



(18) ES	(11) NUMERO 456.919	(19) A 1
(21)	(22) FECHA DE PRESENTACION 16-3-1977	

PATENTE DE INVENCION

(30) PRIORIDADES:	(32) FECHA	(33) PAIS
(31) NUMERO		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Int. Cl.³ F27B 9/14, C01B 3/24</div>		

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL B013	(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA No. 441.517
--------------------------	--	---

(64) TITULO DE LA INVENCION "UN PROCEDIMIENTO DE REACCION QUIMICA A TEMPERATURA ELEVADA"

(71) SOLICITANTE (S) THAGARD TECHNOLOGY COMPANY (S-1454.54 Div. IV)
--

DOMICILIO DEL SOLICITANTE 2712 Kelvin Avenue, Irvine, California 92705, EE.UU.

(72) INVENTOR (ES) Edwin Matovich

(73) TITULAR (ES)

(74) REPRESENTANTE DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ (P.-65.463)

jga

La presente invención se refiere a reactores de pared fluida para procedimientos de reacción química a temperatura elevada, así como a los diversos procedimientos que pueden realizarse en tales reactores, muchos de cu
5 yos procedimientos han sido con anterioridad imposibles de llevar a la práctica o sólo teóricamente posibles. Tanto el reactor de pared fluida como los procedimientos empleados en tales reactores, utilizan acoplamiento de radiación como
10 fuente de calor, mantienen las reacciones químicas consideradas en aislamiento en el interior de una capa o envolvente de fluido de protección, fuera del contacto con las superficies del reactor en el que tiene lugar la reacción, y proporcionan una pantalla térmica que encierra sustancialmente los medios de calentamiento por energía radiante y la
15 zona de reacción de tal manera que define una "cavidad de cuerpo negro". Tal como se utiliza en esta memoria, debe entenderse generalmente que el término "cavidad de cuerpo negro" denota un espacio que está confinado sustancialmente por una o varias superficies y del cual, idealmente, no pue
20 de escapar radiación alguna. Dentro del contexto del presente reactor, la pantalla térmica constituye la superficie o superficies confinantes de la "cavidad de cuerpo negro" y el material del que está fabricada la pantalla térmica se comporta como un aislador inhibiendo la transmisión de calor
25 desde el interior de la "cavidad de cuerpo negro", y tiene

que ser capaz de soportar las temperaturas generadas por la fuente de calor de acoplamiento de radiación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

5

En la actualidad se emplean reactores de temperatura elevada para llevar a cabo reacciones de pirólisis, termolisis, disociación, descomposición y combustión, tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos. Sustancialmente todos los reactores citados transfieren calor a las sustancias reaccionantes por convección y/o conducción, pero esta característica produce inherentemente dos problemas fundamentales que limitan la naturaleza y el alcance de las reacciones que pueden llevarse a cabo. Ambos problemas provienen del hecho de que en un reactor convencional que transfiere calor a las sustancias reaccionantes por convección, la temperatura más alta del sistema se localiza necesariamente en la interfase entre la pared interior del reactor y la corriente de sustancias reaccionantes.

10

15

20

El primer problema implica las limitaciones en cuanto a temperaturas de reacción disponibles que vienen impuestas por la resistencia a temperaturas elevadas de los materiales para paredes de reactor conocidos. La capacidad decreciente de tales materiales para mantener su integridad en condiciones de temperatura creciente es por supuesto,

25

bien conocida. No obstante, puesto que es necesario que tales materiales se calienten a fin de que pueda transferirse energía térmica a la corriente de sustancias reaccionantes, las temperaturas disponibles para la reacción han venido limitadas por la temperatura a la que pueda calentarse la pared del reactor en condiciones de seguridad. Este factor es particularmente crítico en aquellos casos en los que la reacción que se considera o bien ha de tener lugar a presiones elevadas o bien produce dichas presiones elevadas.

El segundo problema resulta inherentemente tanto del hecho de que la pared de un reactor convencional se encuentra a la temperatura más alta del sistema, como del hecho de que la transmisión de calor convectiva/conductiva requiere contacto entre la pared y la corriente de sustancias reaccionantes. Por encontrarse a tal temperatura elevada, la pared del reactor es una zona ideal, si no la más deseable, del sistema, y en muchos casos, los productos de reacción se acumularán y crecerán sobre la pared. Tal acumulación deteriora la aptitud del sistema para transferir calor a las sustancias reaccionantes, y esta impedancia térmica que aumenta continuamente requiere que la temperatura de la fuente de calor se eleve progresivamente lo preciso para mantener el régimen inicial de transmisión de calor hacia la corriente de sustancias reaccionantes. Eviden-

temente, a medida que aumenta la acumulación, la temperatura requerida de la fuente de calor podrá llegar, en un momento dado, a sobrepasar las capacidades del material de la pared del reactor. Además, como se requiere energía adicional para mantener la reacción, el procedimiento se hace menos eficiente tanto en el sentido técnico como en el económico. Así, en el punto en que la reacción considerada ya no puede mantenerse, sobre la base de la transmisión del calor, de la resistencia de los materiales, o de consideraciones económicas, el sistema tiene que pararse y limpiarse.

Usualmente, la limpieza se realiza mecánicamente por rascado de la pared del reactor, o químicamente por combustión de los depósitos. En algunos procedimientos continuos, se ha intentado rascar la pared del reactor mientras transcurre la reacción. Sin embargo, la propia herramienta de rascado llega a calentarse inevitablemente, se convierte en un foco de reacción y, después de ello, tiene que limpiarse a su vez. En cualquier caso, este tiempo de parada representa una pérdida económica sustancial. En muchos casos, se instalará un segundo sistema con el fin de reducir al mínimo el tiempo de producción perdida. No obstante, tal equipo adicional representa por lo general una inversión importante de capital. Algunos reactores químicos de temperatura elevada incluyen un tubo que se calienta a

una temperatura a la que sus paredes interiores emiten suficiente energía radiante para iniciar y mantener la reacción. Sin embargo, como en el caso de los reactores conductivos y convectivos, para aquellas reacciones en las que se forman productos sólidos, se produce con frecuencia una acumulación indeseable de productos en las paredes del tubo, que conduce a una reducción de la transmisión de calor e incluso a la obstrucción del tubo.

El reactor descrito en la patente de los EE.UU. No. 2926073 está designado para producir negro de humo e hidrógeno por pirólisis de gas natural. El procedimiento es, según se afirma, continuo, pero en la práctica, el principio de transmisión de calor por convección con arreglo al cual opera el reactor causa graves problemas tanto de mantenimiento como de control de la reacción. Como los tubos calentados del reactor son focos de reacción ideales, invariablemente se acumula carbono y eventualmente puede llegar a obstruir el sistema. Más grave, no obstante, es el problema de embalamiento térmico que puede dar como resultado explosiones. Con respecto a esta condición, se ha determinado que durante la pirólisis del gas natural, la conductividad térmica de la fase gaseosa aumenta repentinamente desde aproximadamente 5 a 30 veces, dependiendo de la composición del gas. Como las temperaturas en un reactor convencional de tipo convectivo no pueden regularse con la

velocidad y la exactitud suficientes para compensar este fenómeno, en algunos casos el sistema se haría inestable y podrían producirse explosiones. Tales condiciones son inherentes en los reactores convencionales y, hasta ahora, no se ha encontrado procedimiento alguno para resolver este problema.

La patente de los EE.UU. No. 3565766 representa un intento reciente para mejorar la calidad de la hulla por pirólisis. El sistema descrito comprende una serie de recipientes de acero hueco que actúan como lechos fluidizados de etapa múltiple a temperaturas progresivamente crecientes que llegan hasta aproximadamente 871°C. La fluidización a temperaturas más bajas se consigue por medio de un gas inerte que puede suministrar a su vez calor, aun cuando se considera calentamiento procedente del exterior. A las temperaturas más altas, la fluidización se consigue por medio del gas de cabeza obtenido en la etapa final; y, en dicha etapa final, la temperatura se mantiene por combustión interna del carbón residual en el seno de aire u oxígeno. Debido a que se basa primariamente en la transmisión de calor por convección, este sistema se ve sometido a muchos de los defectos y desventajas que se han expuesto con anterioridad.

El aparato para la fabricación de negro de humo descrito en la patente de los EE.UU. No 2062358 incluye

un tubo poroso dispuesto en el interior de una cámara de calentamiento. Se dirige el gas caliente procedente de un horno alejado al interior de la cámara, y después de ello se ve impulsado a través de la pared del tubo poroso para mezclarse con las sustancias reaccionantes. Así, solamente se emplea transmisión de calor por convección desde un fluido hasta las sustancias reaccionantes. Esto, junto con la ausencia de una "cavidad de cuerpo negro" exige el flujo de un gran volumen de fluido a través de la cámara de calentamiento con el fin de compensar las pérdidas de calor.

La patente de los EE.UU. Nº 2769772 describe un reactor para tratamiento en caliente de materiales fluidos tales como hidrocarburos que incluye dos tubos concéntricos dispuestos en un horno calentado por llama. Las sustancias reaccionantes fluyen axialmente a través del tubo concéntrico interior, que es permeable. Un gas portador de calor que fluye por el interior de la cámara anular comprendida entre los tubos concéntricos se calienta por contacto con la pared exterior. Los fluidos contenidos en el tubo interior se calientan por convección cuando el gas portador de calor atraviesa la pared permeable y se mezcla con ellos. Se evita expresamente la transmisión de calor radiante. De hecho, es imposible calentar el tubo interior sin calentar simultáneamente el tubo exterior a una

temperatura, como mínimo, tan alta como la de aquél.

El horno de cracking de combustión en superficie, de la patente de los EE. UU. Nº 2436282, emplea el principio de gas portador de calor por convección, similar al de la patente de los EE.UU. Nº 2769772. El horno incluye un tubo refractario poroso rodeado por una camisa. Un fluido combustible procedente de una cámara anular se ve forzado a pasar a través de la pared porosa hasta el interior del tubo, donde aquél entra en ignición. Es evidente, sin embargo, que el fluido combustible contenido en la cámara anular explotará a no ser que el mismo se vea forzado a atravesar la pared porosa a una velocidad mayor que la velocidad de propagación de la llama hacia atrás a través de la pared. Análogamente, la temperatura en el interior de la cámara anular tiene que mantenerse por debajo de la temperatura de ignición de la mezcla gas/aire. Los productos de la combustión de la llama de superficie se mezclan con las sustancias reaccionantes en el horno, diluyéndose y reaccionando posiblemente con ellas. Se imparte calor a las sustancias reaccionantes mediante mezclado por convección de los productos de la combustión y dichas sustancias reaccionantes.

Las patentes de los EE.UU. Núms. 2670272; 2670275; 2750260; 2915367; 2957753; y 3499730, describen cámaras de combustión para la producción de dióxido de ti-

A continuación, se hace pasar al menos una sustancia reaccionante a través del núcleo de la envoltura a lo largo de una trayectoria previamente determinada que es sustancialmente coincidente con el eje de la envoltura, confinándose las sustancias reaccionantes dentro de dicha envoltura. Después de haberse iniciado el flujo de sustancias reaccionantes, se dirige energía radiante de alta intensidad a través de la envoltura de tal modo que coincida al menos con una porción de la trayectoria de las sustancias reaccionantes. Se absorbe en el núcleo suficiente energía radiante para elevar la temperatura de las sustancias reaccionantes a un nivel requerido para que se inicie la reacción química deseada.

En el supuesto de que las sustancias reaccionantes sean por sí mismas transparentes a la energía radiante, se introduce un blanco absorbente en la corriente de sustancias reaccionantes. Dicho objetivo absorberá suficiente energía radiante para hacer que se eleve la temperatura en el núcleo al nivel deseado. En algunos casos, sin embargo, si bien las sustancias reaccionantes son transparentes a la radiación, uno o más de los productos de la reacción será absorbedor de la radiación. En tal caso, una vez que se ha iniciado la reacción, puede extraerse el blanco y continuarse la reacción. Un ejemplo de tal reacción es la pirólisis del metano a carbono e

hidrógeno.

5 Algunas reacciones se invertirán bien sea parcial o completamente si los productos de reacción no se enfrían inmediata y rápidamente. En tales casos, se considera adicionalmente que la refrigeración de los productos de la reacción y de cualesquiera objetivos remanentes se lleve a cabo inmediatamente después de completada la reacción deseada, a fin de prevenir tales reacciones químicas indeseables.

10 El reactor de pared fluida para temperatura alta de la presente invención transfiere sustancialmente la totalidad del calor requerido a las sustancias reaccionantes por acoplamiento de radiación. Ciertas realizaciones del reactor comprenden un tubo que tiene un extremo de
15 entrada y otro de salida, definiendo el interior del tubo una cámara de reactor. Medios para introducir un fluido inerte en la cámara del reactor proporcionan una capa de protección para la superficie radialmente interior del tubo del reactor. Medios para la introducción de al menos una
20 sustancia reaccionante en la cámara del reactor a través del extremo de entrada hacen que tales sustancias reaccionantes se dirijan en una trayectoria previamente determinada axialmente con respecto al tubo del reactor. La capa de fluido inerte confina las sustancias reaccionantes en una
25 posición sustancialmente central en el interior de la cámara

ra del reactor y fuera del contacto con el tubo del reactor. Se genera energía radiante de alta intensidad y se dirige hacia el interior de la cámara del reactor para coincidir con al menos una porción de la trayectoria de las sustancias reaccionantes, siendo absorbida suficiente energía radiante para elevar la temperatura de las sustancias reaccionantes a un nivel requerido para que se inicie la reacción química deseada. Otra realización del reactor comprende un tubo que tiene un extremo de entrada y un extremo de salida, definiendo al menos una porción del interior del tubo una zona de reacción; el tubo del reactor está hecho de una estructura de un material refractario fibroso capaz de emitir suficiente energía radiante para elevar la temperatura de las sustancias reaccionantes en el interior de la zona de reacción a un nivel requerido para iniciar y mantener la reacción química deseada. Dicha estructura tiene una multiplicidad de poros de un diámetro tal que permiten un flujo uniforme de cuantía suficiente del fluido inerte que es sustancialmente transparente a la energía radiante a través de la pared del tubo para constituir una capa de protección para la superficie radialmente interior del tubo del reactor. Un recipiente tubular de presión, estanco a los fluidos, confina el tubo del reactor para definir una cámara de sobrepresión del fluido inerte entre el tubo del reactor y el

recipiente de presión, estando los extremos de entrada y salida del tubo del reactor aislados herméticamente de la cámara de sobrepresión. El recipiente de presión tiene al menos una entrada para admitir el fluido inerte que se dirige bajo presión al interior de la cámara de sobrepresión y a través de la pared del tubo poroso al interior de la zona de reacción. El reactor incluye también medios para introducir al menos una sustancia reaccionante en el interior de la zona de reacción a través del extremo de entrada del tubo del reactor. Después de ello, las sustancias reaccionantes se dirigen en una trayectoria previamente determinada axialmente con respecto al tubo del reactor, y son confinadas por la capa de protección en una posición sustancialmente central en el interior de la zona de reacción y fuera de contacto con la pared interior del tubo del reactor. Al menos un elemento de calentamiento eléctrico está dispuesto en el interior de la cámara de sobrepresión y separado radialmente hacia el exterior del tubo del reactor para calentar dicho tubo del reactor al nivel de temperatura al cual éste emita suficiente energía radiante para iniciar y mantener la reacción química deseada. La energía radiante se dirige al interior de la zona de reacción sustancialmente en coincidencia con al menos una porción de la trayectoria de las sustancias reaccionantes. Está dispuesta una pantalla tér-

5 mica en el interior del recipiente de presión, que confina sustancialmente los elementos de calentamiento y la zona de reacción definiendo una "cavidad de cuerpo negro". La pantalla térmica refleja la energía radiante hacia el interior, dirigiéndola hacia la zona de reacción.

