



29. APR. 1976

19	ES	11	4474531	10	A1
22	FECHA DE PRESENTACION		29.4.76		

P.- 62.727
ED-9491-SP
Div.

PATENTE DE INVENCION

30	PRIORIDADES:	32	FECHA	33	PAIS
31	NUMERO	10.1.75		EE.UU.	
540.220					

47	FECHA DE PUBLICIDAD	51	CLASIFICACION INTERNACIONAL	62	PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
		B65G; F28C/C10B		444.175	

64 TITULO DE LA INVENCION

"UN SISTEMA DE TRANSPORTE PARA UNA FASE DENSA DE PARTICULAS DE CARBON"

71 SOLICITANTE (S)

UNION CARBIDE CORPORATION

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

270 Park Avenue, Nueva York, Nueva York, 10017, Estados Unidos de America

72 INVENTOR (ES)

Charles William Albright

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE

D. ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ



Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a una mejora en un método y un aparato para calentar indirectamente y/o transportar partículas sólidas carbonosas en un flujo en fase densa a través de conducciones. Más particularmente, esta invención se refiere a una mejora en un procedimiento para hacer reaccionar partículas de carbón en procedimientos de conversión de carbón.

10

Descripción de la técnica anterior

15 Las necesidades crecientes de energía han hecho enfocar la atención en los combustibles fósiles sólidos, debido a su disponibilidad en los Estados Unidos en cantidad relativamente abundante, y su valor potencial si se convierten en formas más útiles de energía y materias primas. Son muy conocidos los procesos tales como la carbonización, carburización hidrogenante y gasificación hidrogenante, en los que se han preparado productos combustibles sintéticos introduciendo una corriente fluidizada de partículas de carbón finamente divididas en una zona de reacción, y haciendo reaccionar las partículas de carbón a temperaturas elevadas en presencia de gases inertes, aire, vapor de agua, oxígeno, hidrógeno o similares. Usualmente se emplean ga-

25



ses fluidizantes tales como aire, nitrógeno, vapor de agua, hidrógeno o similares.

Es deseable precalentar las partículas de carbón en muchos de estos procedimientos antes de que las partículas reaccionen con un reaccionante adecuado a temperatura elevada en la zona de reacción. Hasta ahora, las partículas de carbón se han precalentado directamente por medios tales como poner en contacto las partículas de carbón con grandes cantidades de gases calientes. Este procedimiento se usó porque las partículas de carbón se transportaban por líneas de conducción en flujo en fase diluída en estos procedimientos. "Fase diluída", tal como se emplea en toda la Memoria descriptiva, significa una concentración de sólidos en el gas fluidizante de desde aproximadamente 16 gramos a aproximadamente 32 gramos de sólidos por litro de gas. Sin embargo, las grandes cantidades de gases calientes requerían el empleo de conducciones costosas de grandes diámetros para albergar estos gases. Un grave inconveniente del transporte y el calentamiento de partículas de carbón en flujo en fase diluída era el causado por la alta velocidad requerida en la conducción, que era de más de 22,5 metros por segundo, y que causaba una importante erosión de la conducción. Esta erosión obligaba a usar chapas de desgaste en diversas secciones de la conducción, particularmente en las curvas o codos. Además, como no era de-



seable introducir las grandes cantidades de gases calientes en la zona de reacción juntamente con las partículas de carbón, las partículas de carbón se separaban de los gases inertes de calentamiento por medio de un equipo adecuado, tal como un separador de ciclón.

5

El calentamiento indirecto de una mezcla de carbón-gas que circulaba por las conducciones en fase diluída era antieconómico y poco práctico, a causa de los coeficientes de transmisión de calor, inherentemente bajos, de las líneas de conducción, en flujo en fase diluída, de aproximadamente 0,49 a 0,98 calorías por hora por $^{\circ}\text{C}$ por centímetro cuadrado de superficie interior de la línea de conducción. Como resultado, la transmisión indirecta de calor requería el gasto de mucha energía de calentamiento. Por esta razón, en los procedimientos de conversión de carbón en que se emplea un flujo en fase diluída de partículas de carbón, las operaciones de precalentamiento implicaban en general el contacto directo de las partículas de carbón con tubería metálicas calientes situadas en una zona de precalentamiento o con grandes cantidades de gases inertes calientes.

10

15

20

Albright, Holden, Simons, Schmidt, en Chem. Eng., 56, 103 (1951) han informado sobre la transferencia de partículas de carbón en fase densa empleando un alimentador neumático, y en la patente de los EE.UU. nº 3.337.417 se

25



describe el calentamiento de una corriente de carbón flui
dizado en un gas, en una fase densa, mientras atraviesa un
cambiador de calor tubular inmediatamente antes de la car
burización. No obstante, las líneas de conducción a escala
5 industrial que tienen un diámetro constante en toda su lon
gitud se erosionarían rápidamente si se empleara un flujo
en fase densa de partículas de carbón.

Resumen de la invención

10 Un objeto de esta invención es proporcionar una
mejora en un método y un aparato para transportar y/o ca
lentar indirectamente partículas carbonosas sólidas en un
flujo en fase densa que atraviesa unas líneas de conducción.
15 Otro objeto de esta invención es proporcionar un perfeccio
namiento en un procedimiento para hacer reaccionar partícu
las de carbón en un proceso de carburización, carburización
hidrogenante, gasificación hidrogenante o hidrogenación.
20 Otro objeto más de esta invención es proporcionar un méto
do y un aparato para calentar económicamente partículas de
carbón en un flujo en fase densa, controlando al mismo tiem
po la velocidad de circulación a través de las conducciones.
Un objeto de esta invención es transportar partículas de
25 carbón en un flujo en fase densa a través de líneas de con
ducción, controlando al mismo tiempo la velocidad de cir-



culación a través de las conducciones.

Esta invención se basa en el descubrimiento de que, en el método y el aparato para transportar una corriente fluidizada de partículas de carbón en una fase densa, la erosión en el interior de la línea de conducción puede reducirse sustancialmente por aumentos progresivos, a intervalos previamente determinados, del tamaño de la conducción, siendo cada aumento de la conducción de una cantidad predefinida suficiente para compensar la expansión de la fase gaseosa dentro de la conducción, causada por una mayor temperatura o una menor presión.

"Fase densa", tal como se emplea en toda la Memoria descriptiva, quiere decir una concentración de sólidos en el gas fluidizante de desde aproximadamente 80 gramos a aproximadamente 720 gramos de sólidos por litro de gas, y más típicamente de aproximadamente 240 gramos a aproximadamente 640 gramos por litro de gas. La erosión de las conducciones en los sistemas neumáticos aumenta en general rápidamente al aumentar la velocidad de circulación a través de las conducciones, típicamente con aproximadamente la cuarta potencia de la velocidad de paso. Sin embargo, se ha descubierto, según esta invención, que el método y el aparato para transportar una corriente fluidizada de partículas de carbón en una fase densa pueden mejorarse por aumento progresivo del tamaño de la línea de conducción, en can



tidades predeterminadas y a intervalos previamente fijados de la longitud de la línea de conducción, para controlar la velocidad de la corriente por debajo de una velocidad a la que la erosión de la conducción es ya importante.

5 Empleando el método y el aparato mejorados de esta invención, pueden precalentarse indirectamente partículas de carbón, en un flujo en fase densa que atraviesa una línea de conducción, hasta una cierta temperatura, sin erosión importante en la línea de conducción o transporte.

10 "Transformación plástica", tal como se usa en toda la Memoria descriptiva, quiere decir un procedimiento en el que las superficies de las partículas de carbón que se calientan, particularmente cuando se calientan en una atmósfera de hidrógeno, adquieren pegajosidad y se transforman en superficies no pegajosas de escoria sustancialmente sólida.

15 La transformación plástica la experimentan tanto los carbones que se aglomeran normalmente como los carbones que adquieren una superficie pegajosa sólo en una atmósfera rica en hidrógeno.

20 Las partículas de carbón empiezan a hacerse pegajosas a temperaturas en el intervalo de aproximadamente 350°C a unos 500°C, según las propiedades específicas del carbón, la atmósfera y la velocidad de calentamiento. La pegajosidad se debe a un material similar a un plástico o alquitranoso que se forma en la superficie, o cerca de ella,

25



de cada partícula de carbón, por un proceso de fusión o descomposición parcial. Por calentamiento adicional durante cierto período de tiempo, el material simil-plástico o alquitranoso se transforma en un material sólido sustancialmente poroso, denominado "escoria" de carbón. La duración de este período de tiempo, generalmente del orden de minutos, depende de la temperatura real de calentamiento, y es más corto al aumentar la temperatura.

