



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 347 833**

51 Int. Cl.:

B01J 8/06 (2006.01)

C01B 3/38 (2006.01)

B01J 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07731491 .2**

96 Fecha de presentación : **09.01.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2101906**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.09.2009**

54

Título: **Procedimiento de sustitución de los tubos de catalizador de un reformador de hidrocarburos.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.11.2010

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.11.2010

73

Titular/es: **L'AIR LIQUIDE, Société Anonyme pour
l'Etude et l'Exploitation des Procédés Georges
Claude
75, quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

72

Inventor/es: **Gallarda, Jean**

74

Agente: **Justo Bailey, Mario de**

ES 2 347 833 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de sustitución de los tubos de catalizador de un reformador de hidrocarburos.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de mantenimiento de un horno para el reformado catalítico de una mezcla reaccionante de hidrocarburos, provisto de tubos llenos de catalizador y una parte de cuyos tubos está provista de termopares, comprendiendo el procedimiento un seguimiento de la temperatura de los tubos.

10 Los hidrocarburos son fuentes principales para la fabricación de gas de síntesis. La fabricación de gases de síntesis consiste en transformar hidrocarburos C_nH_m en una mezcla de al menos hidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2). Los gases producidos se utilizan a continuación para llevar a cabo numerosas reacciones químicas. Así, el hidrógeno se podrá utilizar en particular para efectuar reacciones de hidrogenación o, previa adición de nitrógeno, para producir amoníaco; una mezcla de CO, CO_2 y H_2 podrá conducir a la síntesis de metanol, y mezclas CO y H_2 son el origen de síntesis oxo, etc.

15 Uno de los procedimientos más utilizados para realizar esta transformación es el reformado catalítico con vapor de hidrocarburos ligeros, en particular de gas natural. En un procedimiento de este tipo, la mezcla de hidrocarburos ligeros, que comprende principalmente metano, se hace reaccionar con vapor de agua en presencia de catalizador para producir hidrógeno y los óxidos de carbono. Entre las diferentes reacciones puestas en práctica en el reformado, 20 las principales reacciones son: la reacción endotérmica de reformado, a saber, $CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$, así como la reacción exotérmica de conversión del CO, a saber, $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$. El reformado es globalmente endotérmico y se efectúa a una temperatura generalmente próxima a $1000^\circ C$. Conviene señalar que los hidrocarburos generalmente se desprenden previamente de los compuestos de azufre que contienen, por ser estos venenos para los catalizadores comúnmente usados.

25 Un procedimiento de reformado catalítico con vapor de hidrocarburos ligeros se pone en práctica en una cámara de combustión que comprende quemadores y tubos, tubos estos que están llenos de catalizador y son aptos para que a su través pase una mezcla de hidrocarburos y de vapor, hallándose los quemadores dispuestos de manera que transfieran el calor de su combustión a la mezcla de hidrocarburos y de vapor a través de la pared de los tubos.

30 En la práctica, la reacción catalítica de reformado de hidrocarburos mediante el vapor de agua se efectúa a presión sobre el catalizador contenido en los tubos calentados exteriormente mediante radiación y convección. Los tubos de catalizador están dispuestos verticalmente y la circulación de la mezcla reaccionante de hidrocarburos y de vapor se efectúa de arriba abajo.

35 Un horno de reformado comprende una zona de radiación, cámara de combustión en la que están dispuestos los tubos de catalizador, y una zona de convección, por la que se efectúa la evacuación de los humos y de los gases de combustión producidos en la cámara de combustión. Los gases de combustión evacuados por la zona de convección son utilizados para el precalentamiento de la mezcla reaccionante entrante de hidrocarburos y de vapor de agua, y 40 ocasionalmente de otros fluidos reaccionantes. La zona de convección está instalada generalmente por encima de la cámara de combustión, ya sea verticalmente al lado del horno, ya sea horizontalmente. Según la posición de los quemadores en el horno (en la parte superior para los "top fired", o en el lateral para los "side fired"), el perfil de temperatura vertical del tubo es diferente. El máximo de temperatura se alcanzará especialmente en un punto del tubo situado aproximadamente en su tercio superior para el caso del "top fired" y en torno al tercio inferior para el caso del 45 "side fired".