10 En contraste con los reactores convectivos convencionales, la presente invención está basada en el acoplamiento de radiación para transferir calor a la corriente de sustancias reaccionantes. La cantidad de calor transferida es independiente tanto del contacto físico entre la pared del reactor y la corriente como del grado de mezclado turbulento en dicha corriente. La consideración primaria para la transmisión de calor en el presente sistema es el coeficiente de absorción de radiación (α) de 15 las sustancias reaccionantes. La capa de fluido inerte que protege la pared del reactor es deseablemente sustancialmente transparente a la radiación y exhibe en consecuencia un valor muy bajo de α . Esto hace posible que se transfiera energía radiante a través de la capa de protección a la corriente de sustancias reaccionantes con pérdidas escasas o nulas de energía. Idealmente, o bien las sustancias reaccionantes propiamente dichas o un medio de sustancia objetivo exhibirán valores elevados de α y absorberán por tanto cantidades grandes de energía, o alternativamente, 20 las sustancias reaccionantes pueden hallarse finamente di-

vididas (como en una niebla) de tal modo que la radiación sea absorbida al verse atrapada entre las partículas. Como aquellos materiales que son buenos absorbentes son también por regla general buenos emisores de radiación, cuando las sustancias reaccionantes o los blancos se calientan a una temperatura suficientemente alta, los mismos se convierten en radiadores secundarios que re-irradian energía a través de la totalidad del volumen reaccionante y mejoran adicionalmente las características de transmisión de calor del sistema. Esto ocurre casi instantáneamente, por lo que se requiere un control preciso y rápido. Además, el fenómeno de re-irradiación que asegura un calentamiento rápido y uniforme de las sustancias reaccionantes es completamente independiente del grado de mezclado turbulento que pueda existir en el seno de la corriente de sustancias reaccionantes.

El presente procedimiento químico para temperatura elevada y el aparato para el mismo proporcionan una solución a los problemas que han constituido grandes inconvenientes en la técnica y permiten así la realización de reacciones que hasta ahora han sido imposibles de llevar a la práctica o sólo teóricamente posibles. Dado que el calor es suministrado por acoplamiento de radiación más bien que por convección y/o conducción, la temperatura de la corriente de sustancias reaccionantes pue-

de ser independiente tanto de la temperatura de la pared del reactor como de la condición de la corriente de sustancias reaccionantes, y se resuelve así el grave problema de la resistencia de los materiales. Dos realizaciones del presente reactor consideran de hecho que se enfríe la pared del reactor; las realizaciones tercera y cuarta, aun cuando proporcionan una pared calentada como fuente de energía radiante, no están sometidas a las altas presiones que se alcanzan normalmente en muchas clases de reacciones. Por esta razón, pueden emplearse de modo satisfactorio materiales refractarios tales como carbono u óxido de torio, que no son adecuados para uso como material de pared en un reactor convencional. En comparación con las aleaciones más refractarias, que funden a aproximadamente 1593^oC, el óxido de torio, por ejemplo, puede prestar un buen servicio a temperaturas mayores que 2982,2^oC. Esta característica permite que se alcancen temperaturas de reacción que exceden con mucho de las que pueden alcanzarse en la actualidad y puedan llevarse a cabo reacciones que habían sido sólo teóricamente posibles.

La tela de carbono, que es el material refractario preferido para una realización del presente tubo del reactor, es relativamente poco costosa, fácilmente asequible, y puede conformarse en tubos de reactor sustancialmente mayores que los de carbono poroso colado utilizables

en la actualidad. Como la tela de carbono es normalmente flexible, cualquier intento para forzar un gas inerte radialmente hacia el interior a través de un tubo de reactor de tal material ocasionaría de ordinario el aplastamiento del tubo. De acuerdo con ello, la presente invención considera la deposición de una capa de grafito pirolítico sobre la tela para conferirle una rigidez suficiente para resistir el gradiente de presión mantenido entre la cámara de sobrepresión del fluido inerte y la zona de reacción. La deposición de una capa de grafito pirolítico sobre la tela permite también el control de la porosidad de la estructura.

La provisión de la capa protectora de fluido inerte, que se hace posible en gran parte gracias al uso del acoplamiento de radiación, aísla la pared del reactor de la corriente de sustancias reaccionantes y hace que sea imposible en condiciones de operación normales que se acumulen precipitados de cualquier tipo u otros depósitos, y lleguen a obstruir el sistema. En el caso de que vaya a utilizarse un fluido de protección corrosivo tal como vapor de agua, las superficies del tubo del reactor, los elementos de calentamiento y la pantalla térmica que se mantienen a temperaturas altas y en contacto con el gas de protección cuando el reactor está en funcionamiento pueden revestirse con una capa delgada de óxido refractario tal

como óxido de torio, óxido de magnesio u óxido de zirconio. El óxido refractario se puede depositar sobre estas superficies calentando el reactor a una temperatura superior a la de disociación de un compuesto volátil que contenga el metal, introduciendo este compuesto en la cámara del reactor y dejando que el mismo se disocie, depositándose así una capa de metal sobre las superficies calentadas. Después de ello, un gas u otro material adecuado tal como oxígeno molecular puede introducirse en la cámara del reactor para oxidar la capa de metal, formándose el óxido refractario deseado. Alternativamente, el revestimiento refractario puede lograrse en una sola etapa si se emplea un compuesto volátil que contiene metal que se piroliza directamente a un óxido, como agente de deposición del refractario.

El uso de acoplamiento de radiación hace posible, además, el control exacto y casi instantáneo de las velocidades de transmisión de calor, lo cual es imposible de conseguir en un reactor de convección convencional. Adicionalmente, el presente reactor puede proporcionar una densidad de potencia en el foco de reacción que excede de 10.000 wátios/cm². Una realización que es adecuada para fines comerciales en gran escala ha alcanzado una densidad de potencia de aproximadamente 180 wátios/cm². Incluso esta cifra menor representa una gran mejora sobre los 2 a 3

watios/cm² que se obtienen corrientemente en los reactores convencionales. Y el empleo de una pantalla térmica que proporciona la superficie o superficies que limitan una cavidad de cuerpo negro dentro de la cual tienen lugar todas las reacciones hace que sea posible alcanzar eficiencias térmicas extraordinariamente favorables.

Las reacciones que se pueden llevar a cabo por el procedimiento de esta invención tal como se materializa ésta por el presente reactor son muchas y variadas.

Por ejemplo, compuestos orgánicos, en particular hidrocarburos, pueden pirolizarse para producir carbono e hidrógeno sin los problemas concomitantes de acumulación y de embalamiento térmico que se presentaban en la técnica anterior. Los hidrocarburos saturados se pueden pirolizar parcialmente para obtener hidrocarburos insaturados; así, por ejemplo, propano y etano pueden deshidrogenarse a propileno y etileno, respectivamente. Los hidrocarburos insaturados se pueden pirolizar parcialmente en presencia de hidrógeno para formar hidrocarburos saturados y, más específicamente, los productos de petróleo se pueden craquear térmicamente. Así, el gasoil se puede convertir fácilmente en dieseloil, queroseno, fracciones de gasolina o incluso metano. Se pueden añadir compuestos intermedios halogenados a los hidrocarburos parcialmente pirolizados para producir compuestos de peso molecular más alto. Los hidrocarburos

, pueden pirolizarse de modo completo o incompleto en presencia de vapor de agua para formar monóxido de carbono e hidrógeno; después se puede añadir hidrógeno adicional y llevarse a cabo la reacción para formar hidrocarburos de la serie de los alcanos, que son gases combustibles de alto poder calorífico.

Análogamente, se pueden pirolizar compuestos inorgánicos. Por ejemplo, sales u óxidos de hierro, mercurio, plata, wolframio y tántalo, entre otros, se pueden disociar para obtener metales puros. Oxidos de hierro, níquel, cobalto, cobre y plata, para nombrar unos cuantos, pueden reducirse directamente en presencia de hidrógeno con el mismo resultado. Esta lista no trata en modo alguno de ser exhaustiva.

Por el presente procedimiento se pueden producir también productos compuestos nuevos. Por ejemplo, se pueden obtener partículas de carbono o de talco revestidas con carburo de silicio. Este producto sirve como un abrasiivo excelente debido a que, a medida que se utiliza, se fragmenta continuamente y forma nuevas superficies afiladas. Las partículas de ciertos elementos tales como U^{235} pueden encapsularse también en una envoltura estanca químicamente de otro material tal como carbono; este producto particular es útil como elemento combustible para reactores nucleares.

Se considera adicionalmente que la presente in-

5 vención puede proporcionar la etapa terminal en la incineración aerobia convencional de residuos tales como basuras y aguas de alcantarillado. Las temperaturas relativamente bajas encontradas en las técnicas actuales de tratamiento por incineración permiten la formación de peróxidos orgánicos y óxidos de nitrógeno que contribuyen de modo importante a la niebla fotoquímica espesa y oscura y a otras formas de contaminación del aire. Puesto que tales compuestos no son estables a las temperaturas de tratamiento 10 más altas permitidas por la presente invención, se puede obtener un efluente de incineración de los residuos que tiene un contenido muy bajo de contaminantes.

15 Adicionalmente, la presente invención considera la destilación y/o disociación destructivas anaerobias a temperatura alta de los residuos para obtener productos útiles tales como negro de humo, carbón vegetal activado, hidrógeno, y desperdicios de vidrio, para citar unos cuantos. La adición de vapor de agua a tales residuos producirá monóxido de carbono e hidrógeno, los cuales pueden someterse luego a tratamiento de la manera convencional para obtener gases combustibles. Finalmente, la adición de hidrógeno a tal residuo producirá aceites pesados equivalentes a los de petróleo y otros productos de petróleo. Así pues, se pueden lograr reducciones sustanciales en la 20 contaminación del aire así como beneficios económicos im-

25

portantes por medio de las aplicaciones de la presente invención consideradas.

5 La presente invención representa un avance fundamental en la técnica. Dado que hace asequible por vez primera una fuente de energía térmica que nunca se ha utilizado de esta manera, sus aplicaciones potenciales son numerosas y variadas. Además, al resolver el problema de la resistencia de los materiales que ha constituido un serio obstáculo para la técnica durante muchos años, esta
10 invención hace posible en el sentido práctico muchas reacciones químicas útiles que se conocen desde hace largo tiempo pero que no habían podido llevarse a la práctica debido a limitaciones de temperatura inherentes a los reactores que dependían de transmisión de calor por con-
15 vención y/o conducción.

DESCRIPCION BREVE DE LOS DIBUJOS

20 La FIG. 1 es un alzado en corte parcial de una realización del reactor de la presente invención;

la FIG. 2A es un alzado en corte del extremo de entrada de una segunda realización del reactor de la presente invención;

25 la FIG. 2B es un alzado en corte del extremo de salida de la segunda realización del reactor de la pre-

sente invención; las FIGS. 2A y 2B representan mitades de una estructura integral que se ha dividido a lo largo de la línea A-A con el fin de proporcionar una ilustración de tamaño suficiente para que muestre claramente ciertos detalles estructurales;

5

la FIG. 2C es una perspectiva en corte parcial de la segunda realización del reactor de la presente invención en la que ciertos elementos se han eliminado o se ilustran en forma diagramática para exponer de modo más claro el funcionamiento del reactor;

10

la FIG. 3 es un corte realizado sustancialmente a lo largo de la línea 3-3 de la FIG. 2A;

la FIG. 4 es un corte realizado sustancialmente a lo largo de la línea 4-4 de la FIG. 2B;

15

la FIG. 5 es un corte realizado sustancialmente a lo largo de la línea 5-5 de la FIG. 2A; y

la FIG. 6 es una perspectiva de una porción de los medios de calentamiento del tubo del reactor de la segunda realización de la presente invención.

20

DESCRIPCION DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

Haciendo referencia específicamente a la FIG. 1, una primera realización del presente reactor químico para temperatura alta comprende un tubo de reactor 11 que tiene un extremo de entrada 12 y un extremo de salida 14. El tubo del reactor 11 incluye una pared interior 15 y una pared exterior 16 que definen un canal anular entre ambas, y el interior del tubo 11 constituye una cámara de

25

reactor 17. El tubo 11 está hecho de un material que es prácticamente transparente a la radiación. Materiales adecuados de esta naturaleza que exhiben un coeficiente de absorción α muy bajo incluyen vidrio, cuarzo, óxido de aluminio sinterizado caliente, óxido de itrio sinterizado caliente, pyrex (un vidrio de borosilicato), vycor (un vidrio de silicato) y zafiro; polímeros orgánicos tales como plexiglass (acrílico), lucita (acrílico), polietileno, polipropileno y poliestireno; y sales inorgánicas tales como los haluros de sodio, potasio, cesio, litio o plomo.

Tal como se utilizan en esta memoria, los términos "energía radiante" y "radiación" tienen por objeto abarcar todas las formas de radiación con inclusión de partículas nucleares ricas en energía o productoras de impactos. Sin embargo, dado que la utilización práctica de tal radiación no es posible en el estado presente de la técnica, la radiación del cuerpo negro u otra radiación electromagnética, en particular de longitudes de onda comprendidas entre aproximadamente 100 micras y 0,01 micras, se considera que es la fuente primaria de energía en la que se basan las consideraciones de diseño.

Durante el funcionamiento del reactor 10 se introduce a través de la entrada 18 un medio fluido que es sustancialmente transparente a la radiación, circula a

lo largo del canal anular para enfriar el tubo del reactor 11, y sale al exterior por la salida 19. Tal medio fluido puede ser un gas o un líquido; fluidos adecuados representativos que tienen coeficientes de absorción α bajos incluyen agua en estado líquido o gaseoso, agua pesada, nitrógeno, oxígeno y aire.