Empleando el método y el aparato mejorados de esta invención, pueden precalentarse indirectamente partículas de carbón en un flujo en fase densa, hasta una temperatura de entre unos 250°C y unos 420°C, siempre que, a una temperatura por encima de aproximadamente 350°C, el tiempo de precalentamiento a esa temperatura sea lo bastante corto para evitar la aglomeración de las partículas de carbón. Esto puede conseguirse ventajosamente sometiendo un flujo en fase densa de partículas de carbón a un medio de transmisión indirecta de calor. Por ejemplo, las partículas de carbón pueden calentarse hasta la temperatura deseada transportándolas a través de un cambiador de calor tubular, aumentándose progresivamente el tamaño de los tubos o conducciones, a través de las cuales fluye la corriente de partículas de carbón, en segmentos previamente determinados de superficie uniforme en su sección perpendicular. Esto controla el caudal de la fase densa por debajo de una velo



cidad de la corriente previamente determinada, a la que la erosión de las conducciones es importante.

El calentamiento indirecto de un flujo de partículas de carbón en fase densa según esta invención, aporta las siguientes ventajas: la cantidad de partículas de carbón transportadas y calentadas por unidad de superficie de sección perpendicular de la línea de conducción no sólo es muy superior a la obtenible en flujo en fase diluída, sino que también requiere menos energía. Un litro de gas transporta 15 a 30 veces más partículas de carbón en flujo en fase densa que en flujo en fase diluída. El uso de una cantidad comparativamente pequeña de gas transportador en un flujo en fase densa puede ser extremadamente ventajoso corriente abajo, si, por ejemplo, se usa como gas transportador gas de combustión o gases nitrogenados de un procedimiento de conversión de carbón, tal como la carburización hidrogenante. Las cantidades grandes de gas transportador distinto de un gas rico en hidrógeno o de gas de recirculación son indeseables en una zona de carbonización hidrogenante en lecho fluidizado, y tienen que separarse de las partículas de carbón antes de entrar en la zona de reacción, por medio de un equipo adecuado, tal como un separador ciclónico o similar.

Además, si se desea tal separación en fase densa, las partículas de carbón se separan más fácilmente del



gas transportador antes de entrar en una zona de reacción en lecho flúido, tal como una zona de carbonización hidrogenante. Además, las necesidades de energía son intrínsecamente menores en un flujo en fase densa, debido a las menores velocidades de gas portador. En un flujo en fase diluída, la velocidad lineal del gas transportador está generalmente entre 15 y 30 metros por segundo para evitar que las partículas de carbón arrastradas se depositen en las líneas de conducción. Sin embargo, en el flujo en fase densa, la velocidad lineal de los gases transportadores puede ser de solo unos 4,5 metros por segundo, y puede mantenerse un flujo estable y regular en las líneas de transporte.

La velocidad de una corriente de partículas de carbón fluidizadas en un flujo en fase densa a través de una conducción de diámetro o superficie de sección perpendicular constante aumenta de acuerdo con la expansión del gas fluidizante. La expansión del gas dentro de la conducción es el resultado de una pérdida de carga y/o un aumento de temperatura de la corriente que circula por la conducción. Cuando una corriente fluidizada de partículas de carbón en fase densa se transporta a través de la conducción, hay una pérdida continua de presión a temperatura ambiente para una longitud dada de conducción. Un aumento de temperatura en la conducción, tal como sucede durante el calentamiento de



la corriente fluidizada de partículas de carbón en uno de los aspectos del método mejorado de esta invención, expande más el gas y aumenta la velocidad en la conducción, pero generalmente es más importante la influencia de la pérdida de carga en la velocidad existente en la conducción.

5 Se ha encontrado que, empleando el método de la pérdida de carga global, usando una ecuación de Fanning modificada para flujo estacionario en tuberías circulares uniformes que trabajan llenas de agua en condiciones isotérmicas, como se describe en el Chemical Engineers' Handbook, de Perry, 3ª edición, 1950, páginas 377 y 382, en conjunción
10 con una ecuación obtenida empíricamente aplicable al transporte en fase densa de partículas de carbón, la pérdida de carga en el transporte de un flujo en fase densa de partículas de carbón a través de una conducción de longitud pre-
15 determinada puede calcularse, y por lo tanto puede calcularse la velocidad a la que se acelera la fase densa. Al revés, cuando se emplea la ecuación empírica anteriormente mencionada y se da una velocidad final, puede calcularse la longitud de línea de conducción que se requiere para alcanzar
20 esta velocidad.

La velocidad de la corriente fluidizada de partículas de carbón que se transporta a través de al menos una línea de conducción se regula de modo que la erosión de la
25 línea de conducción se minimice. Se ha encontrado que debe



mantenerse una velocidad de circulación inferior a aproximadamente 18 metros por segundo, y se prefiere una velocidad de entre aproximadamente 4,5 metros por segundo y aproximadamente 18 metros por segundo. Un flujo en fase densa de partículas de carbón a una velocidad de la corriente de más de unos 18 metros por segundo en toda la línea de conducción habría requerido chapas de desgaste instaladas en todas las líneas de conducción, para controlar, en caso contrario, la alta velocidad de erosión de la conducción, chapas de desgaste que son un gasto indeseable.

Sin embargo, según el método y el aparato de la presente invención, se emplea al menos una línea de conducción, que comprende al menos una pluralidad, y preferiblemente una multiplicidad de secciones empalmadas sucesivas y alineadas en serie, teniendo cada sección un área de sección transversal o perpendicular uniforme. Además, el diámetro de la sección transversal de cada sección sucesiva aumenta progresivamente en una cantidad previamente determinada. La velocidad de la corriente fluidizada de partículas de carbón que entra en cada sección de sección transversal uniforme se disminuye a una velocidad de entrada previamente determinada. La longitud de cada sección de área uniforme de la sección transversal se selecciona de modo que la corriente fluidizada de partículas de carbón sale de cada sección a una velocidad de salida previamente determinada.



La segunda velocidad predeterminada es mayor que la primera velocidad predeterminada citada, e inferior a una velocidad de la corriente a la que la erosión de la línea es importante. Es preferible que la velocidad de entrada previamente fijada esté entre aproximadamente 4,5 metros por segundo y unos 15 metros por segundo, y que la velocidad de salida previamente determinada esté entre aproximadamente 15 metros por segundo y unos 18 metros por segundo. Más preferiblemente, la velocidad de entrada previamente fijada está entre unos 4,5 metros por segundo y unos 6 metros por segundo, y la velocidad de salida previamente fijada está entre unos 15 metros por segundo y unos 18 metros por segundo. Del modo más preferible, la velocidad de entrada previamente fijada es de unos 6 metros por segundo, y la velocidad de salida fijada previamente es de unos 18 metros por segundo. Empleando estas velocidades, se minimiza la erosión de la línea de conducción.

Las secciones empalmadas sucesivas y alineadas en serie que comprende la línea de conducción empleada en esta invención están separadas por secciones de transición. Cada sección de transición tiene una superficie variable de la sección transversal, que aumenta linealmente en una proporción prefijada. Tal aumento de la superficie de la sección transversal hace que disminuya la velocidad a la que la corriente de partículas de carbón entra en la sección de



transición, hasta una velocidad prefijada a la que la corriente sale de la sección de transición. Como la sección de transición está interpuesta entre dos secciones de superficie uniforme de la sección transversal, la corriente de partículas de carbón sale de una sección de superficie uniforme de sección transversal empalmada con la sección de transición, y entra en la sección de transición a la velocidad de salida previamente fijada. Además, la corriente de partículas de carbón sale de la sección de transición y entra en la otra sección de sección transversal uniforme empalmada con esa sección de transición a la velocidad de entrada previamente fijada. La superficie de sección transversal variable de la sección de transición se aumenta en una proporción prefijada suficiente para disminuir la velocidad de salida fijada previamente hasta la velocidad de entrada previamente determinada. De este modo, la corriente de partículas de carbón entra en cada sección de superficie de sección transversal uniforme sucesivamente mayor a la velocidad de entrada previamente fijada.

En el transporte de una corriente en fase densa de partículas de carbón a través de al menos una línea de conducción, el método de la presente invención, en cada una de las secciones de transición interpuestas entre secciones empalmadas sucesivas de superficie de sección transversal uniforme progresivamente aumentada, disminuye la ve



locidad de la corriente de partículas que salen de cada sección de superficie uniforme de la sección transversal, desde una velocidad de salida previamente fijada hasta una velocidad de entrada determinada de antemano. Esto se consigue aumentando la superficie de la sección transversal de la conducción en una proporción predeterminada. Se ha encontrado también que, según la presente invención, la longitud de cada sección sucesiva de línea de conducción que tiene una superficie de sección transversal progresivamente mayor, puede seleccionarse, cuando se encuentran diferencias de temperatura y presión, según la siguiente ecuación obtenida empíricamente:

$$\Delta P/L = 30,46 D^{0,5} G^{1,85}$$

donde $\Delta P/L$ es la pérdida de carga por metro de línea de conducción, en kg/cm^2 por metro; D es el diámetro interior de la línea de conducción medido en metros, y G es la velocidad másica medida en millones de kilogramos por hora por metro cuadrado.