Los tubos de catalizador utilizados son generalmente del tipo tubo centrifugado de acero aleado. El tubo tiene que resistir a las elevadas presiones y temperaturas que se ponen en práctica en un procedimiento de este tipo, garantizando al propio tiempo una buena transmisión del calor a la mezcla reaccionante que circula por el interior. Además de 50 poseer una resistencia adaptada a las muy altas temperaturas, estos tubos tienen que estar realizados en un material que presente asimismo una resistencia a la fluencia muy buena a semejantes temperaturas.

Los tubos de catalizador se ven sometidos a ciclos de calentamiento/enfriamiento y a muy altas temperaturas; su envejecimiento y su integridad tienen que ser vigilados de forma tan precisa y fiable como sea posible. En efecto, se 55 calculan estos para una vida útil finita (típicamente 100 000 horas) a una temperatura máxima de utilización DTT (Design Tube Temperature). Sobrepasar este valor límite máximo acarrea una disminución importante de la vida útil de los tubos. Por ejemplo, un funcionamiento constante a $20^\circ C$ por encima de la temperatura de utilización para la que se han diseñado los tubos divide por dos la vida útil de los tubos, haciendo que ésta pase de una decena de años a aproximadamente cinco años. Este problema reviste una singular importancia durante las fases de arranque o de 60 cambio de la composición de la mezcla reaccionante. La vigilancia de las temperaturas a las que se ven sometidos los tubos es pues primordial, pero el historial de estas temperaturas también es de crucial interés para el procedimiento de reformado catalítico de hidrocarburos.

Actualmente se realizan medidas de la temperatura de los tubos de manera discontinua, en particular mediante 65 medidas pirométricas. También se pueden efectuar medidas utilizando en particular termopares. Semejantes medidas, ya sean pirométricas o mediante termopares, son puntuales, tanto en el espacio como en el tiempo; éstas no permiten conocer el conjunto de las diferencias de temperaturas a las que se ve sometido cada tubo de catalizador durante toda su vida y por toda su longitud.

ES 2 347 833 T3

Por otro lado, las medidas pirométricas se efectúan por vía de mirillas (peephole en inglés), practicadas en la pared del horno. Al realizar una medida, el operario abre el “peephole” y apunta el pirómetro (u otro instrumento de medida) en horizontal, hacia el tubo cuya temperatura de pared se tiene que medir; sin embargo, esta manipulación tiende a disminuir la temperatura en el interior del horno a nivel del “peephole”.

En el caso de las medidas mediante termopar, conviene señalar que los termopares forman parte integrante de los tubos de catalizador y, en consecuencia, las medidas de temperatura no requieren intervención de un operario, a diferencia de las medidas pirométricas. Se evitan las perturbaciones de temperatura provocadas por un operario mediante la apertura de una mirilla, así como los riesgos a los que se expone el operario como consecuencia de una medida de este tipo. Sin embargo, no siempre se puede implantar el termopar en el tubo allí donde se supone que la temperatura es máxima, ya que en este lugar su presencia podría crear un punto caliente.

Uno de los principales riesgos que se derivan de la ausencia de datos fiables y precisos acerca de la temperatura real de los tubos y las variaciones experimentadas es el riesgo de envejecimiento prematuro que conduce a la ruptura intempestiva de uno o varios tubos de catalizador en curso de funcionamiento y al paro de la instalación -fuera de intervalos de mantenimiento predefinidos-.

Especialmente, con motivo de fases transitorias tales como un nuevo arranque a consecuencia de una parada de mantenimiento o un cambio de la composición de la mezcla reaccionante, existe el riesgo de que un sobrecalentamiento no sea detectado y corregido inmediatamente; la vida útil de los tubos de catalizador puede verse entonces reducida significativamente. Por consiguiente, toda vez que el riesgo de sobrecalentamiento no puede ser descartado, es esencial controlar el envejecimiento de los tubos con el fin de programar el cambio de los mismos tan pronto como se haga necesario.

El seguimiento fiable de las temperaturas de cada uno de los tubos es tanto más importante en cuanto que las temperaturas de los tubos en funcionamiento no son las mismas según su posición en el horno, y en función también de diferentes factores, tales como las secuencias de encendido, los tipos de hidrocarburos y de combustibles utilizados, etc.

La presente invención tiene como objetivo mitigar los inconvenientes anteriormente aludidos en virtud de un procedimiento de mantenimiento del horno, que estriba en la determinación de la temperatura máxima de cada tubo durante toda la vida del horno, al objeto de poder programar el cambio de los tubos en función de su envejecimiento.