Los medios para la introducción de un fluido inerte en la cámara del reactor 17 a través de una entrada 20 comprenden difusores laminares primero y segundo 21 y 22, respectivamente, que están dispuestos adyacentes al extremo de entrada 12 del tubo 11. Tales difusores 21 y 22 pueden tener la forma de almas de panal o cualquier otra configuración adecuada que haga que un fluido dirigido a presión a su través fluya de un modo sustancialmente laminar. El fluido inerte se introduce, así pues, sustancialmente en dirección axial en la cámara 17 del reactor para proporcionar una capa de protección de la superficie radialmente interior del tubo 11 del reactor y se recoge para su recirculación a medida que sale por la salida 23. El fluido inerte es sustancialmente transparente a la radiación, por tener un valor α bajo. Los fluidos que son adecuados para este propósito incluyen gases simples tales como helio, neón, argón, kriptón y xenón; gases complejos que no se descomponen para formar un producto sólido tales como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y amoníaco; y agua en estado

líquido o gaseoso. El término "inerte", tal como se utiliza en esta memoria, implica dos factores: la aptitud del fluido para reaccionar químicamente con el material del tubo ll del reactor, y la aptitud del fluido para reaccionar químicamente con los materiales que se están tratando. Así, la selección de un fluido de protección "inerte" depende en cada caso del ambiente particular. Excepto que se provea específicamente otra cosa, es deseable que el fluido sea inerte con respecto al tubo del reactor, y usualmente es deseable que el fluido sea inerte con respecto a la reacción que se lleva a cabo. No obstante, se considera que en algunos casos el fluido "inerte" de la capa de protección pueda participar también en la reacción como, por ejemplo, si se hacen reaccionar partículas de hierro o de carbono en presencia de una capa de protección de vapor de agua para producir óxido de hierro e hidrógeno o monóxido de carbono e hidrógeno, respectivamente.

Las sustancias reaccionantes se introducen en la cámara 17 del reactor a través de una entrada 24 situada en el extremo de entrada 12 del tubo ll del reactor. Las sustancias reaccionantes se dirigen a lo largo de una trayectoria previamente determinada 25 axialmente con relación al tubo ll del reactor y se ven confinadas por la

capa del fluido inerte de protección sustancialmente en una posición centrada en el interior de la cámara 17 del reactor fuera del contacto con el tubo 11 del reactor.

5 Una fuente de energía radiante de alta intensidad (no representada) está dispuesta en el interior de un reflector pulimentado 31 que está montado en un bas-
10 tidor 32 en el exterior del tubo 11 del reactor. La fuente de energía radiante puede ser un arco de plasma, un filamento calentado, una llama sembrada, una lámpara "flash" modulada por impulsos, u otro medio adecuado; un
15 dispositivo de rayos laser puede servir también como fuente pero, hasta el presente, la tecnología de los rayos laser no se ha desarrollado lo suficiente para que resulte económicamente práctica para los fines considerados por la presente invención. La energía radiante generada por la fuente es recogida por el reflector 31 y se dirige a través del tubo 11 al interior de la cámara 17 del reactor para coincidir con al menos una porción de la trayectoria 25 de las sustancias reaccionantes. De este modo se absorberá suficiente energía radiante para elevar la temperatura de las sustancias reaccionantes hasta un nivel
20 requerido para iniciar y llevar a cabo la reacción química deseada. Como se ha indicado previamente, el tubo 11, el fluido de refrigeración y la capa inerte de protección son todos ellos sustancialmente transparentes a la energía
25

radiante. De acuerdo con ello, los mismos no interfieren en una proporción importante con la transmisión de la energía a la corriente de sustancias reaccionantes y permanecen relativamente fríos. Así pues, el tubo 11 del reactor no se ve sometido a un esfuerzo térmico apreciable y permanece exento de precipitados y otros depósitos que normalmente se acumularían.

La exposición anterior presupone que las sustancias reaccionantes propiamente dichas exhiben un coeficiente α de absorción de la radiación relativamente alto. No obstante, si no es éste el caso, debe introducirse un blanco absorbente de la energía radiante en la cámara 17 del reactor de modo que coincida con al menos un punto a lo largo de la trayectoria 25 de las sustancias reaccionantes. En la realización de la FIG. 1, el blanco es un sólido finamente dividido tal como polvo de carbono u otro material adecuado que entra en la cámara del reactor 17 junto con las sustancias reaccionantes a través de la entrada 24 y absorbe suficiente energía radiante para elevar la temperatura de las sustancias reaccionantes hasta el nivel requerido.

Alternativamente, el blanco puede ser un líquido tal como alquitrán, asfalto, aceite de linaza o dieseloil, y puede incluir soluciones, dispersiones, geles y suspensiones de constitución diversa que pueden se-

5 leccionarse fácilmente a partir de materiales asequibles para adaptarse a los requisitos particulares. El blanco puede ser un gas que preferiblemente exhiba absorción en el espectro electromagnético desde aproximadamente 100 micras hasta aproximadamente 0,01 micras; tales gases incluyen etileno, propileno, óxidos de nitrógeno, bromo, cloro, yodo, y bromuro de etilo. El blanco puede ser también un elemento sólido hecho de un material tal como carbono que está dispuesto en la cámara 17 del reactor a lo largo de al menos una porción de la trayectoria 25 de las sustancias reaccionantes.

10 Otros medios para elevar la temperatura de la reacción al nivel requerido pueden incluir un elemento calentado eléctricamente, un arco eléctrico o una llama dispuesta en el interior de la cámara 17 del reactor coincidente con al menos una porción de la trayectoria 25 de las sustancias reaccionantes. En tales casos, la fuente de calor iniciadora de la reacción es autónoma y no se deriva de los medios de generación de la energía radiante. Tales medios son particularmente útiles cuando las sustancias reaccionantes propiamente dichas son transparentes a la radiación pero al menos uno de los productos de la reacción es absorbedor. Así, una vez que se ha iniciado la reacción considerada, los medios de elevación de la temperatura pueden desactivarse, dado que los productos de la

15

20

25

reacción absorberán suficiente energía radiante para que se mantenga la reacción. Análogamente, si se utiliza un medio de blanco puede interrumpirse su empleo o retirarse el mismo una vez que ha comenzado la reacción, por ejemplo mediante funcionamiento de un medio de control 35. Un ejemplo de una reacción en la que se requiere un blanco u otro medio de iniciación solamente al comienzo es la pirólisis del metano para producir carbono e hidrógeno.

Como se ha indicado previamente, algunas reacciones pueden invertirse parcialmente o por completo si los productos de la reacción no se enfrían inmediatamente y con rapidez. Para este fin, puede estar provisto un medio 40 de enfriamiento de los productos de la reacción en el interior de la cámara 17 del reactor adyacente al extremo de salida 14 del tubo 11 del reactor. Una realización de tales medios 40 está dispuesta sustancialmente en posición central en el interior de la cámara 17 del reactor e incluye un miembro tubular 41 que tiene un canal interior 42 a través del cual se hace circular un medio refrigerante tal como agua. La superficie radialmente interior del tubo 41 está diseñada de tal modo que constituya un absorbedor de energía radiante. A medida que los productos de la reacción, las sustancias reaccionantes remanentes y los blancos, en su caso, pasan por dentro del tu-

bo enfriado 41, el calor se transmite rápidamente por acoplamiento de radiación y el sistema se enfría bruscamente de modo efectivo a fin de evitar cualesquiera otras reacciones químicas indeseables.

5 Haciendo referencia ahora a las FIGS. 2A a 6, inclusive, y en particular a las FIGS. 2A a 2C, una segunda realización del presente reactor 60 comprende un tubo 61 del reactor que tiene un extremo de entrada 62 y un extremo de salida 63; el interior del tubo 61 define una cámara 65 del reactor. El tubo 61 del reactor está
10 hecho de un material poroso que es capaz de emitir energía radiante; preferiblemente, el diámetro de poro está comprendido en el intervalo de aproximadamente 25,4 a 508 micras a fin de permitir un flujo uniforme de cantidad
15 suficiente del fluido inerte a través de la pared del tubo para proporcionar una capa de protección adecuada. Otras construcciones de pared tales como tela metálica, y tamices de diversos tipos de perforaciones pueden utilizarse también para proporcionar el resultado deseado.
20 El tubo 61 del reactor puede estar hecho de materiales tales como grafito, carbono, acero inoxidable sinterizado, wolframio sinterizado, o molibdeno sinterizado, y otros materiales inorgánicos tales como óxidos de torio, magnesio, zinc, aluminio o zirconio, entre otros. Wolframio,
25 níquel y molibdeno son también adecuados para uso como te-

la metálica o tamiz.

5 Un recipiente tubular 70 de presión, estanco a los fluidos, que está construido preferiblemente en acero inoxidable, circunda el tubo 61 del reactor. La integridad del recipiente 70 está mantenida por una serie de bridas de cierre hermético 71, 72; 73, 74; y 75, 76, que unen las varias secciones del reactor 60. Las bridas 72, 73 y 76 están además ranuradas para alojar anillos "O" de acero inoxidable 77, 78 y 79, respectivamente, los cuales actúan como cierres herméticos de presión. El tubo 61 del reactor está montado de modo que puede deslizarse por uno de sus extremos dentro de un manguito de grafito 81 que admite cualquier alargamiento del tubo 61 que pueda producirse durante el funcionamiento a temperaturas elevadas.

10

15

El recipiente de presión 70 incluye adicionalmente una entrada 83 para admisión de un fluido inerte, que como en el caso de la realización de la FIG. 1, es sustancialmente transparente a la energía radiante. El fluido inerte se dirige en primer lugar a presión hacia el interior de una cámara de sobrepresión 85 que está definida entre el tubo 61 del reactor y la pared del recipiente de presión 70. Después de ello, tal fluido se dirige a través de la pared porosa del tubo 61 hacia el interior de la cámara 65 del reactor para constituir una capa de protec-

20

25

ción de la superficie radialmente interior del tubo 61 del reactor.

5 Los medios de enfriamiento del recipiente de presión 70 comprenden serpentines de refrigeración 87 que están dispuestos alrededor de la superficie radialmente exterior del recipiente de presión 70. Los serpentines 87 están cubiertos preferiblemente con un revestimiento de aluminio pulverizado a la llama que mejora el contacto 10 térmico entre el recipiente 70 y los serpentines 87 para aumentar la eficiencia de la refrigeración. Tales serpentines 87 están dispuestos también alrededor de una abertura de observación 88 que está provista en la pared del recipiente de presión.

15 Como se muestra mejor en las FIGS. 2A y 3, las sustancias reaccionantes se introducen en la cámara 65 del reactor por el extremo de entrada 62 del tubo 61 del reactor. Los medios para introducir las sustancias reaccionantes comprenden una sección de entrada 90 que está montada en relación estanca a los fluidos por medio de bridas 71 20 y 72 adyacentes al extremo de entrada 62 del tubo 61. Las sustancias reaccionantes son transportadas en una corriente gaseosa a través de la entrada 91, atraviesan un tabique tangencial 92 y entran en una cámara de sobrepresión 93 que está definida entre una pared exterior 94 y un difusor 95. Los materiales adecuados para el difusor 95, cu- 25

ya función es minimizar la turbulencia en la corriente, incluyen carbono poroso, lana de acero y tamices de malla. Como en el caso de la realización de la FIG. 1, las sustancias reaccionantes se dirigen según una trayectoria predeterminada axialmente con respecto al tubo 61 del reactor y se ven confinadas por la capa de protección sustancialmente en una posición central en el interior de la cámara 65 del reactor y fuera del contacto con la pared interior del tubo del reactor.

10 En la segunda realización, el tubo 61 del reactor genera por sí mismo la energía radiante de alta intensidad, que se dirige centralmente en el interior de aquél sustancialmente en coincidencia con al menos una porción de la trayectoria de las sustancias reaccionantes. El calentamiento se proporciona por medio de una pluralidad de
15 electrodos de carbono 100a-100f que están dispuestos radialmente en el exterior del tubo 61 y distanciados circunferencialmente alrededor del mismo; el calor generado por los electrodos 100 se transmite al tubo 61 por radiación. En la segunda realización, como se muestra mejor en
20 las FIGS. 2A, 5 y 6, los electrodos 100a y 100b, por ejemplo, están empotrados por un extremo en un elemento 101a de cruce de carbono arqueado; los electrodos 100c y 100d están empotrados en el elemento de cruce 101b; y los electrodos 100e y 100f están empotrados análogamente en el
25

elemento de cruce 101c. Separadores tubulares de alúmina 102a-102c tienen la función doble de centrar el tubo poroso 61 del reactor y de dividir los tres circuitos. Haciendo referencia específicamente a las FIGS. 2B y 4, cada electrodo de carbono 100a-100f está montado por su otro extremo en un electrodo 104 de barra colectora de cobre. Aun cuando existen seis de tales electrodos 104, sólo se muestra realmente uno de ellos en la FIG. 4 por razones de conveniencia. Cada uno de los electrodos 104 de barra colectora de cobre incluye una brida fenólica 105 y un aislador de cerámica 106. El electrodo 104 está enfriado por agua que circula en un canal interior 107, entrando por la entrada 108 y saliendo por la salida 109. Una conexión eléctrica a una corriente de alta intensidad se ilustra en 110. Un cierre estanco de politetrafluoretileno, 111, ayuda a impedir que se produzcan fugas en el recipiente de presión 70. El sistema eléctrico ilustrado aquí es particularmente adecuado para uso con una fuente de energía trifásica. No obstante, se pueden utilizar otros sistemas cuando las circunstancias lo permitan. Adicionalmente, se considera que el tubo poroso 61 puede calentarse en sí mismo directamente por resistencia eléctrica; en tal caso se pueden eliminar los electrodos 100.

La eficiencia térmica de los medios de calentamiento del tubo se mejora adicionalmente por la provisión

de una pantalla térmica de molibdeno 120 que constituye la superficie que confina la "cavidad de cuerpo negro", reflejando la radiación electromagnética desde los electrodos de carbono 100 hacia el tubo poroso 61. Por cuanto la pantalla térmica 120 refleja el calor en lugar de transmitirlo, se comporta como un aislador y puede por tanto estar hecha de cualquier material que exhiba esta característica y que pueda soportar las temperaturas generadas por los electrodos 100. La pantalla térmica 120 está dispuesta en el interior del recipiente de presión 70 radialmente al exterior de los electrodos 100 y comprende preferiblemente una tira plana de sección transversal rectangular que está enrollada en una serie de vueltas helicoidales. Tal construcción permite que el gas de protección inerte entre a través de la entrada 83 y circule libremente por toda la cámara de sobrepresión 85.