Usando esta ecuación en conjunción con el método aproximado de la pérdida de carga global, que proporciona un punto de arranque aproximado para los cálculos, puede calcularse la pérdida de carga en una sección de línea de conducción que tiene una superficie uniforme de su sec-



ción transversal. Se ha encontrado que la pérdida de carga encontrada en el calentamiento y el transporte de partículas de carbón en una fase densa estaba relacionada con el transporte de agua a temperatura ambiente por un factor constante de 1,4. Por ejemplo, usando la ecuación de Fanning citada anteriormente, se puede calcular fácilmente la pérdida de carga para transportar un peso equivalente de agua. Multiplicando después esta pérdida de carga por el factor 1,4, se determina la pérdida de carga aproximada para el transporte de un peso equivalente de partículas de carbón en fase densa. Empleando el método de la pérdida de carga global y la ecuación obtenida empíricamente descrita anteriormente, puede calcularse la longitud de línea de conducción de una superficie de sección transversal uniforme prefijada requerida para regular la velocidad de salida de una corriente de partículas de carbón en fase densa a través de la línea de conducción. Ha de entenderse que es conveniente emplear el método de pérdida de carga aproximada global, en conjunción con la ecuación obtenida empíricamente de esta invención, para facilitar la rapidez de los cálculos, pero no es esencial.

Se ha descubierto que un aumento de temperatura durante la transmisión de calor a la corriente circulante de carbón en fase densa en la línea de conducción tiene un efecto despreciable en la pérdida de carga a través de



una longitud dada de conducción. Sin embargo, la expansión del gas transportador, a causa de la mayor temperatura, tiene un gran efecto en la velocidad de la corriente en la conducción. Por ello, en condiciones de calentamiento, preferiblemente un calentamiento indirecto de la corriente en fase densa de partículas de carbón hasta una temperatura deseada, la longitud de cada sección de superficie de sección transversal o diámetro uniforme progresivamente mayor es generalmente menor que lo que sería en un transporte en fase densa de las partículas de carbón a temperatura ambiente. Esto requiere secciones de transición a intervalos más cortos para controlar la velocidad de la corriente.

De aquí que, en condiciones de transmisión de calor, la longitud de cada sección empalmada sucesivamente de superficie de sección transversal o diámetro uniforme progresivamente mayor que se requiere para impedir que la velocidad de la corriente que atraviesa esta sección exceda de una velocidad de salida prefijada, implique cálculos que tengan en cuenta tanto la pérdida de carga en la conducción como la mayor temperatura de la corriente de partículas de carbón. El aumento de volumen del gas transportador debido a la elevación de temperatura de la corriente circulante tiene que calcularse y superponerse al aumento de volumen de gas transportador debido a la pérdida de carga en la conducción. Esta expansión del gas transportador en la corriente



circulante, debida a una elevación de temperatura, se calcula aplicando principios muy conocidos de transmisión de calor.

5 Se ha encontrado que el coeficiente de transmisión de calor de la corriente de carbón circulante en fase densa, h_c , es una constante $16,7 \text{ cal/h.m}^2.\text{°C}$. Por lo tanto, el coeficiente de transmisión global de calor, U (expresado en unidades de $\text{cal/h.m}^2.\text{°C}$) puede calcularse con base en los conocidos principios de transmisión de calor, descritos, 10 por ejemplo, en el Chemical Engineers' Handbook, de Perry, 3ª edición, 1950, en la pág. 465 y sig., independientemente del medio de calentamiento del exterior de la línea de conducción, o de los materiales que comprende la línea de conducción.

15 Por ejemplo, puede emplearse la relación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_g + h_r^g + h_r^m + h_c} \quad \text{en el cálculo de la expansión del gas transportador debida a una elevación de temperatura, de}$$

20 dependiendo los valores de las variables, en parte, del tipo de conducción y del medio de calentamiento empleado, siendo:

U = Coeficiente global de transmisión de calor, cal. por hora por metro cuadrado por °C ,

h_g = coeficiente de película del gas, cal. por hora por metro cuadrado por °C ,

25



h_r^g = coeficiente de radiación del gas a la conducción, cal. por hora por metro cuadrado por $^{\circ}\text{C}$,

h_r^m = coeficiente de radiación de la capa laminar a la conducción, cal. por hora por metro cuadrado por $^{\circ}\text{C}$,

h_c = coeficiente de película de carbón, cal. por hora por metro cuadrado por $^{\circ}\text{C}$.

En muchos casos, la resistencia principal a la transmisión de calor es h_c . Por lo tanto, en tales casos pueden despreciarse otras resistencias y emplearse h_c para calcular la transmisión de calor.

Según esta invención, un flujo en fase densa de partículas se calienta por medios indirectos de transmisión hasta una temperatura inferior a la temperatura mínima para reblandecer el material o al intervalo para que haya una reacción importante, en ausencia sustancial de oxígeno. Por ejemplo, una fase densa de partículas de carbón puede circular a través de al menos una línea de conducción, preferiblemente a través de una pluralidad, y más preferiblemente a través de una multiplicidad de líneas paralelas de conducción, que están calentadas exteriormente. Se ha encontrado que el coeficiente de transmisión de calor interior de cada línea de conducción se aproxima al encontrado en la transmisión de calor a través de las paredes de un lecho fluidizado, de aproximadamente 9,8 a aproximadamente 19,6 calorías por hora por



metro cuadrado de superficie interior por $^{\circ}\text{C}$. Las líneas de
conducción calentadas exteriormente, a través de las cuales
pasan las partículas de carbón, han de calentarse hasta una
temperatura prefijada suficiente para elevar la temperatura
5 de la fase densa de partículas de carbón a entre unos 250°C
y aproximadamente 420°C al salir de las líneas de conducción
calentadas exteriormente.

El precalentamiento es deseable en muchos proce
sos de conversión de carbón. Por ejemplo, en un proceso de
10 carburización hidrogenante, el objeto del precalentamiento
de las partículas de carbón es satisfacer parcialmente la de
manda de entalpía de la reacción de carburización hidrogenan
te. Se suministra calor adicional por el calor requerido pa
ra elevar la temperatura del carbón y del gas de proceso,
15 desde su valor inicial hasta la temperatura de reacción, más
las pequeñas pérdidas de calor. La temperatura real a la que
hay que precalentar el carbón introducido es, por lo tanto,
función del calor previo añadido al proceso, y en el caso
extremo puede ser la temperatura ambiente, es decir, un pre
20 calentamiento cero. Estas y otras ventajas se harán más cla
ras en la descripción de la invención en detalle, en rela
ción con los dibujos anexos.

La Figura 1 representa una vista semiesquemática
ca de una disposición de un aparato adecuado para realizar
25 el método de esta invención.



La Figura 2 representa una vista en corte desde un extremo de un precalentador 300 adecuado para efectuar el método de esta invención.

5 La Figura 3 representa una vista en corte lateral en forma esquemática del precalentador 300 ilustrado en la Figura 2.

Según el método de esta invención, el carbón de alimentación está en forma pulverizada, habiéndose triturado, molido, pulverizado o similar hasta un tamaño más fino de aproximadamente 2,38 mm, y preferiblemente más fino de 10 aproximadamente 841 micras. Además, aunque el carbón de alimentación puede contener agua absorbida, preferiblemente está exento de humedad superficial. Las partículas de carbón que cumplen estas condiciones se denominan aquí "fluidizable". 15 Cualquier cantidad de este agua absorbida se vaporizará durante el precalentamiento. Además, cualquier cantidad de este agua absorbida ha de incluirse como parte del gas inerte de transporte, y no ha de estar en tan grandes cantidades que de más gas transportador del requerido.

20 Cada uno de los recipientes 100 y 200 de suministro de carbón puede contener un lecho de partículas de carbón de tamaño fluidizable que se emplean en el proceso. El recipiente 100 de suministro de carbón es típicamente una tolva-esclusa a presión esencialmente atmosférica. El recipiente 25 200 de suministro de carbón es típicamente una tol-



va-esclusa en la que puede aplicarse presión al carbón fluidizado con gas del proceso u otros gases de fluidización que se deseen.