Por temperatura máxima se entiende la temperatura en el punto más caliente del tubo. En efecto, considerando que un tubo de reformado presenta una longitud de varios metros y que en esta longitud concurren numerosos factores que inducen modificaciones de temperatura, es esencial determinar el sitio más caliente del tubo, así como la diferencia de temperatura existente entre la temperatura de pared en ese punto y la(s) temperatura(s) efectivamente determinada(s) en los puntos en los que se efectúan (o estiman) las medidas durante el funcionamiento del horno.

En este sentido, la invención concierne por tanto a un procedimiento de mantenimiento de un horno para el reformado catalítico con vapor de una mezcla reaccionante de hidrocarburos, comprendiendo el horno unos tubos llenos de catalizador, hallándose una primera parte de los tubos $T(j)$ provistos de un termopar fijado en un punto $Y_t(j)$ de dichos tubos, estando desprovistos del mismo los otros tubos $T(i)$, comprendiendo el procedimiento al menos las siguientes etapas:

1) medir periódicamente, para cada tubo, una temperatura θ_p de pared del tubo con la ayuda de un medio de medida de temperatura a distancia;

2) medir y registrar de forma continua para cada uno de los tubos $T(j)$ una segunda temperatura $\theta_t(j)$ de pared del tubo con la ayuda del termopar fijado a dicho tubo y unido a un sistema de adquisición de datos apto para almacenar datos durante un tiempo al menos igual a la vida útil del horno, establecer la curva $\theta_t(j)$ en función del tiempo;

3) para cada tubo $T(j)$ y para cada medida θ_p , calcular $\Delta\theta(j) = \theta_p(j) - \theta_t(j)$;

4) para cada tubo $T(i)$, establecer una curva virtual $\theta_t(i)_{\text{virtual}}$ en función del tiempo tal que:

- pasa por unos puntos $\theta_t(i)_{\text{virtual}}$ de ordenada $\theta_p(i) - \Delta\theta(j)$ para los que $\Delta\theta(j)$ es el valor calculado durante la etapa 3) para un tubo $T(j)$ vecino elegido, y

- corresponde a la traslación de la curva $\theta_t(j)$ para dicho tubo $T(j)$ vecino que pasa por esos puntos;

5) por otro lado, para al menos un tubo, determinar el punto más caliente del tubo y estimar la diferencia de temperatura $\Delta\theta_{\text{max}}$ entre la temperatura θ_{max} en dicho punto más caliente y la temperatura θ_t medida en el mismo instante en las condiciones de la etapa 2);

6) para cada tubo $T(i)$, establecer una curva $\theta_{\text{max}}(i)$ en función del tiempo a partir de la curva virtual $\theta_t(i)_{\text{virtual}}$ establecida en la etapa 4 y de la $\Delta\theta_{\text{max}}$ de la etapa 5) y, para cada tubo $T(j)$, establecer la curva $\theta_{\text{max}}(j)$ a partir de la

ES 2 347 833 T3

curva establecida en la etapa 2 y de la $\Delta\theta_{\max}$ estimada, al objeto de establecer un historial de temperatura de cada tubo T(i);

7) deducir de ello, en tiempo real y con la ayuda de un procedimiento de cálculo apropiado, una vida útil restante para cada tubo T(i), a partir de la curva $\theta_{\max}(i)$ y para cada tubo T(j), a partir de la curva $\theta_{\max}(j)$;

8) comparar la vida útil restante para cada uno de los tubos con el tiempo que resta antes de las próximas paradas programadas del horno; y

9) sustituir los tubos que lo necesiten con motivo de cada parada programada.

Así, el procedimiento de la invención permite al usuario seguir de la forma más exacta posible el envejecimiento real de cada tubo contenido en el horno de reformado y efectuar las sustituciones de los tubos que lo necesiten con motivo de las paradas programadas del horno (habiendo previsto el acopio del número requerido de tubos nuevos).

En efecto, de acuerdo con la etapa 1 del procedimiento anteriormente indicado, se mide la temperatura real θ_p para cada uno de los tubos. Esta medida se realiza en un punto del tubo situado en una ordenada Y_p , que puede quedar enfilada por un "peephole".