Como en el caso de la realización de la FIG. 1, puede proveerse si se requiere un medio de blanco u otro medio iniciador. Los medios de blanco se introducen en la cámara 65 del reactor por una entrada 121. Asimismo, pueden proveerse medios 125 para enfriar los productos de la reacción, de una construcción como la que se ha descrito previamente, o de cualquier otra construcción adecuada, con el fin de impedir cualesquiera reacciones químicas indeseables que podrían producirse si los productos

de la reacción no se enfriasen inmediatamente después de su formación.

La ventaja fundamental de la segunda realización sobre la primera realización consiste en que en la primera, la capa de fluido inerte se introduce en la cámara 65 en un sentido dirigido radialmente hacia el interior, mientras que en la última, la capa de protección se introduce axialmente en la cámara 17. Se apreciará que el flujo laminar puede mantenerse sólo en distancias relativamente cortas antes que la turbulencia ocasione el entremezclado y destruya la integridad de la capa de protección. Como la introducción de la capa radial no requiere el flujo laminar del fluido de la capa de protección, pueden obtenerse longitudes de cámara mucho mayores en los reactores axiales. Todo lo que es preciso hacer en la segunda realización es mantener el nivel absoluto de la presión del fluido inerte mayor que el nivel absoluto de la presión en la corriente de sustancias reaccionantes con el fin de impedir que cualesquiera sustancias reaccionantes y/o productos de la reacción choquen contra el tubo 61 del reactor. Esta característica contribuye a hacer la segunda realización más adecuada para operación comercial en gran escala.

Una distinción adicional entre las respectivas realizaciones es que el tubo 11 del reactor de la FIG. 1

5
10
15
20
25

está enfriado positivamente mientras que el tubo 61 de la FIG. 2. tiene que calentarse y puede operar a temperaturas que exceden de 2982,2°C como sucede en el caso en que el material base es óxido de torio poroso. Aunque la pared fría es más apta para soportar la presión por el hecho de que no está sometida a esfuerzos térmicos, la pared caliente 61 no está sometida a un gradiente de presión, a excepción quizás de la diferencia de presión relativamente pequeña entre la capa de protección y la corriente de reactivos. La presión está soportada por la pared 70 del recipiente de presión de acero inoxidable, la cual, por supuesto, está enfriada por los serpentines 87 y por tanto no se ve sometida a esfuerzos térmicos. De acuerdo con ello, un material refractario, tal como carbono u óxido de torio, que pueda soportar temperaturas que excedan de las tolerables por los materiales convencionales para paredes de reactor pero que es inadecuado para uso en un reactor convencional de tipo convectivo, puede emplearse ahora por primera vez para proporcionar un sistema práctico para temperatura ultraelevada.

La presente invención considera adicionalmente una tercera realización que combina las características de las dos primeras. De acuerdo con ello, el tubo del reactor puede estar construido de un material poroso que sea sustancialmente transparente a la radiación. Los mate-

5 riales de pared adecuados incluyen, por ejemplo, cuarzo
poroso, frita de vidrio poroso, y zafiro poroso. Un flui-
do inerte que sea sustancialmente inerte a la radiación
puede introducirse así en la cámara del reactor radial-
mente hacia el interior a través de la pared porosa del
reactor en lugar de axialmente de modo laminar como se ha
descrito con respecto a la primera realización. La ener-
gía radiante se genera, se recoge y se dirige al interior
de la cámara del reactor también como se ha descrito con
10 respecto a la primera realización.

La tercera realización proporciona la mayor
densidad de potencia de la primera realización y la capa
de fluido de protección inyectada radialmente de la segun-
da realización. Sin embargo, en la presente situación de
15 desarrollo, la segunda realización es la más adecuada pa-
ra aplicaciones comerciales en gran escala, dado que su
fuente de energía radiante procede del calentamiento ordi-
nario por resistencias eléctricas. La segunda realización
es por consiguiente más fácilmente susceptible de puesta
20 en servicio y de mantenimiento. Además, la segunda reali-
zación puede prestarse a la realización de la totalidad de
los procedimientos y reacciones que se consideran en la
presente invención, sin más que ajustar el tiempo de per-
manencia de las sustancias reaccionantes en el interior
25 de la cámara del reactor para compensar la menor densidad

de potencia.

PARAMETROS DEL PROCEDIMIENTO

Los procedimientos de reacción química de alta temperatura conducidos de acuerdo con la presente invención requieren el uso de una envolvente o capa de protección anular de un fluido inerte que sea sustancialmente transparente a la radiación. La envolvente tiene una longitud axial sustancial. La envolvente anular puede estar generada en una dirección generalmente paralela a su eje o en una dirección generalmente perpendicular a su eje y radialmente hacia el interior de su superficie circunferencial exterior.

En el primer caso, como se ha descrito previamente con respecto a la primera realización del presente reactor, el fluido de la envolvente tiene que mantenerse en flujo laminar a fin de impedir el entremezclado con la corriente de sustancias reaccionantes. Este requisito impone ciertas limitaciones sobre la longitud axial de la envolvente debido a que tal flujo laminar, y por tanto la integridad de la capa de protección, no pueden mantenerse en longitudes indefinidas aguas abajo, en especial si se considera una reacción particularmente violenta. De acuerdo con ello, esta manera de generarse la envolvente es sumamente adecuada para aplicaciones en pequeña escala y en escala de laboratorio.

En el último caso, como se ha descrito previamente con respecto a la segunda realización de la presente invención, la integridad de la envolvente de fluido es inde-

pendiente de cualesquiera consideraciones de flujo y puede mantenerse en una distancia axial mucho mayor que la que se puede alcanzar en el caso de la envolvente laminar inyectada axialmente. El requisito primario consiste en mantener el flujo de fluido inerte a una presión mayor que la de la corriente de sustancias reaccionantes a fin de impedir que tales sustancias reaccionantes "perforen" o de cualquier otro modo se escapen de los confines del interior de la envolvente.

Una vez que se ha generado la envolvente, al menos una sustancia reaccionante se hace pasar a través de su núcleo a lo largo de una trayectoria predeterminada que es sustancialmente coincidente con el eje de la envolvente. La envolvente confina las sustancias reaccionantes en su interior y fuera del contacto con las superficies circundantes de la cámara del reactor.

Por último, se dirige energía radiante de alta intensidad hacia el núcleo de la envolvente de tal modo que coincida con al menos una porción de la trayectoria predeterminada de las sustancias reaccionantes. Tal energía radiante puede dirigirse a al menos un punto situado a lo largo de la trayectoria de las sustancias reaccionantes como en la primera realización o bien se puede dirigir a lo largo de una longitud finita de dicha trayectoria, tal como se considera en la segunda realización. En cualquier caso, se absorbe el núcleo

suficiente energía radiante para elevar la temperatura de las sustancias reaccionantes hasta un nivel requerido para que se inicie la reacción química deseada.

5 En el supuesto de que las sustancias reaccionantes no absorban por sí mismas energía radiante, puede introducirse un blanco absorbente a lo largo de la trayectoria de las sustancias reaccionantes, preferiblemente antes de dirigir la energía radiante hacia el interior del núcleo. El blanco absorberá entonces suficiente energía
10 radiante para elevar la temperatura en el núcleo al nivel requerido para que se inicie la reacción química deseada. Como se ha indicado anteriormente, si la reacción considerada es tal que las sustancias reaccionantes transparentes producen al menos un producto que absorbe energía radiante,
15 el blanco puede desactivarse una vez que se ha iniciado la reacción.

El procedimiento considerado puede incluir adicionalmente la etapa de enfriamiento de los productos de la reacción y de cualesquiera sustancias reaccionantes y/o
20 blancos que puedan quedar inmediatamente después de haberse completado la reacción deseada. El fin de este procedimiento es terminar la reacción deseada e impedir que se produzca cualquier otra reacción indeseable. Los productos, blancos, y sustancias reaccionantes remanentes pueden en-
25 friarse conveniente y eficazmente mediante transmisión de

calor por radiación a una superficie fría absorbente de energía radiante.

UTILIZACION DE LOS REACTORES DE PARED FLUIDA

5

10

15

20

25

Los reactores de pared fluida de la invención pueden utilizarse virtualmente en cualquier reacción química de alta temperatura, muchas de cuyas reacciones se han considerado con anterioridad como imposibles de llevar a la práctica o sólo teóricamente posibles. El criterio más importante para la utilización de estos reactores de pared fluida en una reacción química particular a temperatura elevada es saber si tal reacción es termodinámicamente posible en las condiciones de reacción. Utilizando estos reactores de pared fluida, tales procedimientos de reacción química a temperatura elevada pueden conducirse a temperaturas de hasta aproximadamente 3315°C , bien sea (1) generando en el interior del tubo poroso del reactor una envolvente anular constituida por un fluido inerte que es sustancialmente transparente a la energía radiante para formar una capa de protección de la superficie radialmente interior del tubo del reactor, teniendo la envolvente anular una longitud axial sustancial y definiendo el interior de la envolvente una cámara de reacción; (2) haciendo pasar al menos una sustancia reaccionante (que puede hallarse en estado só-

lido, líquido o gaseoso) a través de la cámara de reacción a lo largo de una trayectoria predeterminada sustancialmente coincidente con el eje longitudinal de la envolvente, estando confinadas las sustancias reaccionantes en el interior de la cámara de reacción; y (3) dirigiendo energía radiante de alta intensidad al interior de la cámara de reacción de tal modo que coincida con al menos una porción de la trayectoria predeterminada de las sustancias reaccionantes, siendo absorbida suficiente energía radiante en el interior de la cámara de reacción para elevar la temperatura de las sustancias reaccionantes a un nivel requerido para iniciar y mantener la reacción química deseada.

Entre las reacciones que se pueden llevar a cabo en los reactores de pared fluida de la invención se encuentran la disociación de hidrocarburos y materiales hidrocarbonosos, tales como hulla y diversas fracciones de petróleo, en hidrógeno y negro de humo; la reformación con vapor de agua de hulla, fracciones de petróleo, esquistos bituminosos, arenas alquitranosas, lignito, y cualquier otro material de alimentación carbonoso o hidrocarbonoso en mezclas de gas de síntesis, procedimientos que pueden incluir también el empleo opcional de uno o más carbonatos inorgánicos (tales como piedra caliza o dolomita) u óxidos inorgánicos que reaccionen químicamente con cualesquiera

contaminantes que contengan azufre de tal modo que los mismos puedan separarse de las mezclas de gas de síntesis resultantes; la disociación parcial de hidrocarburos y materiales hidrocarbonosos en compuestos de peso molecular inferior; la pirólisis parcial de hidrocarburos saturados en hidrocarburos insaturados, tales como etileno, propileno y acetileno; la conversión de materias orgánicas de desecho, tales como fango de aguas de alcantarillado o subproductos que contengan lignina, en un gas combustible; la desulfuración completa o parcial de materiales de alimentación hidrocarbonosos que contengan azufre, la reducción de monas de minerales o compuestos inorgánicos a un estado de valencia inferior con hidrógeno, carbono, gas de síntesis, u otro agente reductor; y la reacción parcial o completa de un elemento o compuesto inorgánico con un material carbonoso para formar el carburo inorgánico correspondiente.

Si se desea, pueden utilizarse uno o más catalizadores en tales procedimientos de reacción química a temperatura elevada para acelerar la reacción o para alterar su curso a una secuencia de reacción deseada. Si tales procedimientos implican sustancias reaccionantes carbonosas o hidrocarbonosas, la adición de un catalizador apropiado al sistema puede utilizarse para favorecer la formación de radicales libres, iones carbono o carbaniones para influir en el curso de la reacción.

Por supuesto, no existe ningún conjunto de condiciones de funcionamiento que sea óptimo o apropiado para todas las reacciones que pueden llevarse a cabo en el reactor de pared fluida. Las condiciones de funcionamiento, tales como temperaturas, presiones, caudales de alimentación, tiempo de permanencia en el tubo del reactor, y velocidades de enfriamiento, pueden variarse para adaptarlas a los requisitos de la reacción particular que se esté llevando a cabo. A modo de ilustración, entre los factores que influyen en los productos de la pirólisis de un hidrocarburo se encuentra la temperatura a la que se calienta el hidrocarburo y el período de tiempo durante el cual se mantiene aquél a dicha temperatura. Es sabido, por ejemplo, que el metano tiene que calentarse a aproximadamente 1232°C, con objeto de producir acetileno. La formación de etileno a partir del etano comienza a una temperatura más baja, aproximadamente a 829°C. En un procedimiento típico para pirolizar hidrocarburos, se producen acetileno, etileno, hidrógeno, negro de humo, y aceites hidrocarbureados. Tiempos de reacción del orden de un milisegundo maximizan por lo general el rendimiento de acetileno, dado que tiempos de reacción mayores que un milisegundo favorecen en general la producción de etileno y otros productos a expensas del acetileno, mientras que los tiempos de reacción menores que un milisegundo reducen por

regla general los rendimientos tanto en etileno como en acetileno. Temperaturas muy elevadas, por ejemplo superiores a 1648,9°C, favorecen en general la producción de negro de humo e hidrógeno a expensas de acetileno y etileno. Los tiempos de reacción en los reactores de pared fluida de la invención pueden disminuirse acortando el tubo del reactor y aumentando el caudal de las sustancias reaccionantes que se introducen en el tubo del reactor. Para tiempos de reacción muy cortos, puede ser ventajoso mezclar un blanco absorbedor de la radiación, tal como negro de humo, con las sustancias reaccionantes con objeto de favorecer un acoplamiento eficiente entre la corriente de sustancias reaccionantes y la radiación térmica procedente de la pared del tubo y facilitar así el calentamiento rápido de las sustancias reaccionantes.

EJEMPLOS

Los ejemplos que siguen son ilustrativos de la facilidad con que pueden llevarse a cabo diversos procedimientos de reacción química a temperatura alta en reactores de pared fluida de acuerdo con la invención. En todos y cada uno de estos ejemplos, se utilizó el reactor de pared fluida para temperatura elevada previamente ilustrado por las FIGS. 2A a 6, para llevar a cabo la reacción

de alta temperatura particular. El tubo 61 del reactor era un tubo de grafito poroso de 90 cm de longitud que tenía un diámetro interior de 7,5 cm y un diámetro exterior de 10 cm, siendo el radio medio de poro 20 micras.

5 El tubo poroso estaba alojado en un recipiente de presión 70 de acero, que tenía un diámetro de 25 cm. El tubo 61 del reactor se calentó por medio de electrodos de carbono 100a a 100f, los cuales estaban dispuestos en el interior de la cámara de sobrepresión 85. La pantalla térmica 120,

10 localizada también en el interior de la cámara de sobrepresión 85, estaba hecha de molibdeno. Un collar 124 refrigerado por agua estaba localizado adyacente al extremo de salida del tubo 61 del reactor para enfriar los productos de reacción formados por acoplamiento de radiación. Después de haber llevado a cabo cada ejemplo continuamente

15 durante diversos períodos de tiempo, se inspeccionó el tubo 61 del reactor en cuanto a la acumulación de negro de humo u otros materiales. No se encontró material alguno.