5 El funcionamiento de los recipientes 100, 200 y 250 pueden ilustrarse describiendo un ciclo típico. Con las válvulas 160 y 220 cerradas, la tolva de esclusa 200 se carga hasta una profundidad prefijada con carbón de la tolva de esclusa 100, a través de la válvula 140 abierta y la conducción 120, a presión esencialmente atmosférica. Después, 10 cerradas las válvulas 140 y 220, se aplica presión a la tolva-esclusa 200, hasta un valor de presión prefijado por encima de la presión del sistema de reacción, a través de la válvula 160 abierta y la conducción 180. Las válvulas 140 y 160 se cierran después y se introduce carbón en el recipiente alimentador fluidizado 250, abriendo la válvula 220 y la 15 conducción 210. Después se repite el ciclo alrededor de la tolva de esclusa 200. Un tiempo típico de este ciclo es de aproximadamente 10 a 30 minutos. Con la válvula 220 cerrada, se introduce carbón fluidizado a una velocidad prefijada, a través de la conducción 280, en las unidades de tratamiento de corriente abajo. 20

Son posibles, naturalmente, otras variaciones del ciclo de alimentación al alimentador fluidizado, pero no se ilustran aquí porque no constituyen las operaciones 25 objeto de la invención. Por ejemplo, la tolva de esclusa pue



de sustituirse por una bomba de sólidos, tal como la descrita en la Patente de los EE.UU. nº 3.400.985. Usando una bomba de sólidos, el carbón puede ponerse a presión con un gas transportador adecuado, tal como gas de reciclaje de una zona de reacción, o hidrógeno de relleno, e introducirse intermitentemente en un recipiente de presión, tal como el alimentador fluidizado 250.

En el alimentador fluidizado 250, un gas fluidizante atraviesa la conducción 260, a velocidad baja suficiente para arrastrar el carbón fluidizable y transportarlo en un flujo en fase densa por la conducción 280 y llevarlo al fondo del precalentador de carbón 300, o directamente a la conducción 320 si no se requiere precalentamiento. Alternativamente, podría añadirse más gas por la conducción 270 a la conducción 280, para ayudar a transportar el flujo en fase densa de carbón. Como gas fluidizante puede usarse cualquier gas no oxidante, por ej. combustible gaseoso, nitrógeno, hidrógeno, vapor de agua o similar. Sin embargo, en general es preferible usar un producto gaseoso de la reacción o de reciclaje de un proceso de conversión de carbón.

El precalentador de carbón 300 es un medio de precalentar rápidamente, cuando es deseable, las partículas de carbón finamente divididas, en estado fluidizado, hasta una temperatura inferior a la mínima temperatura de reblandecimiento o intervalo de reacción importante, en ausencia



sustancial de oxígeno. La temperatura máxima de calentamiento permisible está en el intervalo de aproximadamente 300°C hasta aproximadamente 420°C. La corriente de carbón fluidizado por gas en fase densa se calienta al pasar rápidamente a través del calentador, que tiene una proporción favorable de superficie de calentamiento a volumen interior. El carbón se calienta en el calentador 300 hasta la temperatura deseada por cualquier medio conveniente de cambio indirecto de calor, por ej. por medio de calor radiante o un gas de combustión caliente, tal como se muestra en la Figura 1 entrando en el fondo del calentador 300 por la conducción 290, y saliendo por la parte superior del calentador 300 por la conducción 310.

La temperatura a la que puede precalentarse el carbón está relacionada con la cantidad de calor sensible que ha de añadirse para que pueda funcionar adiabáticamente un reactor empleado en un proceso de conversión de carbón. El límite superior está determinado por la temperatura a la que el carbón empieza a reblandecerse y se hace pegajoso, o la temperatura a la que tiene lugar una volatilización importante. Esto depende de las propiedades de la alimentación particular de carbón, pero en general puede esperarse un límite superior de entre unos 300°C y unos 420°C.

Se muestra que las partículas de carbón en fase densa, tras salir del precalentador 300 por la conducción



320, entran en el recipiente 400. En general, es preferible que las partículas de carbón se transporten directamente a una zona de reacción en un proceso de conversión de carbón, de modo que el recipiente 400 puede representar un recipiente de reacción o una tolva de esclusa empleados para almacenamiento intermedio antes de la reacción en la zona de reacción de un reactor de conversión de carbón (que no se muestra).

En la Figura 2, las partículas de carbón en un flujo en fase densa entran en el cambiador tubular de calor 300 por la entrada 50 a través de la sección de la línea 1 que es un tramo recto largo de superficie o diámetro uniformes en su sección transversal. De la sección de conducción 1, la corriente de partículas de carbón fluye a través de las secciones de conducción 2-13 en sucesión, teniendo cada sección de la conducción un diámetro o tamaño equivalente y uniforme y aproximadamente una longitud equivalente. Se usan preferiblemente codos de radio grande o extra-grande para los retornos de 180 grados, de modo que el flujo a través de los codos es esencialmente equivalente al existente en un tramo recto de conducción. Esto minimiza la erosión de la conducción.

De la sección de conducción 13, las partículas atraviesan la sección de transición 55, y entran en la sección de conducción 14, cuyo diámetro es mayor que el de las



secciones 1-13. La corriente de partículas de carbón se transporta por las secciones sucesivas de conducción 14-21, teniendo cada una de estas secciones de la conducción longitudes aproximadamente equivalentes y diámetros equivalentes y uniformes. Se emplean codos o curvas con radios grandes o preferiblemente extra-grandes para los codos de 180 grados, de la misma manera descrita antes para las secciones de conducción 1-13. La sección 13 está empalmada con la sección de conducción 14, de mayor tamaño, por medio de una sección de conducción de transición 55, cuyo diámetro aumenta linealmente de modo gradual hasta el tamaño de la sección 14. En general, es deseable aumentar hasta al menos un tamaño de conducción mayor que el tamaño anterior empleado cuando se aumenta el tamaño de la conducción según esta invención.

Desde la sección de conducción 21, la corriente de partículas de carbón en un flujo en fase densa atraviesa la sección de conducción 56 de transición y entra en la sección 22, cuyo diámetro es mayor que el de las secciones 14-21. La corriente de partículas de carbón se transporta por las secciones de conducción 22-26 sucesivas, y salen del cambiador de calor 300 por la conducción 26 a la salida 60. Las conducciones 22-26 tienen diámetros equivalentes y uniformes, y se muestran con longitud variable.

A medida que la corriente de partículas de carbón



bón pasa a través de las secciones de conducción 1-26 que se están calentando exteriormente, la fase densa se precalienta hasta el intervalo de temperatura deseado. Aunque sólo se muestran tres aumentos del tamaño de la conducción, pueden ser deseables varios aumentos del tamaño de la misma, y se prefiere una multiplicidad de aumentos del tamaño de la conducción. Además, aunque sólo se ilustra una conducción, el objeto de esta invención incluye el uso de una pluralidad o multiplicidad de tales conducciones, expandiéndose cada conducción sucesivamente a intervalos, como se ilustra en la Figura 2.

Cada línea de conducción comprende una pluralidad de secciones empalmadas sucesivas y alineadas en serie, 1-13, 14-21 y 22-26 teniendo cada una de estas tres secciones una superficie o un diámetro de sección transversal uniforme, como se ilustra en la Figura 2. Estas tres secciones que tienen una superficie de sección transversal uniforme están separadas por secciones de transición 55 y 56, cada una de ellas con un diámetro variable que aumenta linealmente en una cantidad prefijada en cuanto a la superficie de su sección transversal. Se selecciona un segmento de cada sección sucesiva de superficie de sección transversal uniforme, de tal modo que la corriente de partículas de carbón que se están calentando sale de cada sección sucesiva a una velocidad de salida prefijada, que es inferior a la velocidad



1576

a la que hay una erosión importante. Cada sección de transición disminuye esta velocidad de salida prefijada hasta una velocidad de entrada prefijada para cada sección sucesiva de superficie uniforme de la sección transversal que está empalmada con ella.

5

Por lo tanto, la longitud de la primera sección de superficie de sección transversal uniforme, ilustrada como 1-13 en la Figura 2, ha de ser suficiente para regular la velocidad de la corriente de partículas de carbón que se están calentando por debajo de una velocidad de salida prefijada. A medida que la corriente atraviesa la sección de transición 55, la velocidad de salida prefijada se reduce hasta la velocidad de entrada prefijada, y entra en la segunda sección de superficie de sección transversal uniforme, 14-21, que tiene una superficie de sección transversal mayor que la primera sección, 1-13.

10

15

La segunda sección de superficie uniforme de sección transversal ha de tener una longitud suficiente para mantener la velocidad de la corriente por debajo de la velocidad de salida prefijada a la que la corriente de partículas de carbón sale de la segunda sección y entra en la sección de transición 56. La sección de transición 56 actúa reduciendo la velocidad de salida predeterminada de la corriente de partículas de carbón hasta la velocidad de entrada prefijada a la que la corriente entra en la tercera

20

25



sección, 22-26. La tercera sección ilustrada en la Figura 2 tiene una superficie de sección transversal uniforme que es mayor que la superficie de la sección transversal de la segunda sección de la línea de conducción.