La medición y el registro de forma continua de la temperatura θ_t para algunos de los tubos, según la etapa 2 permite disponer de un historial preciso de los accidentes de temperatura en el horno a lo largo de un gran período de tiempo, que abarca la vida útil del horno, que pone de manifiesto y registra las eventuales superaciones de temperatura. Para ello, se ha provisto a los tubos T(j) con un termopar. El termopar está fijado preferentemente en un punto del tubo situado en una ordenada $Y_t(j)$, elegida en el tercio superior del tubo respecto al sentido de circulación de la mezcla reaccionante para el caso de un horno de reformado de tipo "top fired". Este está fijado preferentemente en un punto del tubo situado en una ordenada $Y_t(j)$, elegida en el tercio inferior del tubo respecto al sentido de circulación de la mezcla reaccionante para el caso de un horno de reformado de tipo "side fired".

La adquisición y el registro de las medidas de temperatura se efectúan por mediación de un sistema que permite la gestión de un gran número de datos, su registro en tiempo real, así como su almacenamiento y su procesamiento durante un tiempo al menos igual a la vida útil del horno. El sistema de adquisición de datos es apto para registrar medidas de temperaturas de forma continua durante una duración de diez años. Al ser la vida útil teórica para la que están diseñados los tubos de catalizador de aproximadamente diez años, tal capacidad de memoria permite tener un historial completo de los tubos de catalizador.

De este modo, para la parte de los tubos T(j), se han realizado dos series de medidas de temperatura, una de forma continua, discreta la otra; se dispone periódicamente por tanto de dos medidas de temperatura simultáneas obtenidas por medios diferentes, permitiendo así calcular las diferencias de temperatura $\Delta\theta(j)$ para el conjunto de los tubos T(j), y para el conjunto de las medidas $\Delta\theta(j)$ (etapa 3).

La experiencia muestra que dos tubos vecinos, toda vez que son idénticos y que experimentan sensiblemente las mismas perturbaciones en funcionamiento, presentan diferencias de temperatura comparables; asimismo, la diferencia entre la temperatura medida mediante pirómetro y mediante termopar para un determinado tubo T(j) se mantiene sensiblemente constante entre dos medidas pirométricas sucesivas; una variación anormal de esta diferencia medida para un tubo T(j) constituiría una anomalía y precisaría de una comprobación de la coherencia de las medidas.

La etapa 4 permite establecer, para cada tubo T(i), una curva virtual que representa las temperaturas $\theta_t(i)_{\text{virtual}}$ en función del tiempo. Para cualquier tubo T(i), la elección del tubo T(j) vecino no es crítica en la medida en que el valor indicado $\theta_t(j)$ sea reconocido como fiable. La coherencia de las curvas así establecidas se puede comprobar durante la realización de las medidas $\theta_t(i)$.

Con el fin de determinar de la forma más exacta posible el envejecimiento de un tubo, es necesario tomar en cuenta para el cálculo de este envejecimiento ya no la temperatura $\theta_t(i)$, sino la temperatura máxima alcanzada por el tubo. A tal efecto, el procedimiento comprende la etapa 5 en cuyo transcurso se determina, en condiciones compatibles con el funcionamiento del horno, el punto más caliente de un tubo representativo de aquellos cuyo envejecimiento en funcionamiento se evalúa. Se calcula la diferencia entre la temperatura medida en ese punto y la temperatura medida mediante termopar de manera acorde con la etapa 2. También se podría determinar la diferencia por vía de la medida pirométrica. La determinación del punto más caliente de un tubo se obtiene preferentemente estableciendo un perfil de temperatura del tubo por su longitud; este perfil puede ser aportado por el proveedor, en tanto que el elemento del "núcleo del horno", también puede ser objeto de una determinación en ensayos de laboratorio o en el emplazamiento industrial de que se trate, ser obtenido mediante simulación o conforme a cualquier otro procedimiento.

Durante la etapa 6, se establece el conjunto de las curvas $\theta_{\max}$ en función del tiempo para los tubos T(i) y T(j) mediante:

- para los tubos T(i), una traslación de las curvas $\theta_t(i)_{\text{virtual}}$ de un valor igual a la diferencia correspondiente a $\Delta\theta_{\max}$ estimada en la etapa 5, y

ES 2 347 833 T3

- para los tubos $T(j)$, una traslación de las curvas $\theta t(j)$ de un valor correspondiente a la diferencia $\Delta\theta_{\max}$ estimada en la etapa 5.

5 Al término de estas etapas 1) a 6), se cuenta así con el historial de la temperatura máxima de cada uno de los tubos para su vida útil ya transcurrida.