20

EJEMPLO I

DISOCIACION TERMICA DEL METANO

25 Se realizaron una serie de ensayos para determinar la efectividad del reactor de pared fluida en la di-

,sociación térmica del gas natural a diversos caudales de alimentación y diversas temperaturas de reacción. En todos y cada uno de estos ensayos, se introdujo hidrógeno en la cámara de sobrepresión 85 a través de la entrada 83 y se forzó a través del tubo poroso 61 del reactor para que penetrase en la cámara del reactor a un caudal constante de 141,5 litros normales/minuto. Se ajustó la corriente que pasaba por los electrodos 100a - 100f a fin de establecer la temperatura del tubo del reactor entre 1260^o y 1871,1^oC, medida con un pirómetro óptico. El gas natural, constituido por más de 95% de metano y siendo el resto etano y propano, se introdujo en el reactor a través de la entrada 91 a diversos caudales comprendidos entre 28,3 y 141,5 litros normales/minuto. Se introdujo en el reactor una pequeña cantidad de negro de humo al mismo tiempo a través de la entrada 121 con objeto de que sirviera como blanco absorbente con el fin de iniciar la disociación pirolítica. Una vez que hubo comenzado la disociación, no fué necesario añadir negro de humo adicional para mantener la reacción. Un humo negro y denso brotó por el extremo de salida del tubo del reactor, encontrándose que estaba constituido por negro de humo e hidrógeno. Las partículas del negro de humo eran extremadamente finas y difíciles de filtrar. Por pulverización de agua en la corriente efluente inmediatamente por debajo del extremo de salida del tubo 61 del reac-

tor, fué posible aglomerar las partículas de negro de humo y recogerlas sobre un filtro de tela para polvo fino. En la Tabla I se indica el porcentaje de disociación a diversos caudales comprendidos entre 28,3 y 141,5 litros normales/minuto y a temperaturas de disociación comprendidas entre 1260° y 1871,1°C, determinándose la fracción de metano disociada por medida de la conductividad térmica del gas efluente después de filtrar las partículas de negro de humo de la muestra.

TABLA I

PORCENTAJE DE DISOCIACION A DIVERSOS CAUDALES Y TEMPERATURAS

Temperatura de Disociación (°C)	Caudal (litros normales/minuto)				
	<u>28,3</u>	<u>56,6</u>	<u>84,9</u>	<u>113,2</u>	<u>141,5</u>
1260°	86	74	66	60	54
1371,1°	89	79	72	68	63
1482,2°	91,5	83	78	74,5	70,5
1593,3°	94	88	84,5	82,0	79
1648,9°	95,5	91	88,5	86	83,5
1704,4°	97	94	92,5	91,0	89,5
1760°	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5
1815,5°	100	100	100	100	100
1871,1°	100	100	100	100	100

EJEMPLO II

DISOCIACION TERMICA DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS

5 Se llevó a cabo una serie de ensayos para de-
terminar la efectividad del reactor de pared fluida en la
disociación térmica de hidrocarburos líquidos. Se empleó
hidrógeno como gas de protección, a un caudal constante
de 141,5 litros normales/minuto. Los hidrocarburos líqui-
dos seleccionados para las series de ensayos fueron desti-
10 lados típicos obtenidos a partir de petróleo crudo e in-
cluían nafta (punto de ebullición 37,8° a 93,3°C); quero-
seno-diesel (punto de ebullición 104,4° a 176,7°C); gasoil
(punto de ebullición 176,7° a 315,6°C); y aceite residual
y asfalto (punto de ebullición mayor que 315,6°C). Los re-
15 sultados de estos ensayos fueron los siguientes:

A. NAFTA. Una corriente de nafta, a una tem-
peratura aproximada de 27°C, se introdujo como alimenta-
ción en el tubo 61 del reactor a un caudal de 0,19 litros
por minuto a través de la entrada 121. La temperatura del
20 tubo del reactor se mantuvo a 1871,1°C. La nafta pura pa-
só a través del reactor inafectada, siendo aparentemente
transparente a la radiación térmica que emanaba del tubo
del reactor incandescente. La nafta se hizo luego opaca
mezclándola con 0,1% en peso de negro de humo finamente
25 dividido. Cuando se introdujo esta mezcla opaca en el

, reactor como en el caso anterior, se observó un acoplamiento excelente con la radiación térmica. Por la salida del tubo del reactor brotaron negro de humo e hidrógeno. Un análisis del gas producido con una célula de conducti-

5 vidad térmica, demostró que el mismo contenía más de 98% en moles de hidrógeno, lo que indicaba que la disociación había sido casi completa.

10 B. QUEROSENO-DIESEL. Se mezcló queroseno-diesel con 0,1% en peso de negro de humo y se introdujo luego como alimentación en el reactor de pared fluida a un caudal de 0,19 litros por minuto. El tubo del reactor se mantuvo a 1871,1°C. El queroseno-diesel se disoció en negro de humo e hidrógeno. Las medidas de conductividad térmica indicaron que el gas efluente estaba constituido por más

15 de 98% en moles de hidrógeno.

20 C. GASOIL. Se introdujo gasoil mezclado con negro de humo en el reactor de pared fluida a un caudal de 0,19 litros por minuto. Cuando se mantuvo el tubo del reactor a 1871,1°C, el gasoil se disoció en negro de humo e hidrógeno, y cuando éste último se separó del negro de humo, se encontró que estaba constituido por 98% en moles de hidrógeno puro, basado en medidas de conductividad térmica. Cuando la temperatura del tubo del reactor se rebajó a

25 1537,8°C, el efluente del reactor cambió desde un humo negro denso a una niebla gris clara, lo que indicaba que a la

temperatura de reacción el gasóil se disociaba sólo parcialmente, probablemente en fracciones de hidrocarburos más ligeros y una pequeña cantidad de carbono.

5 D. ACEITE RESIDUAL Y ASFALTO. Se introdujo en el reactor de pared fluida aceite residual que contenía asfalto, a un caudal de 0,19 litros por minuto, disociándose por completo en negro de humo e hidrógeno cuando el tubo del reactor se mantuvo a 1871,1°C. El análisis de conductividad térmica del componente gaseoso de la corriente efluente indicó que esta estaba constituida por 10 más de 98% en moles de hidrógeno.

EJEMPLO III

DISOCIACION TERMICA DE LA HULLA

15 Se analizó una muestra de hulla grasa de Utah, encontrándose que contenía 0,58% en peso de azufre y 8,55% en peso de cenizas. Se pulverizó la hulla hasta pasar por un tamiz de 297 micras de abertura y se introdujo como 20 alimentación en el reactor a aproximadamente 15,88 kg por hora. El tubo 61 del reactor se mantuvo a 1648,9°C y se protegió con una capa de protección de nitrógeno, que se hizo pasar a través de la pared porosa a un caudal de 141,5 litros normales/minuto. La hulla se disoció en negro de humo, 25 productos gaseosos, y un coque ligero.

El negro de humo se diferenciaba del producido en el Ejemplo I por el hecho de que las partículas eran suficientemente grandes para poderse filtrar sin adición de agua. Se encontró que el negro de humo contenía 8,63% en peso de cenizas y 0,54% en peso de azufre. El producto gaseoso era una mezcla de hidrógeno y nitrógeno (el último, procedente del gas de protección), que contenía sólo 0,02% en moles de azufre, el cual estaba presente en forma de sulfuro de hidrógeno.

Aproximadamente el 62% en peso del material de partida se convirtió en coque. Este coque era extremadamente ligero y poroso; su densidad era sólo el 35% de la densidad de la hulla a partir de la cual se había obtenido. Recién preparado, el coque se oxidaba espontáneamente al aire para convertirse en cenizas en menos de 12 horas, lo que indicaba que tenía una elevada actividad superficial. Cuando se dejó permanecer el coque a la temperatura ambiente en una atmósfera de nitrógeno durante la noche, no se observó evidencia alguna de actividad superficial y no se oxidó espontáneamente cuando se expuso subsiguientemente al aire. El examen microscópico del coque demostró que el mismo estaba constituido por glóbulos esféricos huecos y de pequeño tamaño de una sustancia semejante al vidrio. El análisis químico indicó que el coque contenía 8,27% en peso de cenizas y 0,70% en peso de azufre.

EJEMPLO IV

REFORMACION CON VAPOR DE AGUA Y GASIFICACION DE LA HULLA

5 Una muestra de hulla procedente de Carbon
County, Utah, que contenía cenizas con un contenido eleva-
do de caliza, se analizó y se encontró que contenía 0,60%
en peso de azufre. Se pulverizó la hulla hasta que pasó
por un tamiz de 297 micras de abertura y se introdujo como
alimentación en el reactor a aproximadamente 4,74 kg por
10 hora. Se introdujo simultáneamente en el reactor vapor de
agua a una temperatura de 121,1°C y a un caudal de 9,07 kg
por hora. El tubo 6l del reactor se mantuvo a 1871,1°C y
se protegió mediante una capa protectora de hidrógeno que
se hizo pasar a través de la pared porosa a un caudal de
15 141,5 litros normales/minuto. Se observó que brotaba un
vapor blanco y denso por la salida del reactor. No se ob-
servó evidencia alguna de que se hubiese producido canti-
dad alguna de negro de humo o de ningún otro residuo pesa-
do. No se encontró cantidad alguna de ceniza ni otro mate-
20 rial sólido en la tolva localizada directamente bajo la sa-
lida del tubo del reactor, lo que indicaba que la totalidad
del residuo sólido contenido en la hulla había sido arras-
trada en el producto gaseoso.

25 Los productos sólidos se separaron de la co-
rriente efluente por filtración y el gas remanente se secó

antes de ser analizado con un espectrómetro de masas. Los resultados del análisis, despreciando el aire, son como sigue (dándose las concentraciones en porcentajes en moles): Nitrógeno (0,051%); monóxido de carbono (7,563%); sulfuro de hidrógeno (no se observó cantidad alguna); di-sulfuro de carbono (no se observó cantidad alguna); dióxido de carbono (0,277%); hidrógeno (89,320%); metano (1,537%); otros hidrocarburos, tales como benceno, acetileno, etc. (1,253%).

El producto gaseoso de esta reacción es adecuado como combustible. Además, no se observó componente alguno que contuviese azufre en el análisis, aun cuando el espectrómetro de masas era capaz de detectar compuestos de azufre en concentraciones tan bajas como 10 partes por millón. Esto indicaba que prácticamente la totalidad del azufre inicialmente presente en la hulla había sido retenida en las partículas sólidas que se separaron por filtración de la corriente efluente.

EJEMPLO V
REFORMACION CON VAPOR DE AGUA Y GASIFICACION DE ESQUISTO
BITUMINOSO

Una muestra de esquisto bituminoso de Green River, obtenida de un yacimiento próximo a Rifle, Colora-

do, se pulverizó hasta hacerla pasar por un tamiz de 149 micras de abertura. La muestra se analizó para determinar los diversos materiales carbonosos presentes en el esquisto bituminoso. Cloruro de metileno a la temperatura ambiente extrajo 0,93% en peso del esquisto. La muestra se analizó ulteriormente por calentamiento de una porción de ella al aire y observación de la pérdida de peso en función de la temperatura. Los resultados de tal análisis ulterior fueron como sigue:

10

<u>Intervalo de temperatura.</u>	<u>Pérdida de peso, %</u>	<u>Observaciones</u>
20° - 500° C	11,60	Destilación de materias volátiles
500° - 780° C	2,50	Oxidación de carbono.
780° - 1200° C	12,00	Descarboxilación de CaCO_3

15

20

A partir de estas determinaciones se estimó que el esquisto bituminoso estaba compuesto por 15% en peso de materia orgánica y 27,3% en peso de piedra caliza como CaCO_3 . El 57,7% en peso restante se supuso que era material silíceo.

25

La muestra pulverizada se introdujo en el reactor a una velocidad de 17,24 kg por hora. Simultáneamente se introdujo como alimentación al reactor vapor de agua a

un caudal aproximado de 9,07 kg por hora. El vapor de agua se encontraba a una temperatura de 121,1°C a la entrada del reactor. Se mantuvo el tubo a una temperatura de 1704,4°C, e hidrógeno, inyectado a través de la pared porosa a un caudal de 141,5 litros normales/minuto, sirvió como gas de protección. Un vapor blanco como el vapor de agua brotó por el extremo de salida del tubo. La temperatura de esta corriente de vapores se encontró que era 521,1°C inmediatamente debajo de la salida del reactor.

Se produjo también un material sólido de cenizas que cayó en la tolva situada bajo el tubo de reactor. Las cenizas estaban constituidas principalmente por bolitas de vidrio fundido de diversos colores. Se analizó este material para determinar su contenido en materia carbonosa residual pulverizándolo y realizando el mismo análisis de pérdida de peso en función del calentamiento realizado sobre el esquisto bituminoso original. No se observó pérdida de peso alguna por calentamiento desde 500° a 780°C, lo que indicaba que nada de la materia orgánica presente en el esquisto original había quedado en el material que constituía las cenizas. Se observó una pérdida de peso del 14% por calentamiento de las cenizas sólidas desde 780°C hasta 1200°C, lo que indicaba que la mayor parte del carbonato de calcio presente en la muestra original quedaba en las cenizas y que algo de este carbonato de calcio había

5
sufrido descarboxilación durante la reacción. El tratamiento de las cenizas con HCl 0,1 N dió como resultado el desprendimiento de sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono, lo que indicaba que cualquier cantidad de azufre que hubiese estado presente en la muestra original se encontraba también al menos en parte en las cenizas.

10 El componente gaseoso del efluente del reactor se secó y se analizó a continuación con un espectrómetro de masas. Los resultados expresados en moles por ciento, fueron como sigue: hidrógeno (87,86%); metano (0,74%); acetileno (0,07%); etileno (0,39%); nitrógeno (1,24%); monóxido de carbono (8,70%); hidrocarburos mezclados (0,04%); dióxido de carbono (0,016%); benceno (0,016%); tolueno (0,002%); y sulfuro de hidrógeno (menos de 0,0005%). Este gas es adecuado para uso como combustible pobre en azufre.

