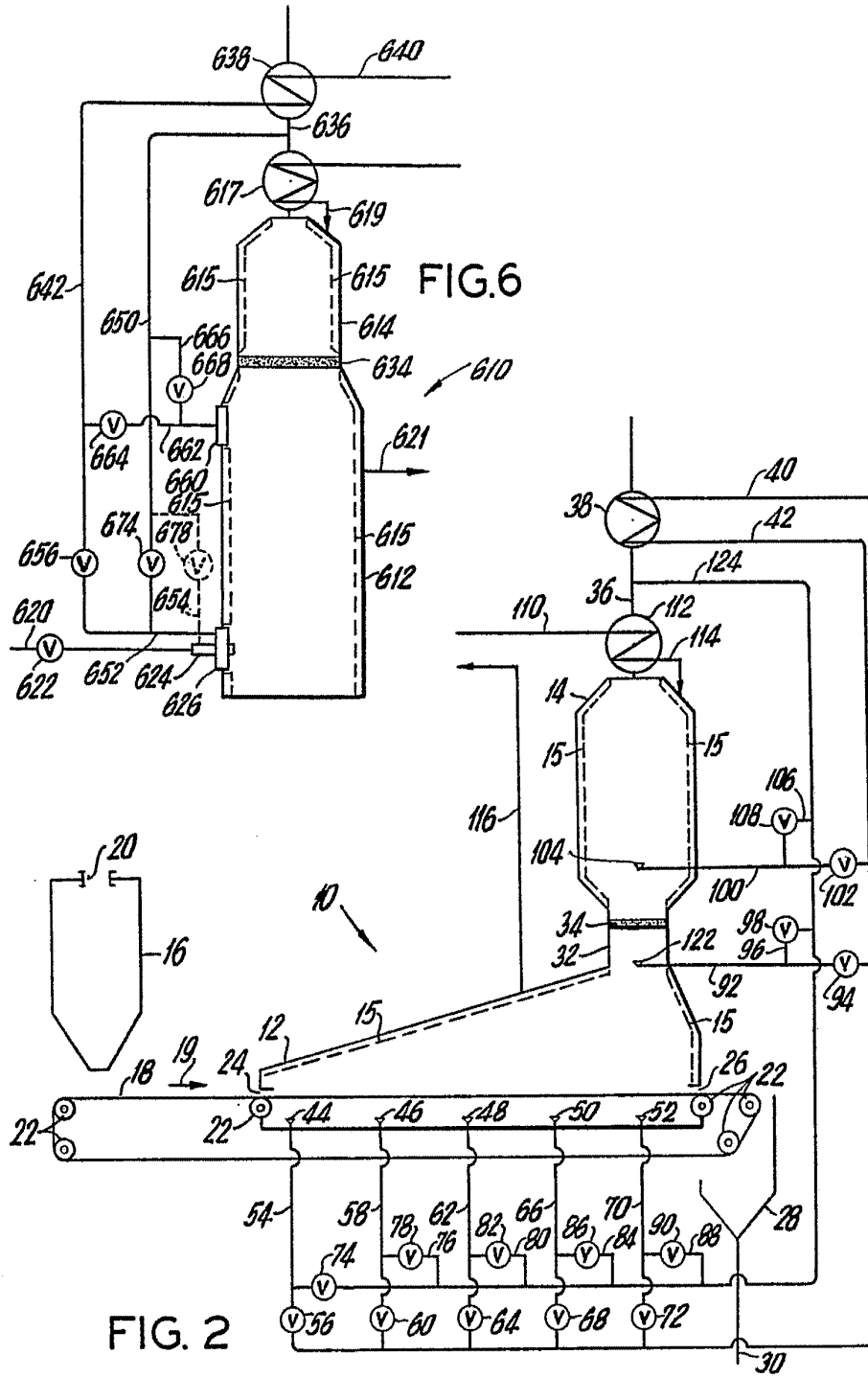


FIG. 5

Alberto Tomas
For Patent



Alberio
[Signature]