5 La temperatura a la que la corriente de partículas de carbón se calienta en cada sección de la línea de conducción se calcula por separado, ya que dependen, en parte, de la superficie disponible para la transmisión de calor. La suma de las adiciones de los cálculos separados ha de alcanzar la temperatura de precalentamiento deseada, de
10 entre aproximadamente 280°C y unos 480°C. La longitud de la tercera sección de conducción de superficie de sección transversal uniforme, 22-26, puede no tener que ser la máxima longitud posible para regular aún la velocidad de la corriente
15 por debajo de la velocidad de salida prefijada. Cuando se alcanza la temperatura de precalentamiento final deseada, la longitud de conducción que está siendo calentada puede ser menor que la permisible antes de que la corriente alcance la velocidad de salida prefijada, porque si se calentara una longitud más larga de conducción la corriente de
20 partículas de carbón se sobrecalentaría. Por ello, la longitud total de línea de conducción requerida para precalentar la corriente de partículas de carbón hasta una temperatura final deseada puede prefijarse, así como el número de aumentos de tamaño de la conducción y las longitudes de cada sec
25



1976

ción de conducción de superficie de sección transversal uni
forme progresivamente aumentada.

5 Será evidente también que el aumento progresi-
vo de tamaño de conducción, a medida que la corriente de par-
tículas de carbón atraviesa la conducción ilustrada en un
cambiador de calor, ilustra también el tipo de aumento de ta-
10 maño de la conducción empleado en esta invención en el trans-
porte general en fase densa de carbón cuando las pérdidas de
carga a través de la conducción elevan la velocidad de la co-
rriente hasta un nivel en el que la erosión de la conducción
se haría importante. Además, cuando se transportan partícu-
las de carbón en un flujo en fase densa, puede ser deseable,
15 en general, emplear una pluralidad o incluso una multiplici-
dad de conducciones separadas. Cada conducción ha de aumen-
tarse progresivamente del modo descrito anteriormente según
el método de esta invención, para evitar una erosión impor-
tante de la conducción.

20 El material particular que comprende la conduc-
ción de transporte empleado en esta invención, en el que se
maneja una corriente fluidizada de partículas de carbón en
una fase densa, no es crítico. Son preferibles los metales
y materiales no metálicos que tienen conductividad térmica
y que son utilizables a las temperaturas empleadas, pero pue-
den emplearse otros materiales, tales como los cerámicos,
25 pero si son no conductores tendrían influencia en el coefi-



ciente global de transmisión de calor.

En la Figura 3 se ilustran las secciones de transición 55 y 56 interpuestas entre las secciones de conducción A y B, y B y C, respectivamente. En la Figura 3, las partículas de carbón en un flujo en fase densa entran en el cambiador de calor tubular 300 por la entrada 50, a través de la sección de conducción A que tiene una superficie de sección transversal uniforme, y corresponde a las secciones de conducción 1-13 de la Figura 2. De la sección de conducción A, la corriente de partículas de carbón atraviesa la sección de transición 55 y entra en la sección de conducción B, que tiene un diámetro mayor que el de la sección de conducción A. La superficie o el diámetro de la sección transversal de la sección de conducción de transición 55 se ilustra aumentada linealmente desde el tamaño de la sección de conducción A, en una cantidad prefijada, hasta el mayor tamaño de la sección de conducción B. La pendiente del aumento lineal se ilustra como θ , un ángulo de 20° . Puede seleccionarse una pendiente de entre unos 7° y unos 30° para minimizar la erosión y la pérdida de carga en la conducción, y preferiblemente entre unos 7° y unos 15° , y más preferiblemente entre unos 7° y unos 10° .

Desde la sección de conducción B, que corresponde a las secciones de conducción 14-21 de la Figura 2, la corriente de partículas de carbón, en un flujo en fase den



sa, atraviesa la sección de conducción de transición 56 y entra en la sección de conducción C, cuyo diámetro es mayor que el de la sección de conducción B. La sección de conducción C corresponde a las secciones de conducción 22-26 de la Figura 2. El área o el diámetro de la sección transversal de la sección de transición 56 está ilustrada como aumentada linealmente desde el tamaño de la sección de conducción B, en una proporción prefijada, hasta el tamaño, mayor, de la sección de conducción C. La pendiente del aumento lineal se ilustra también por θ , un ángulo de 20° . Puede emplearse una pendiente del aumento lineal de modo que θ esté entre aproximadamente 7° y unos 30° , para minimizar la erosión y la pérdida de carga en la conducción. Preferiblemente se emplea una pendiente tal que θ esté entre aproximadamente 7° y aproximadamente 15° , y más preferiblemente una pendiente tal que θ esté entre aproximadamente 7° y aproximadamente 10° . La corriente de partículas de carbón se transporta a través de la sección de conducción C y sale del calentador 300 a través de la conducción C por la salida 60.

Se selecciona una longitud de cada una de las secciones sucesivas de superficie de sección transversal uniforme A, B y C respectivamente, de modo que la corriente de partículas de carbón que se está calentando sale de cada sección sucesiva a una velocidad de salida prefijada, como se ha definido aquí. En cada sección de transición, 55 y 56, dig



minuye esta velocidad de salida prefijada hasta una velocidad de entrada prefijada, tal como se ha definido aquí, para cada sección que sigue, de superficie de sección transversal uniforme, empalmada con la anterior.

5

Ejemplo

10

El aparato empleado en este ejemplo constaba de las siguientes unidades principales: (1) un alimentador fluidizado (mostrado en 200 en la Figura 1), (2) un horno de gas, (3) un cambiador de calor (mostrado en 300 en las Figuras 1, 2 y 3), (4) un depósito de recepción de carbón caliente (mostrado en 400 en la Figura 1), (5) un silo de pesada, y (6) un compresor Westinghouse de freno neumático.

15

El alimentador fluidizado era un depósito de almacenamiento de cuatro toneladas de capacidad montado sobre un transductor de pesada con extensímetro Baldwin, de 0-9000 kilogramos para pesar el recipiente y su contenido. El horno de gas estaba equipado con tres quemadores Surface Combustion nº 57A (fabricados por Surface Combustion Corp., Toledo, Ohio) para proporcionar una chimenea de tiro natural de 35,6 cm. de diámetro exterior y 7,5 metros de altura. El serpentín cambiador de calor constaba de catorce secciones de 6 metros de tubería Schedule 80 de 1,3 cm, ocho secciones de tubería Schedule 80 de 1,9 centímetros, y cuatro secciones

20

25



de tubería Schedule 80 de 2,5 cm. Usando codos de retorno de 180 grados, las secciones individuales de tubería se soldaron en forma de una serpentín continuo empezando por la tubería de 1,3 cm. En la Figura 2, puede considerarse que las secciones de conducción 1-13 corresponden a la tubería de 1,3 cm, las secciones de conducción 14-21 a la tubería de 1,9 cm., y las secciones de conducción 22-26 a la tubería de 2,5 cm. de este ejemplo. El serpentín estaba provisto de siete cavidades de termopar, ilustradas como T.C. 1-7, respectivamente en la Figura 2, y cinco tomas de presión, para la medida de temperaturas y presiones de entrada, salida, e intermedias, ilustradas las tomas de presión como P1-P5 en la Figura 2.

El depósito de recepción de carbón caliente, tal como el recipiente 400 de la Figura 1, constaba de un depósito de almacenamiento de carbón de tres toneladas de capacidad, diseñado para trabajar como alimentador de baja presión para el retorno del carbón al alimentador fluidizado. El silo de pesada constaba de un depósito montado sobre una balanza de 1350 kilogramos, para la comprobación periódica del calibrado del transductor de pesada. El compresor de freno neumático Westinghouse se usó para suministrar nitrógeno a 11,2 kilogramos por centímetro cuadrado manométricos, para el funcionamiento del alimentador. El equipo auxiliar del sistema de nitrógeno constaba de una cubeta de aspira-



ción, un filtro de aceite y un depósito de compensación.

Empleando el aparato descrito anteriormente, se llevó desde el alimentador fluidizado hasta el cambiador de calor 300 un carbón de uno o dos tamaños, que previamente se había secado y pulverizado de modo que, o bien el 100 por
5 cien atravesaba una malla de 841 micras de abertura, o el 100 por cien atravesaba una malla de 373 micras de abertura. Del cambiador de calor 300, las partículas de carbón se introdujeron en el receptor de carbón caliente 400, para re-
10 circularlo al alimentador fluidizado.