EJEMPLO VI

REFORMACION CON VAPOR DE AGUA Y GASIFICACION DE FANGOS DE ALCANTARILLAS

25 Una muestra de fangos de alcantarillado activados, constituida por desechos humanos desecados mezclados con aglutinante de arcilla silíceo y nodulizada a un

tamaño de partícula de aproximadamente 2 mm, se analizó y se encontró que tenía la composición siguiente (expresándose las concentraciones en porcentajes en peso): carbono orgánico (33,21%); hidrógeno orgánico (4,38%); nitrógeno orgánico (6,04%); azufre orgánico (0,23%); agua (6,14%); y residuo inorgánico (50%).

Se introdujo el fango en el reactor a un ritmo de 24,49 kg por hora. Se añadieron en total 11,34 kg. Se introdujo simultáneamente en el reactor vapor de agua a 121,1°C a un caudal de 24,95 kg por hora, que era aproximadamente el doble de la cantidad estequiométrica para la reacción del gas de agua. Se inyectó hidrógeno a través de la pared porosa a un caudal de 141,5 litros normales/minuto. La temperatura del reactor se mantuvo en 2065,6°C.

Los productos de la reacción consistían en una niebla blanca y densa, y un residuo sólido. El residuo, que se recogió en un colector situado bajo el tubo del reactor, pesaba 6,80 kg y correspondía al 60% en peso de los fangos activados. El residuo tenía la composición siguiente (expresándose las concentraciones en porcentajes en peso): carbono orgánico (12,88%); hidrógeno orgánico (1,69%); nitrógeno orgánico (2,34%); azufre orgánico (0,37%); agua (trazas); y residuo inorgánico (83%).

Una porción del efluente de vapores procedentes del reactor se condensó en un colector de nitrógeno

líquido. La muestra recogida en el colector se llevó a la temperatura ambiente y se encontró que tenía componentes líquidos y gaseosos. El punto de ebullición del líquido era 100°C, lo que indicaba que era agua. El componente gaseoso, que era adecuado para uso como combustible pobre en azufre, se analizó con un espectrómetro de masas y un cromatógrafo de gases, encontrándose que tenía la composición siguiente (expresándose las concentraciones en porcentaje en moles): hidrógeno (60,933%); amoníaco (0,0005%); metano (1,320%); agua (0,083%); acetileno (0,463%); etileno (0,304%); etano (0,102%); cianuro de hidrógeno (0,281%); nitrógeno (0,990%); monóxido de carbono (34,122%); oxígeno (0,0005%); argón (0,0078%); buteno (0,175%); butano (0,026%); dióxido de carbono (0,996%); benceno (0,100%); tolueno (0,019%); sulfuro de hidrógeno (0,0005%); y dicianógeno (0,008%).

EJEMPLO VII

PIROLISIS PARCIAL DE GASOIL

Para demostrar el uso del reactor de pared fluida en la pirólisis parcial de destilados de petróleo, se pirolizó parcialmente un producto base para lubricantes ligeros o "gasoil". Este destilado de petróleo particular se caracterizaba por el siguiente análisis de destilación:

	<u>Temperatura (°C)</u>	<u>% Destilado</u>
	-78,9	0
	200,0	10
	220,0	20
5	230,0	30
	250,0	40
	270,0	50
	277,8	60
	277,8	70
10	280,0	80
	280,0	90

15 El gasoil se introdujo en el tubo del reactor en forma de una niebla por atomización del mismo a través de una boquilla de nebulización. Se empleó hidrógeno como gas de atomización, así como para formar la pared fluida. Adicionalmente, se introdujo hidrógeno en el extremo de entrada del tubo del reactor a través de una entrada de gas de barrido para arrastrar la niebla de gasoil a lo largo del tubo.

20 El tubo del reactor se calentó inicialmente a 1871,1°C, introduciéndose aproximadamente 141,5 litros normales/minuto de hidrógeno en la cámara de sobrepresión para formar la pared fluida, e introduciéndose aproximadamente 25 141,5 litros normales/minuto de hidrógeno por la en-

trada del gas de barrido. El gasoil se introdujo después en el tubo del reactor a aproximadamente 0,95 litros por minuto, utilizando aproximadamente 141,5 litros normales/minuto de hidrógeno para el gas de atomización. La temperatura de la corriente efluente inmediatamente debajo de la salida del reactor se ajustó a aproximadamente 438°C, rebajando la temperatura del tubo del reactor a 1426,7°C. Antes de que se tomaran las muestras, se dejó tiempo para que se estabilizase el reactor en estas condiciones de funcionamiento.

Las muestras de la corriente efluente se recogieron por tres métodos, a saber (1) haciendo pasar una porción de la corriente efluente a través de un colector con nitrógeno líquido y recogiendo una muestra por congelación de la misma; (2) recogiendo muestras gaseosas de la corriente en una posición situada aguas abajo del colector de nitrógeno líquido; y (3) haciendo pasar una porción de la corriente a través de un condensador refrigerado con agua y recogiendo una fracción líquida. Se dejó que el material recogido en el colector de nitrógeno líquido se calentase a aproximadamente 10°C, y se recogieron después muestras de las fases líquida y vapor de este material a esta temperatura.

El líquido recogido en el condensador enfriado por agua se caracterizaba por el análisis de destilación

siguiente:

	<u>Temperatura (°C)</u>	<u>% Destilado</u>
	125°	0
5	255°	10
	283,9°	19
	310°	29
	325°	38
	326,1°	48
10	342,2°	58
	352,2°	67
	366,1°	77
	372,2°	87
	390,0°	95
15		

La muestra en fase líquida recogida en el colector de nitrógeno líquido se secó para separar el agua, y se analizó después, encontrándose que contenía xileno, estireno, tolueno, benceno, pentano, pentadieno, ciclopentadieno, buteno, butadieno, propileno, metil-acetileno, metil-naftaleno, naftaleno, e hidrocarburos de peso molecular superior. El componente gaseoso del material recogido en el colector de nitrógeno líquido se secó y se analizó con un espectrómetro de masas y un cromatógrafo de gases. Después de efectuar correcciones por la presencia de aire,

se encontró que dos muestras de este componente gaseoso tenían la composición media siguiente (expresándose las concentraciones en porcentajes en moles): hidrógeno (88,23%); metano (4,62%); etileno (3,09%); propileno (1,22%); acetileno (0,55%); etano (0,41%); buteno (0,36%); benceno (0,35%); butadieno (0,31%); dióxido de carbono (0,14%); pentadieno (0,13%); penteno (0,13%); propano (0,12%); monóxido de carbono (0,12%); ciclopentadieno (0,10%); metil-pentadieno (0,06%); ciclohexano (0,03%); butano (0,03%); metil-acetileno (0,02%); y tolueno (0,02%).

EJEMPLO VIII

REFORMACION PARCIAL CON VAPOR DE AGUA DE GASOIL

15

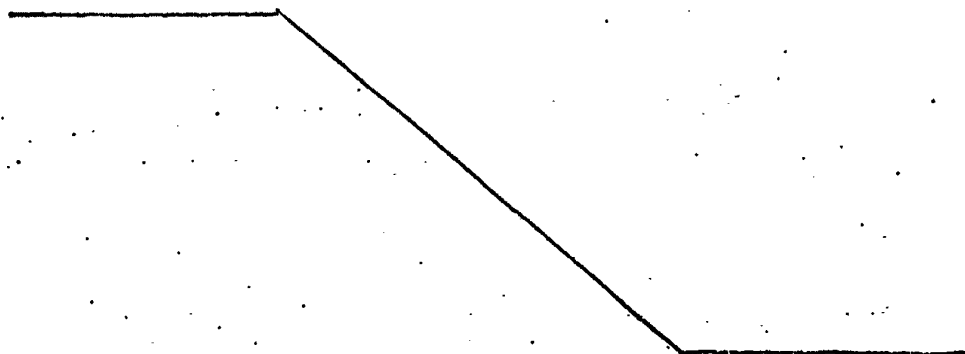
Un gasoil idéntico al utilizado en el Ejemplo VII se reformó parcialmente con vapor de agua en el reactor de pared fluida en dos operaciones sustancialmente idénticas. En cada una de estas operaciones, el gasoil se introdujo en el reactor en forma de una niebla por atomización del mismo en una boquilla de nebulización. Se empleó hidrógeno como capa de fluido de protección, como gas de barrido, y como gas de atomización a un caudal de aproximadamente 141,5 litros normales/minuto para cada finalidad.

20

25

En ambas operaciones, el tubo del reactor se calentó inicialmente a 1815,6°C, introduciéndose hidrógeno en la entrada de gas de barrido y en la cámara de sobrepresión a aproximadamente los caudales a utilizar en la operación. Se introdujo después en el reactor el gasoil a aproximadamente 0,95 litros por minuto junto con vapor de agua a aproximadamente 1,81 kg por minuto, lo que correspondía a una proporción molar de carbono a vapor de agua de aproximadamente 1,0:1,6. Bajo la carga térmica del gasoil y el vapor de agua, la temperatura del reactor descendió a 1593,3°C. La temperatura de la corriente efluente inmediatamente debajo de la salida era aproximadamente 454°C. Se recogieron muestras y se trataron de la misma manera que en el Ejemplo VII.

El líquido recogido en el condensador enfriado con agua en la primera operación se caracterizaba por el análisis de destilación siguiente:



	<u>Temperatura (°C)</u>	<u>% Destilado</u>
	250°	0
	305°	10
	325°	20
5	335°	30
	335°	40
	343,9°	50
	356,1°	60
	362,2°	70
10	362,2°	80
	380,0°	90

En la segunda operación, una muestra del componente líquido recogida en el colector de nitrógeno líquido se calentó a 10°C, se secó a continuación para eliminar el agua, y luego se analizó cualitativamente. Se encontró que la muestra resultante contenía tolueno, benceno, penteno, pentadieno, ciclopentadieno, buteno, butadieno, naftaleno, xileno, estireno, e hidrocarburos de peso molecular superior. La porción de la muestra original procedente del colector de nitrógeno líquido que era volátil a 10°C, se secó y se analizó con un cromatógrafo de gases y un espectrómetro de masas, encontrándose que tenía la composición siguiente después de corregir por la presencia de aire (expresándose las concentraciones en porcentajes en moles):

5 etileno (36,85%); propileno (23,22%); acetileno (8,56%);
etano (7,99%); hidrógeno (4,41%); buteno (4,41%); buta-
dieno (3,50%); propano (2,47%); metano (2,10%); metil-ace-
tileno (1,98%); benceno (1,56%); pentadieno (0,62%); pen-
teno (0,62%); ciclopentadieno (0,49%); dióxido de carbono
(0,37%); butano (0,25%); metil-pentadieno (0,25%); ciclo-
hexano (0,13%); y tolueno (0,04%).

EJEMPLO IX

10

DISOCIACION TERMICA DEL SERRIN DE MADERA

15

Serrín de madera, un subproducto típico que contiene lignina, se disoció térmicamente en el tubo 61 del reactor a una temperatura de 1871,1°C, mientras que se hizo pasar hidrógeno a través de la pared porosa del tubo a un caudal de 141,5 litros normales/minuto. Se introdujo el serrín de madera como alimentación en el reactor a una velocidad de aproximadamente 22,68 kg por hora. Los productos de la pirólisis estaban constituidos por negro de humo finamente dividido similar al producido por la disociación de metano, productos gaseosos procedentes de la disociación de los compuestos volátiles, y un carbón residual de textura porosa en el que la estructura fibrosa de la madera original estaba esencialmente intacta.

20

25

EJEMPLO X

ABRASIVOS DE CARBURO DE SILICIO A PARTIR DE SILICE

5 Arena de sílice, que tenía una distribución de tamaños de partícula comprendida dentro del intervalo de 297 a 149 micras, se introdujo en el tubo 61 del reactor a través de la entrada 121 a un ritmo de 4,54 kg por hora. Se añadió simultáneamente metano al tubo del reactor a través de la entrada 91 a un caudal de 28,3 litros normales/minuto. La temperatura del tubo del reactor se mantuvo a 1871,1°C. Se inyectó nitrógeno en el tubo del reactor a través de la pared porosa a un caudal de 141,5 litros normales/minuto para formar la pared fluida. Un material en polvo cayó del tubo del reactor y se recogió en una tolva situada bajo el mismo.

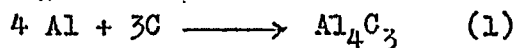
10 El producto en polvo era suficientemente abrasivo para rayar fácilmente el vidrio, lo que indicaba que aquél contenía carburo de silicio. Un examen microscópico del polvo realizado después, demostró que estaba constituido por esferas de dióxido de silicio recubiertas con un revestimiento compuesto de carbono amorfo y laminillas delgadas de carburo de silicio cristalino.

EJEMPLO XI

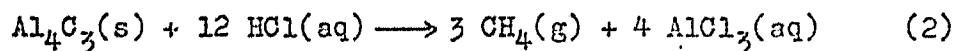
PRODUCCION DE CARBURO DE ALUMINIO

25 Se preparó una mezcla estequiométrica de polvo

de aluminio y carbono elemental para la reacción anticipada:

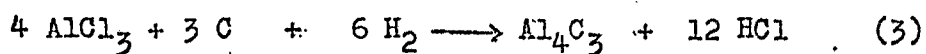


5
Se introdujo esta mezcla en el reactor a una velocidad de aproximadamente 4,54 kg por hora. El tubo 6l del reactor se mantuvo a 1871,1°C, y se hizo pasar hidrógeno a través de la pared porosa del tubo del reactor a un caudal de
10 141,5 litros normales/minuto. La reacción produjo un material amorfo de color gris pardo, que se recogió en un colector situado bajo el tubo del reactor. Una muestra del producto gris pardo se mezcló con HCl 0,1 N. Se desprendió un gas que ardía con la llama amarilla característica
15 del metano, lo que indicaba que se había producido la reacción siguiente entre el producto y el ácido clorhídrico:



20 La muestra se disolvió por completo en el ácido clorhídrico, produciéndose una solución clara. Como el carbono elemental utilizado como materia de partida es insoluble en HCl 0,1 N, esto indicaba que el aluminio y el carbono habían reaccionado cuantitativamente en el reactor de pared fluida para formar carburo de aluminio.
25

Para comprobar la factibilidad de la producción de carburo de aluminio en el reactor de pared fluida a partir de cloruro de aluminio y carbono, se puso AlCl_3 anhidro en un crisol de carbono y se calentó hasta que sublimó aquél. El vapor de cloruro de aluminio se mezcló en una corriente de hidrógeno, y la corriente resultante se hizo pasar luego sobre un lecho de negro de humo. Se enfocó una lámpara de imagen de arco sobre la superficie del lecho de carbono y se calentó un área del lecho a $998,9^\circ\text{C}$, temperatura que se midió con un pirómetro óptico. Se formaron pequeños cristales de color anaranjado inmediatamente aguas abajo de la zona calentada, lo que indicaba que el cloruro de aluminio había reaccionado con carbono e hidrógeno para producir carburo de aluminio y cloruro de hidrógeno de acuerdo con la reacción siguiente:



Cuando los cristales de color anaranjado se añadieron a HCl 0,1 N, se disolvieron aquéllos y se desprendió un gas que ardió con la llama amarilla característica del metano.

Dado que este procedimiento simulaba lo que podía suceder en el reactor de pared fluida por reacción

del cloruro de aluminio con carbono e hidrógeno (producidos por disociación térmica de un hidrocarburo gaseoso o líquido), esto sugiere un nuevo enfoque para la fabricación de metano por (1) reacción de cloruro de aluminio con un material hidrocarbonoso poco costoso para formar carburo de aluminio y cloruro de hidrógeno, y (2) enfriamiento brusco del producto de la reacción en agua de tal modo que el ácido clorhídrico acuoso resultante hidrolice el carburo de aluminio para producir metano y cloruro de aluminio que, a su vez, puede recircularse al procedimiento.

EJEMPLO XII

REDUCCION DEL OXIDO FERRICO CON HIDROGENO

Para demostrar la utilidad del reactor de pared fluida para la reducción de menas metálicas, se introdujo óxido férrico puro (pasado por un tamiz de 149 micras de abertura) como alimentación al reactor a un ritmo de 15,92 kg por hora al mismo tiempo que se hacía pasar hidrógeno a través de la pared porosa a un caudal de 141,5 litros normales/minuto. El hidrógeno servía, por lo tanto, para formar la pared fluida y como agente reductor del óxido de hierro. El tubo del reactor se mantuvo a una temperatura de 1871,19C, medida por enfoque de un pirómetro óptico

sobre la pared interior incandescente del tubo. Se encontró que la temperatura de las sustancias reaccionantes en el tubo del reactor era de 1510°C, medida con el pirómetro óptico. Se produjo un polvo gris que se recogió en la tolva situada bajo el tubo del reactor. La temperatura de la corriente efluente inmediatamente debajo de la salida del reactor se encontró que era de 315,6°C.

El producto era polvo de hierro puro, que tenía a ser pirofórico a temperaturas de aproximadamente 149°C recientemente preparado. Por observación del polvo con un microscopio se encontró que el mismo estaba constituido por partículas esféricas pequeñas, lo que indicaba que el hierro se había encontrado en estado de fusión durante su paso a través del tubo del reactor.

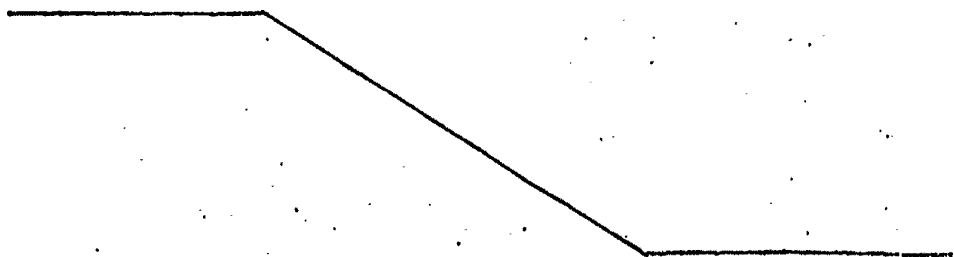
EJEMPLO XIII

DISOCIACION TERMICA DE SULFURO DE HIDROGENO Y METANO

Utilizando el reactor de pared fluida, se hizo reaccionar sulfuro de hidrógeno con el carbono formado in situ por la disociación térmica de metano, formándose así disulfuro de carbono e hidrógeno. Se llevaron a cabo operaciones a dos temperaturas diferentes, a saber, a 1635°C y a 1760°C. En ambos casos, las temperaturas se determinaron por enfoque de un pirómetro óptico sobre las sustancias

reaccionantes incandescentes contenidas en el tubo del reactor, siendo las partículas de carbono procedentes de la disociación del metano los principales constituyentes incandescentes de la mezcla de reacción. Se hizo pasar hidrógeno a través de la pared porosa del tubo del reactor a un caudal de 141,5 litros normales/minuto para servir como gas de protección. Se mezclaron sulfuro de hidrógeno a un caudal de 9,06 litros normales/minuto y metano a un caudal de 28,3 litros normales/minuto, y se introdujeron en el tubo del reactor. La mezcla de gases se encontraba a la temperatura ambiente al entrar en el tubo del reactor. Se añadió un blanco constituido por negro de humo para iniciar la reacción, aun cuando una vez que se inició la reacción, ésta se bastaba a sí misma y ya no era necesario más negro de humo.

Muestras del componente gaseoso de los productos resultantes de las dos operaciones se analizaron con un espectrómetro de masas. Los resultados de los análisis se dan en la tabla siguiente, expresándose las concentraciones en porcentajes en moles:



	<u>Compuesto</u>	<u>Temperatura de Reacción</u>	
		<u>1635°C</u>	<u>1760°C</u>
	Hidrógeno	83,974	88,560
	Metano	11,379	6,230
5	Acetileno	1,681	2,281
	Etileno	1,397	1,519
	Sulfuro de hidrógeno	1,021	0,813
	Dióxido de carbono	0,296	0,160
	Disulfuro de carbono	0,216	0,403
10	Benceno	0,036	0,034

Aunque todos y cada uno de los ejemplos que
 anteceden se llevaron a cabo en el reactor de pared flui-
 da que se muestra en las FIGS. 2A-2B, pueden lograrse re-
 sultados mejores todavía utilizando el reactor de pared flui-
 da de las FIGS. 7A-7D de la patente principal N° 441.517,
 con modificaciones adecuadas (en caso necesario) para la ma-
 nipulación de materiales de alimentación sólidos. El uso
 de sistemas de control variable del procedimiento debe per-
 mitir que se alcancen y se mantengan exactamente las condi-
 ciones de funcionamiento óptimas. Si tales sistemas de con-
 trol incorporan un ordenador digital, la búsqueda de las
 condiciones óptimas de funcionamiento puede realizarse au-
 tomáticamente.

25

REIVINDICACIONES

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

1ª.- Un procedimiento de reacción química a temperatura elevada, caracterizado por las operaciones que comprenden: (i) generar una envolvente anular de un fluido inerte que es sustancialmente transparente a la radiación, teniendo la envolvente una longitud axial sustancial y definiendo el interior de la envolvente una cámara de reacción; (ii) hacer pasar al menos una sustancia reaccionante a través de la cámara de reacción a lo largo de una trayectoria predeterminada sustancialmente coincidente con el eje longitudinal de la envolvente, quedando confinadas las sustancias reaccionantes dentro de la cámara de reacción; (iii) generar energía radiante de alta intensidad en un punto externo a la cámara de reacción; y (iv) recoger y enfocar la energía radiante de alta intensidad y dirigirla al interior de la cámara de reacción de modo que coincida con al menos una porción de la trayectoria predeterminada de las sustancias reaccionantes, absorbiéndose suficiente energía radiante dentro de la cámara de reacción para elevar la temperatura de las sustancias

reaccionantes hasta un nivel requerido para iniciar y mantener la reacción química deseada.

2ª.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1ª, en el que la operación (i) de generar la envolvente anular de fluido inerte comprende dirigir el fluido inerte a través del difusor de un reactor y luego en flujo sustancialmente laminar en sentido axial a través de la cámara del reactor; la operación (ii) de hacer pasar al menos una sustancia reaccionante a través de la cámara de reacción comprende introducir la sustancia reaccionante por el extremo de entrada del tubo del reactor y dirigirla en una trayectoria predeterminada en la dirección axial del tubo del reactor; la operación (iii) de generar energía radiante de alta intensidad comprende activar una fuente de energía radiante; y la operación (iv) de recoger y enfocar la energía radiante de alta intensidad y dirigirla al interior de la cámara de reacción comprende recoger, enfocar y dirigir la energía radiante con un reflector hacia el interior de la cámara del reactor.

3ª.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1ª, en el que la envolvente anular se genera en una dirección generalmente perpendicular al eje de la envolvente y radialmente al interior de la superficie circunferencial exterior de la envolvente.

4ª.- Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1ª ó 2ª, en el que se introduce un blanco absorbente de energía radiante a lo largo de la trayectoria de las sustancias reaccionantes, siendo absorbida su

ficiente energía radiante por el blanco para elevar la temperatura en la cámara de reacción al nivel requerido para iniciar la reacción química deseada.

5 5ª.- Un procedimiento de acuerdo con la reivin-
dicación 4ª, en el que el blanco absorbente de energía ra-
diante se desactiva después de iniciarse la reacción desea-
da.

10 6ª.- Un procedimiento de acuerdo con las rei-
vindicaciones 1ª ó 2ª, en el que la energía radiante se di-
rige hacia una longitud finita de la trayectoria predeter-
minada de las sustancias reaccionantes.

15 7ª.- Un procedimiento de acuerdo con las reivin-
dicaciones 1ª ó 2ª, que incluye además enfriar los produc-
tos de la reacción y cualesquiera sustancias reaccionantes
remanentes inmediatamente después que las sustancias reac-
cionantes han salido del tubo del reactor para terminar la
reacción química deseada e impedir cualquier otra reacción
química indeseable.

20 8ª.- Un procedimiento de acuerdo con la reivin-
dicación 7ª, en el que los productos de la reacción y las
sustancias reaccionantes remanentes se enfrían mediante
transferencia de calor por radiación a una superficie fría
absorbente de energía radiante.

30 9ª.- Un procedimiento de acuerdo con la reivin-
dicación 7ª, que incluye además la etapa de introducir un

blanco absorbente de energía radiante a lo largo de la trayectoria de las sustancias reaccionantes.

5 10ª.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 9ª, en el que hidrocarburos o materiales hidrocarbonosos se disocian en hidrógeno y negro de humo.

10 11ª.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 9ª, en el que hulla, fracciones de petróleo, esquisto bituminoso, arenas alquitranosas, lignito, o cualquier otro material de alimentación carbonoso o hidrocarbonoso se reforma con vapor de agua para dar mezclas de gas de síntesis que contienen monóxido de carbono e hidrógeno.

15 12ª.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11ª, en el que se añaden uno o más carbonatos u óxidos inorgánicos a las sustancias reaccionantes para reaccionar químicamente con los contaminantes que contienen azufre de tal modo que los mismos puedan separarse de las mezclas de gas de síntesis resultantes.

20 13ª.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11ª, en el que hidrocarburos o un material hidrocarbonoso se disocian parcialmente para dar compuestos de peso molecular inferior.

30 14ª.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 9ª, en el que hidrocarburos

ros saturados sufren pirólisis parcial para dar hidrocarburos insaturados.

15 15ª.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 9ª, en el que materiales orgánicos de desecho se convierten en un gas combustible.

10 16ª.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 9ª, en el que se añade un catalizador a las sustancias reaccionantes para favorecer la formación de radicales libres, iones carbonio o carbaniones durante la reacción.

17ª.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 9ª, en el que un material de alimentación hidrocarbonoso que contiene azufre sufre una desulfuración completa o parcial.

15 18ª.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 9ª, en el que menas minerales o compuestos inorgánicos se reducen a un estado de valencia inferior con hidrógeno, carbono, gas de síntesis u otro agente reductor.

20 19ª.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 9ª, en el que un elemento o compuesto inorgánico se hace reaccionar parcial o completamente con un material carbonoso para formar el carburo inorgánico correspondiente.

30 20ª.- Un procedimiento de reacción química

a temperatura elevada.

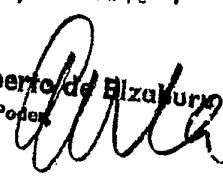
Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan, y para los fines que se han especificado.

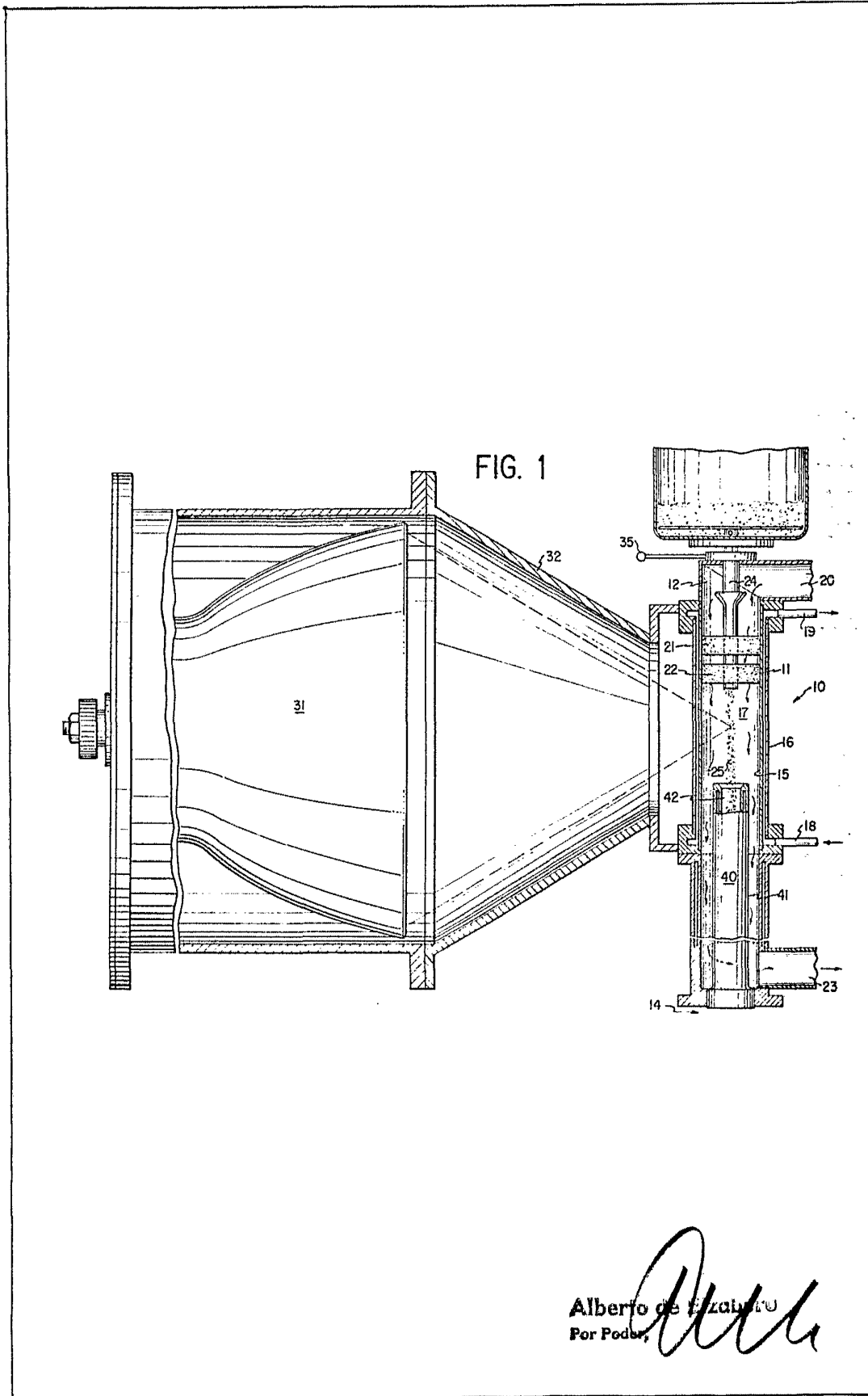
5 Esta Memoria consta de ochenta y dos hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 28.03.1977

P.A.