Se hizo una serie de 12 experimentos usando el equipo antes descrito. En estos experimentos el depósito ali-
15 mentador se mantuvo a una presión fija de 9,8 kilogramos por centímetro cuadrado manométricos, con el receptor a presión atmosférica.

Antes de empezar la circulación de carbón, el cambiador de calor se precalentó a una temperatura, en la
20 entrada de gas de combustión, no mayor de 450°C, para evitar taponamientos del serpentín por coquización. Una vez iniciada la circulación de carbón, la temperatura del gas de combustión de entrada se elevó rápidamente hasta el valor deseado.

Una vez alcanzadas unas condiciones de equilibrio se comenzó el experimento. Las presiones estáticas en el serpentín se midieron en los puntos del mismo denominados P1,
25



P2, P3, P4 y P5 de la Figura 2, y las temperaturas en los puntos del serpentín indicados por TC. 1-6 respectivamente en la Figura 2. Las temperaturas de los gases de combustión de entrada y salida se midieron tomando una sonda en
5 numerosos puntos con un termopar desnudo, de un lado a otro de la sección transversal de la chimenea, por debajo y por encima del serpentín. La velocidad de alimentación de carbón se midió pesando el depósito con el transductor al comienzo y al final de cada experimento. El gas natural quemado y el dióxido de carbono añadido al gas de combustión
10 se midieron por medio de orificios. Se añadió dióxido de carbono para aumentar la precisión del análisis del gas de combustión. Se tomaron muestras de gas de combustión cerca del comienzo y del final de cada experimento. Se tomaron muestras de carbón antes de empezar y después de terminar cada
15 experimento.

La proporción de gas que transportaba al carbón se midió indirectamente midiendo por medio de orificios las cantidades de gas que entraban en el alimentador y que escapaban a la atmósfera por la parte superior. La duración de
20 los experimentos fué de aproximadamente 1 hora.

El perfil de presiones y velocidades a lo largo del serpentín de calentamiento en el experimento 12 se resume en la Tabla III. El perfil de pérdida de carga en la
25 sección de tubería de 1,3 cm, del serpentín de calentamiento



to indica una dependencia lineal de la pérdida de carga en relación con la longitud de tubería. La velocidad mínima encontrada en los experimentos de calentamiento fué de 6 metros por segundo, a la entrada del serpentín en el experimento 1. La velocidad máxima era de 48 metros por segundo a la salida del serpentín en el experimento 8. Si el serpentín no se hubiera ampliado progresivamente de una tubería de 1,3 cm. a una tubería de 2,5 cm, la velocidad máxima a la salida del experimento 1 hubiera sido de 147 metros por segundo, a causa de la expansión del gas transportador. Esto ilustra el método de esta invención, empleando un aumento progresivo del tamaño de la tubería cuando se dan diferencias de presión y temperatura.

Los datos de la Tabla IV indican que el nivel de temperatura tiene poco efecto en la velocidad de transporte de carbón a una pérdida de carga constante. Por lo tanto, el valor de la temperatura tiene poco efecto en la pérdida de carga a una velocidad constante de transporte de carbón.

Cuando se emplea un medio de transmisión de calor tal como sodio, las paredes metálicas de los serpentines y la película del carbón son controlantes, y es fácilmente calculable el coeficiente global de transmisión de calor. Cuando se usa gas de combustión a alta temperatura como medio de calentamiento, hay que calcular un coeficiente



de transmisión de calor por radiación, para añadirlo al coeficiente de película del gas de combustión. En la Tabla V se muestra un método usado para el cálculo del coeficiente de radiación. El coeficiente del gas de convección encontrado en el presente ejemplo estaba entre 1,47 y 1,96 calorías por hora por metro cuadrado por $^{\circ}\text{C}$, a causa de la baja pérdida de carga permisible del tiro natural. Este coeficiente puede aumentarse fácilmente por medios adecuados, por ejemplo por colocación de placas desviadoras. Asimismo, el área eficaz de transmisión de calor puede aumentarse usando tubos aleteados, si se quiere.

Los datos de los experimentos se resumen en las Tablas I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII siguientes:

15



Tabla I
Coefficiente global de transmisión de calor

Experimento ^x N°	U ^{**} Cal/h/m ² /°C	Gas de entrada	Temperatura °C		Carbón de salida
			Gas de salida	Carbón de entrada	
1	3,56	562	227	37,7	185
2	3,20	563	224	30	186
3	3,11	640	257,5	42,2	226
4	3,76	647	269	47,7	244
5	3,47	727	286	47,7	267
6	2,86	760	282	47,2	262
7	3,85	752	319	97,1	295
8	4,76	875	360	83,8	356
9	5,49	841	352	91	342
10	4,44	918	343,5	61	337
11	4,74	894	363,5	117	362
12	5,20	840	361	87	363

* Experimentos 1, 3, 6, 7, 10-12 - 100 por cien atraviesa malla de 373 micras

Experimentos 2, 4, 5, 8 y 9 - 100 por cien atraviesa malla de 841 micras

** Se encontró que el coeficiente de transmisión de calor de la película interior del carbón era constante en los 12 experimentos, es decir $h_c = 16,7 \text{ cal/h/m}^2/\text{°C}$. Este coeficiente es próximo al encontrado en la transmisión de calor a un lecho fluidizado.



Tabla II

Coefficientes globales de transmisión de calor de las secciones
Experimento 12

<u>Tamaño de tubería, cm.x-pesada</u>	<u>Superficie interior, m²</u>	<u>C empírico Cal/g/°C</u>	<u>q* Kcal/h</u>	<u>Δt del carbón °C</u>	<u>U Cal/h/m²/°C</u>
1,27	1,68	0,372	34121	84,9	4,60**
1,27	1,10	0,428	18547	42,9	4,62
1,27	1,10	0,467	21118	44,9	6,09
1,9	0,78	0,494	7938	16,0	3,81
1,9	1,50	0,516	17590	34,0	4,84
1,9	0,76	0,538	8644	16,0	5,69
2,54	1,98	0,562	21370	38,0	<u>6,40</u>
Promedio acumulativo					5,25

* Corregido el calor que va al gas transportador y al agua

** Calor latente que va a 3,4 Kg. de agua en esta sección
caudal de carbón: 973 Kg/h.



Tabla III

Perfil de presiones y velocidades en el experimento 12

<u>Entre los puntos de presión:</u>	<u>Tamaño de la conducción, cm. x-pasada</u>	<u>Longitud recta, m.</u>	<u>Número de codos</u>	<u>ΔP total Kq/cm²</u>	<u>$\Delta P/m$ Kq/cm²/m</u>	<u>Velocidad media m/seg.</u>
1 - 2	1,27	36,3	7	2,7	0,073	10,3
2 - 3	1,27	48	7	3,6	0,076	14,6
3 - 4	1,9	48	7-1/2	1,9	0,039	23,5
4 - 5	2,54	24	4-1/2	0,84	0,035	27,8

<u>Entre los puntos de temperatura:</u>		<u>Longitud recta equivalente, m.</u>				
1 - 2	1,27	37,9	-	-	-	10,3
2 - 3	1,27	24,9	-	-	-	16,2
3 - 4	1,27	24,9	-	-	-	24,4
4 - 5	1,9	12,9	-	-	-	17,8
5 - 6	1,9	24,9	-	-	-	23,5
6 - 7	1,9	12,6	-	-	-	30,5
7 - 8	2,54	25,5	-	-	-	27,8



Tabla IV

Efecto de la temperatura en la velocidad de transporte de carbón
a una diferencia constante de presión

<u>Experimento</u> <u>Nº</u>	<u>ΔP de un lado</u> <u>a otro del</u> <u>serpentín, Kg/cm²</u>	<u>Caudal de</u> <u>carbón,</u> <u>Kg/h.</u>	<u>Temperatura</u> <u>media del</u> <u>carbón °C</u>
1	9,0	1202	112
2	8,6	915	108
3	9,0	1138	134
4	8,7	965	146
5	8,8	990	158
6	9,0	1149	156
7	9,0	1171	196
8	8,8	916	220
9	9,0	1041	217
10	9,0	1136	200
11	9,0	1129	239
12	9,0	981	228



Tabla V

Coefficientes de película

$$h_g = \frac{27,49 C_p (G')^{0,8}}{(D_i')^{0,2}} \quad (\text{ec. 24 pág. 467, Perry, Chem. Eng. Handbook, 3ª Edic.})$$

siendo:

G' = Velocidad másica, Kg de gas por seg. por m^2

C_p = Calor específico del gas a presión constante, Cal/Kg/°C

D_i' = Diámetro interior, centímetros

h_r^g evaluado por la técnica presentada en pág. 40, Perry, Chem. Eng. Handbook, 3ª Ed.