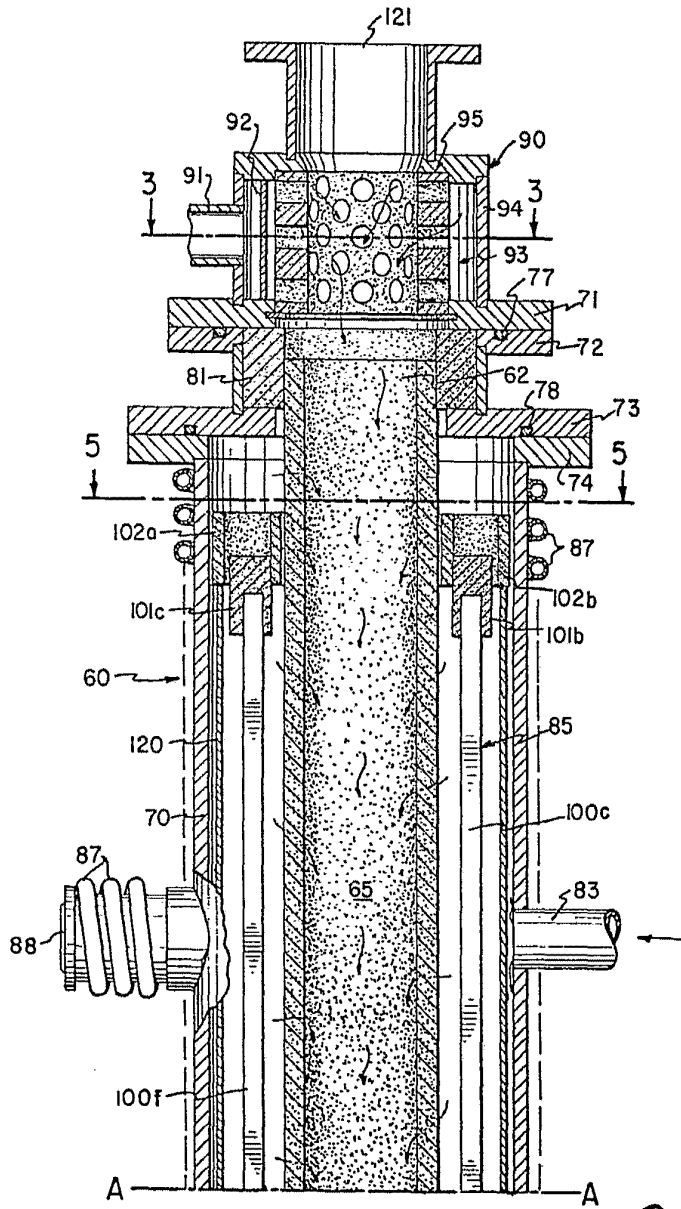
Alberto de Elizaburu
Por Poder





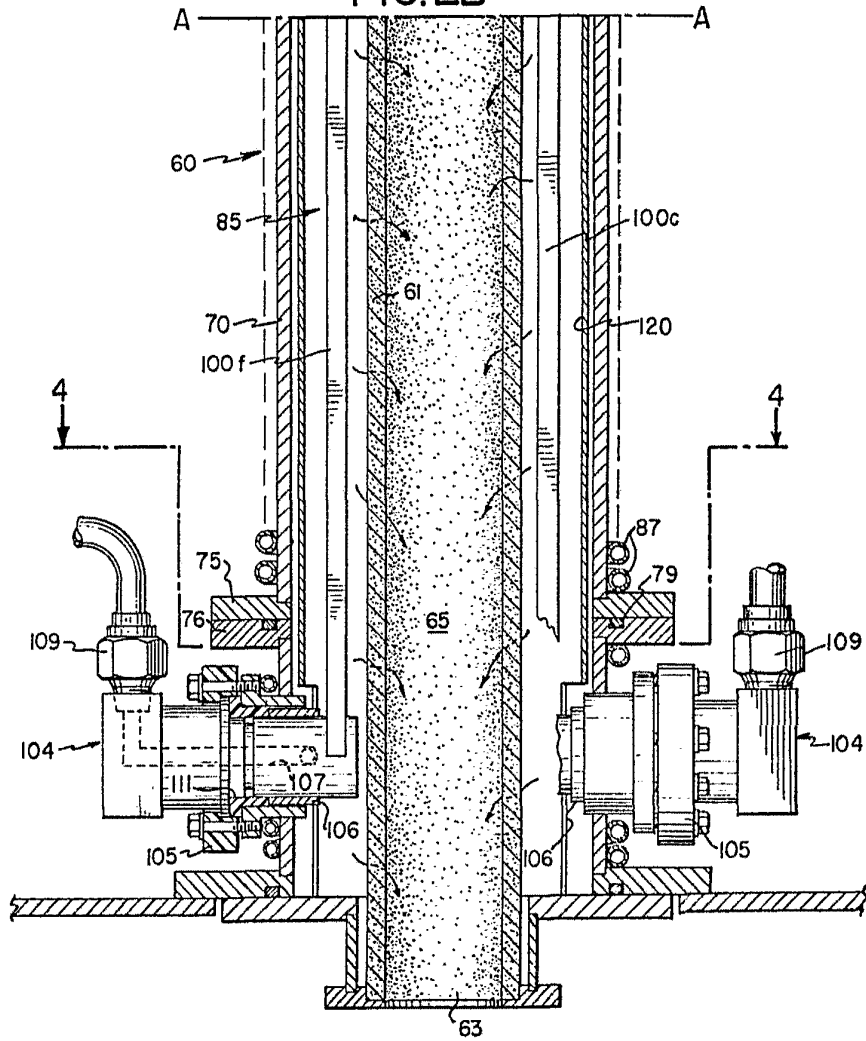
Alberto de Izaburu
Por Poder, *Alto*

FIG. 2A



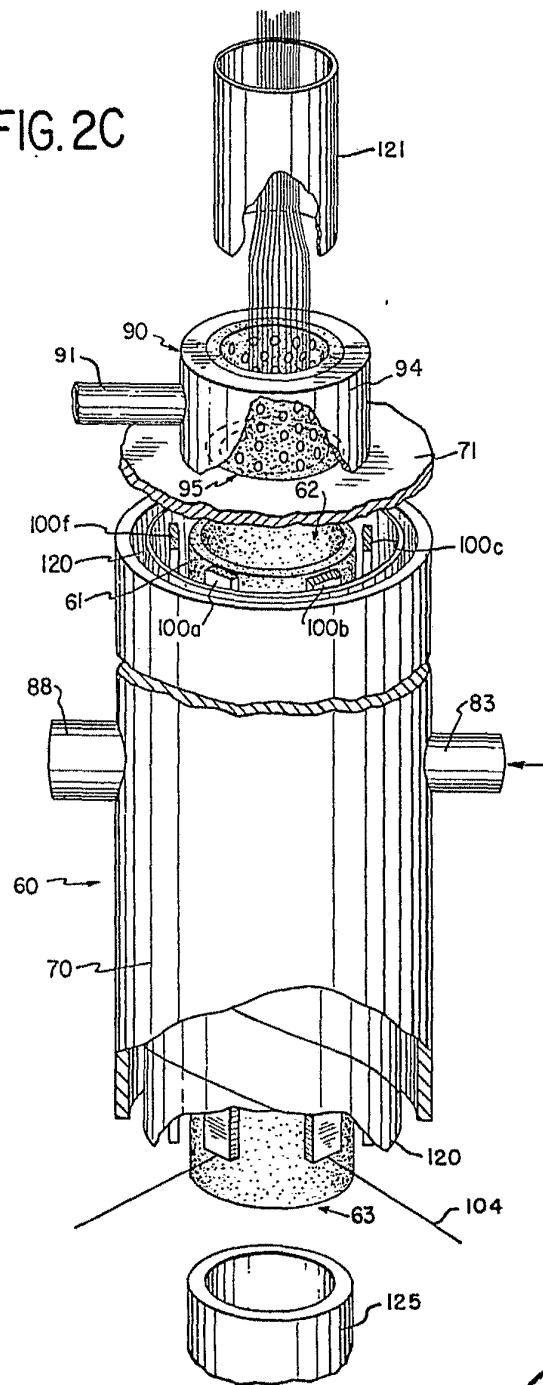
Alberto de Elizaburu
For Patent

FIG. 2B

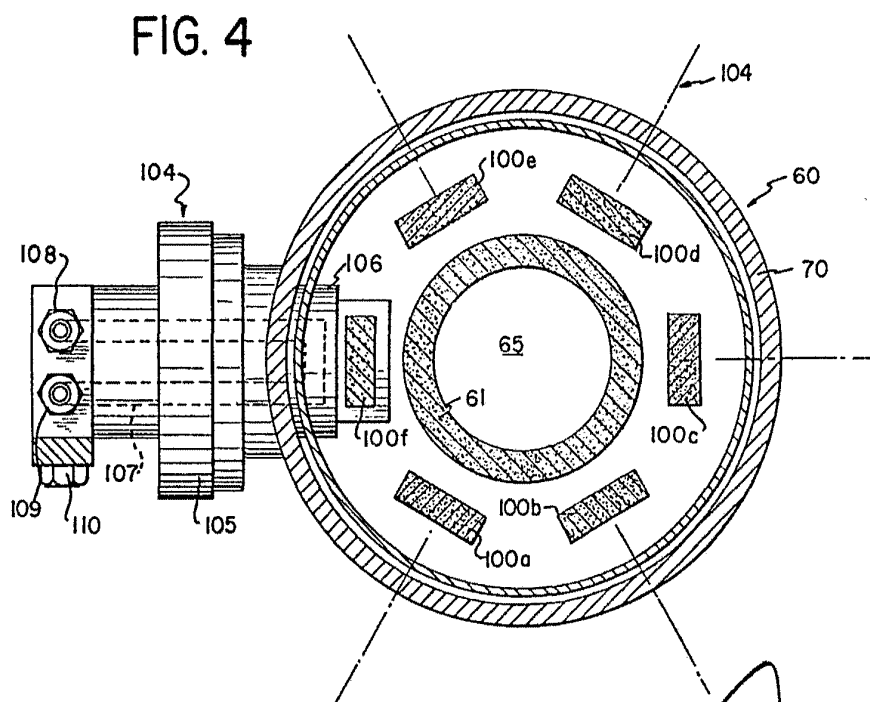
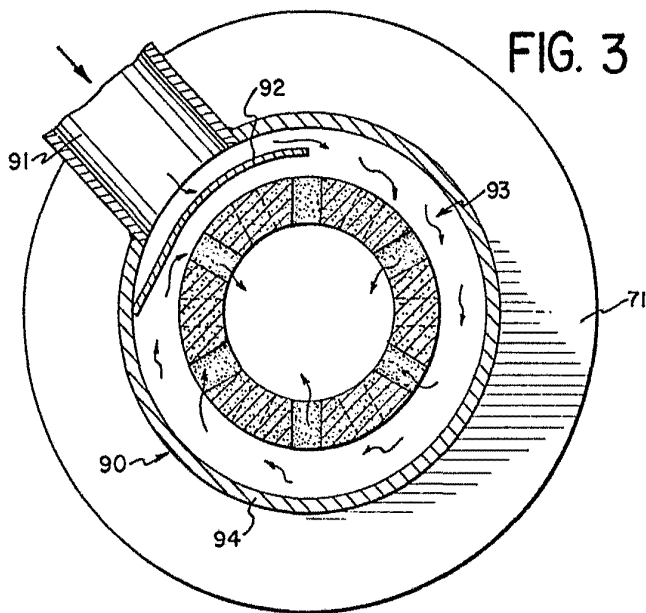


Alberto de Zarbur
Per Feder

FIG. 2C



Alberto de Elizaburu
For Patent



Alberto da Eizoburu
Per Eder

FIG. 5

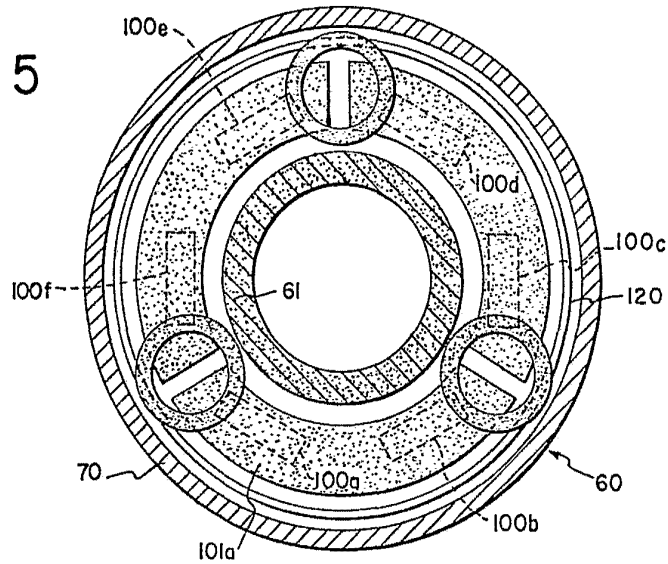
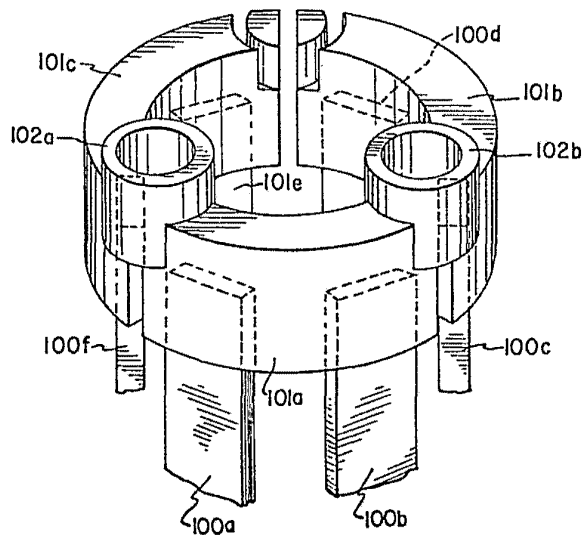


FIG. 6



Alberto de Alzobru
Por Pedro,