h_r^m evaluado por la Fig. 12, pág. 473, Perry, Chem. Eng. Handbook, 3ª Ed., usando un factor de efectividad de radiación de 0,44, basado en cálculos usando coeficientes de película del carbón determinados en la sección C (Se usaron temperaturas medias de gas y de carbón con una previsión de descenso de temperatura de 41,6°C a través de la película de carbón y la pared metálica)

Experimento Nº	$\frac{1}{U}$	h_g	h_r^g	h_r^m	h_c
			Cal. por h. por m^2 por °C		
1	0,0779	1,55	0,14	2,2	14,8
2	0,0762	1,57	0,14	2,2	16,1
3	0,0668	1,60	0,17	2,75	18,4
4	0,0666	1,73	0,17	2,83	15,1



Tabla V
(continuación)

Coefficientes de película

Experimento Nº	$\frac{1}{U}$	h_g	h_r^g	h_r^m	h_c
			Cal. por h. por m ² por °C		
5	0,0624	1,65	0,18	3,15	16,9
6	0,0611	1,49	0,19	3,14	21
7	0,0547	1,77	0,20	3,77	18,6
8	0,0543	1,91	0,22	4,56	13,0
9	0,0523	2,10	0,23	4,72	13,1
10	0,0514	1,80	0,22	4,41	17,0
11	0,0491	1,87	0,23	4,72	17,3
12	0,046	2,02	0,22	4,56	18,6
				Promedio	16,7



Tabla VI

Lecturas intermedias de temperatura y presión

Experi- mento Nº	Temperaturas, °C.						Presiones, Kg/cm ² manométricos				
	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7	p-1	p-2	p-3	p-4	p-5
1	79	101	127	137	156	-	9,17	6,58	2,8	0,98	0,28
2	**	**	**	137	156	-	8,96	6,51	3,08	1,19	0,35
3	94	125	153	163	185	*	9,24	6,65	2,8	1,05	0,28
4	-	-	-	184	209	-	9,10	6,72	3,08	1,19	0,35
5	-	-	-	199	226	-	9,17	6,65	3,15	1,12	0,35
6	108	144	178	190	217	-	9,24	6,79	2,94	1,05	0,28
7	154	185	217	231	257	-	9,24	6,65	2,8	0,98	0,28
8	-	-	-	278	312	-	9,31	7,0	3,29	1,26	0,42
9	-	-	-	274	308	-	9,24	6,65	3,0	1,05	0,28
10	144	186	231	251	285	-	9,24	6,79	3,08	1,05	0,28
11	187	227	268	282	310	-	9,24	6,72	2,87	1,05	0,28
12	172	215	260	276	310	326	9,31	6,72	3,08	1,19	0,35

* La vaina del termopar nº 7 dió fugas antes del Experimento nº 3 y se taponó, excepto en el experimento 12.

** Se quitaron las vainas de termopar 2, 3 y 4 en los experimentos 2, 4, 5, 8 y 9



TABLA VII

Datos experimentales sobre calentamiento de carbón en polvo

Experimento Nº	Caudal de carbón Kg/h	Temperatura, °C	Gas de salida	Gas de entrada	Carbón de salida	Carbón de entrada	Metano quemado Moles.Kg/h	Dióxido de carbono Reactivado, Moles. Kg/h.	Gas transportado (Nitrógeno) Moles.Kg/h	Calor aportado Al reactor, Kcal/h
1	1202	227	563	38	185	185	1,40	1,61	1,16	70106
2	915	244	564	30	186	186	1,41	1,70	1,94	51280
3	1138	258	641	42	226	226	1,64	1,70	1,16	67460
4	965	269	647	48	244	244	1,95	1,66	1,96	74870
5	990	286	728	48	267	267	2,05	1,61	1,95	76330
6	1149	282	761	47	263	263	2,11	1,74	1,16	69430
7	1171	319	753	97	295	295	2,13	1,70	1,16	84120
8	916	360	876	84	356	356	3,67	1,61	1,95	121990
9	1041	352	842	91	343	343	2,94	1,61	1,94	149100
10	1136	344	919	61	338	338	3,0	1,72	1,16	128950
11	1129	364	895	117	362	362	3,08	1,64	1,16	125290
12	981	361	841	87	364	364	3,07	1,76	1,16	129120

TABLA VII

Datos experimentales sobre calentamiento de carbón en polvo

Experimento Nº	Caudal de car bón Kg/h	Temperatura, °C				Metano c Moles.Kc
		Gas de en trada	Gas de sa lida	Carbón de entrada	Carbón de salida	
1	1202	563	227	38	185	1,40
2	915	564	244	30	186	1,41
3	1138	641	258	42	226	1,64
4	965	647	269	48	244	1,95
5	990	728	286	48	267	2,05
6	1149	761	282	47	263	2,11
7	1171	753	319	97	295	2,13
8	916	876	360	84	356	3,67
9	1041	842	352	91	343	2,94
10	1136	919	344	61	338	3,0
11	1129	895	364	117	362	3,08
12	981	841	361	87	364	3,07



lvo

ie	Carbón de salida	Metano quemado Moles.Kg/h	Dióxido de carbono inyectado, Moles.Kg/h.	Gas transportador (Nitrógeno) Moles.Kg/h	Calor aportado al algodón, KCal/h
			1,61	1,16	70106
185		1,40			
		1,41	1,70	1,94	51280
186					
		1,64	1,70	1,16	67460
226					
		1,95	1,66	1,96	74870
244					
		2,05	1,61	1,95	76330
267					
		2,11	1,74	1,16	69430
263					
		2,13	1,70	1,16	84120
295					
		3,67	1,61	1,95	121990
356					
		2,94	1,61	1,94	149100
343					
		3,0	1,72	1,16	128950
338					
		3,08	1,64	1,16	125290
362					
		3,07	1,76	1,16	129120
364					



Tabla VIII

Análisis granulométrico y densidad aparente del carbón usado
en los experimentos de calentamiento

Abertura de malla, micras	<u>% en peso retenido en el tamiz</u>	
	<u>A* - 100% a través de malla de 373 micras</u>	<u>C** - 100% a través de malla de 841 micras</u>
841	0,0	0,0
373	1,9	22,5
250	3,1	28,8
149	10,8	19,7
74	26,9	15,3
44	32,1	6,3
-44	<u>25,2</u>	<u>7,4</u>
	100,0	100,0
Densidad aparente del carbón		
Kg/litro	0,648	0,742

* Carbón usado en los experimentos 1, 3, 6, 7, 10-12: el 100%
atravesaba un tamiz de malla de 373 micras de abertura

** Carbón usado en los experimentos 2, 4, 5, 8 y 9: el 100
por cien atravesaba un tamiz de malla de 841 micras de
abertura



96

- REIVINDICACIONES -

5

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Pa-
10 tente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

15 1ª.- Un sistema de transporte para una fase densa de partículas de carbón, que comprende: a) al menos una línea de conducción que comprende al menos una pluralidad de secciones de conducción adaptadas para transpor-
tar dicha fase densa, al mismo tiempo que aumenta la velo-
20 cidad de dicha fase densa desde una velocidad de entrada prefijada hasta una velocidad de salida prefijada a la cual es importante la erosión de dicha línea de conducción, es-
tando las secciones alineadas en serie y empalmadas unas
con otras, teniendo cada una de dichas secciones una super-
ficie uniforme de sección transversal, que se aumenta suce-
sivamente, en una cantidad prefijada, con relación a la sec-
25 ción anterior empalmada con ella, teniendo cada sección de sección transversal uniforme una longitud prefijada, y

22.4.76

- 48 -



376

b) al menos una pluralidad de medios de transición, adaptados para reducir dicha velocidad de salida hasta dicha velocidad de entrada, estando cada uno de dichos medios de transición interpuesto entre dichas secciones de superficie de sección transversal uniforme sucesivamente mayor, 5
teniendo cada uno de dichos medios de transición una superficie de su sección transversal que aumenta linealmente, la cual está aumentada en dicha cantidad previamente fijada desde una superficie de sección transversal sustancialmente igual a la superficie de sección transversal de la sección anterior de superficie de sección transversal uniforme empalmada con ella, hasta un valor igual a la superficie de sección transversal aumentada unida con ella. 10

2a.- Un sistema según la reivindicación 1a, que comprende una multiplicidad de dichas líneas de conducción, y en el que cada una de dichas conducciones se compone de una multiplicidad de dichas secciones de conducción de superficie de sección transversal uniforme. 15

3a.- Un sistema de transporte para una fase densa de partículas de carbón. 20

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.

25

22.4.76

20 APR



Esta Memoria consta de cincuenta hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 29. ABR. 1976

P. A.

5

Alberio de Elzaburu

Por Poder

10

15

20

25

22.4.76

- 50 -

EAS.-

29. APR. 1976

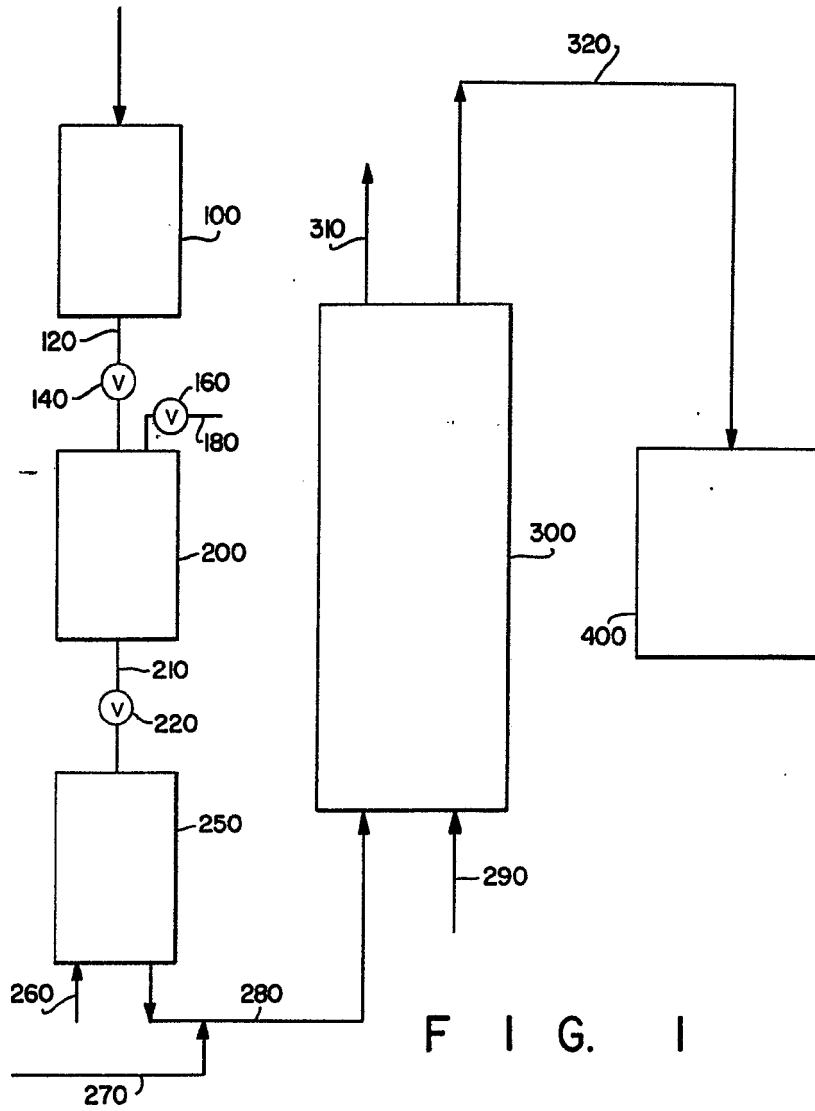
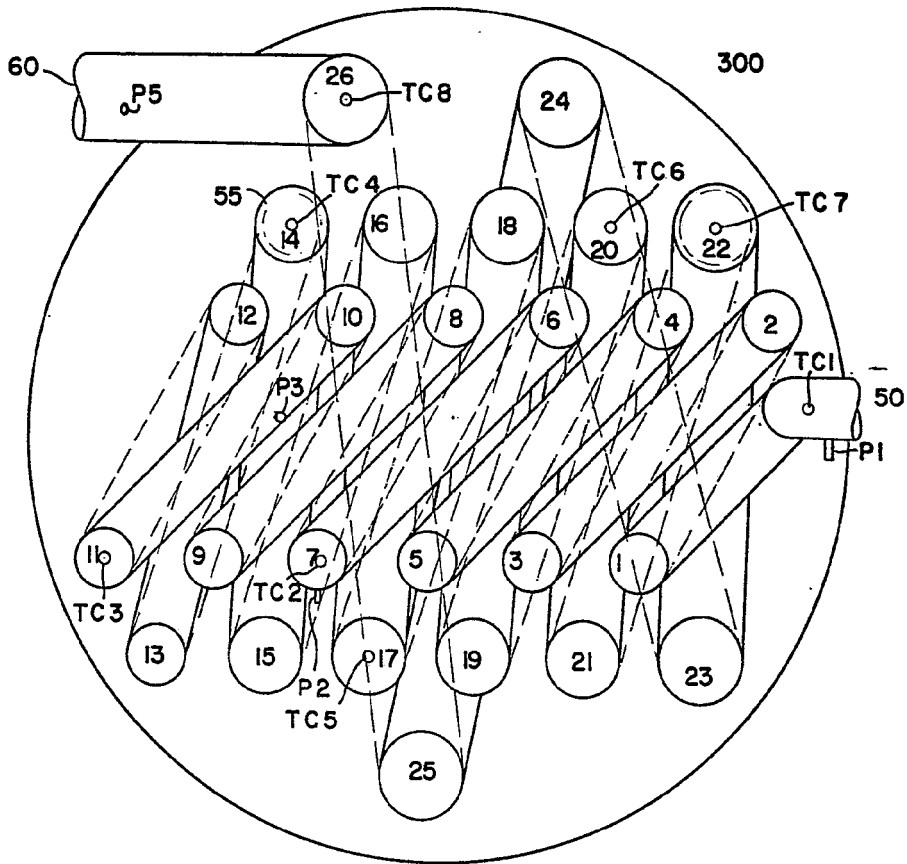


FIG. 1

Alberto de M...
For Patent



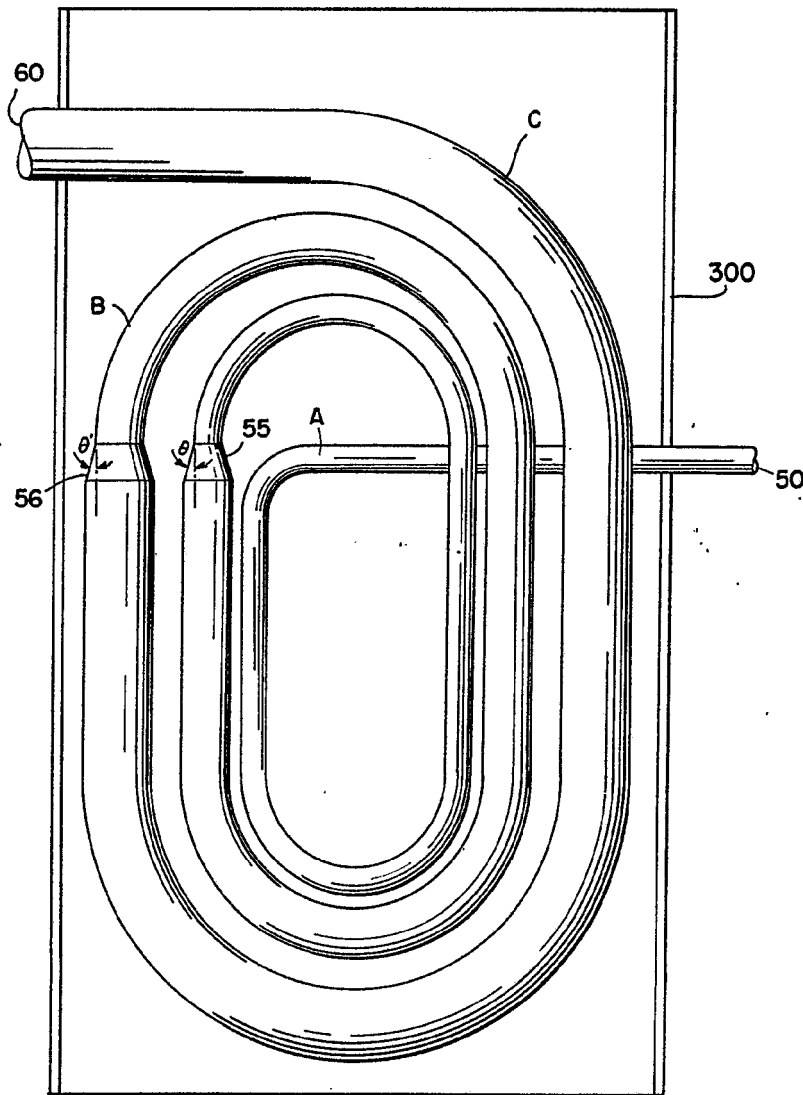
F I G. 2



Alberto de Elzaburu
For Patent



F I G. 3



Alberto de Elzanuru
Per Patent