10 Un historial de las temperaturas máximas de este tipo para cada uno de los tubos permite calcular su vida útil estimada restante, con la ayuda de un procedimiento de cálculo apropiado, según la etapa 7 del procedimiento. Este cálculo se realiza a intervalos de tiempo elegidos de forma acertada al objeto de volver a calcular esta vida útil tantas veces como sea necesario en función de los incidentes experimentados por los tubos a lo largo de toda la utilización del horno. Conociendo la vida útil restante, se programa (etapa 8) y se realiza (etapa 9) la sustitución de los tubos que lo necesiten en el transcurso de una parada de mantenimiento.

15 El procedimiento de la invención así descrito permite reducir considerablemente los riesgos de rotura de los tubos en curso de funcionamiento, evita las paradas intempestivas del horno y los inconvenientes que traen aparejados.

Ventajosamente, el medio de medida de temperatura a distancia es un pirómetro.

20 Con preferencia, se mide la temperatura con la ayuda del medio de medida de temperatura a distancia al menos una vez al mes para el conjunto de los tubos.

Ventajosamente, se mide la temperatura con la ayuda del medio de medida de temperatura a distancia con mayor frecuencia para los tubos más calientes, preferentemente a diario.

25 Esta medida también se realiza preferentemente en el momento del arranque de la reacción de reformado, en caso de modificación de algunos parámetros, etc.

30 Los “peephole” están dispuestos en la pared del horno de tal modo que cada tubo pueda quedar enfilado a partir de al menos un “peephole”; de manera convencional, la disposición de los “peephole” es tal que es posible efectuar al menos dos medidas en diferentes puntos en la longitud de un tubo. Así, preferentemente se efectuarán al menos dos medidas de temperatura con la ayuda del medio de medida de temperatura a distancia en diferentes puntos en la longitud de un tubo, y la medida θ_p es el mayor de los valores medidos.

35 Siendo el horno de reformado del tipo side fired, para cada tubo $T(j)$, el termopar está fijado preferentemente en un punto del tubo situado en una ordenada $Y_t(j)$, elegida en el tercio inferior del tubo respecto al sentido de circulación de la mezcla reaccionante.

40 Siendo el horno de reformado del tipo top fired, para cada tubo $T(j)$, el termopar se fija preferentemente en un punto del tubo situado en una ordenada $Y_t(j)$, elegida en el tercio superior del tubo respecto al sentido de circulación de la mezcla reaccionante.

45 La adquisición y el registro de las medidas de temperatura para la vida útil del horno de reformado se efectúan ventajosamente por mediación de un sistema de tipo SCADA (“Supervisory Control And Data Acquisition”), cuya capacidad de memoria permite tener un historial completo de los tubos de catalizador.

Ventajosamente, la conversión de la relación $\theta_{\max}(i) = f(\text{tiempo})$ en vida útil restante para cada uno de los tubos se realiza utilizando la relación de Larson Miller.

50 A continuación se describirá la invención con referencia a las figuras 1 y 2 que se adjuntan, en las que:

La figura 1 es una representación esquemática parcial de un horno del tipo side fired para el reformado catalítico de hidrocarburos, apto para la puesta en práctica del procedimiento según la invención.

55 La figura 2 es una representación esquemática parcial de un horno del tipo top fired para el reformado catalítico de hidrocarburos, apto para la puesta en práctica del procedimiento según la invención.

60 La figura 1 presenta un horno para el reformado catalítico de hidrocarburos 1, de tipo “side fired”, que puede permitir la puesta en práctica del procedimiento según la invención. Comprende una cámara 2 de combustión provista de quemadores 3 dispuestos a lo largo de las paredes verticales del horno y unidos a una alimentación 4 de combustible y una cámara de convección 5 destinada a la evacuación de los gases y humos generados por los quemadores 3.

65 Los quemadores 3 están dispuestos al objeto de formar filas, calientan los tubos $T(i)$ y $T(j)$, representados por el tubo 6. Los tubos 6, llenos de catalizador, están dispuestos verticalmente en la cámara 2 de combustión. Cada tubo 6 se alimenta por su extremo superior 7 con una mezcla reaccionante 10, se halla unido por su extremo inferior 8 a un colector 9 que recoge los productos de la reacción de reformado catalítico.

Antes de alimentar al tubo 6, la mezcla reaccionante 10 circula por la cámara de convección 5 en la que es precalentada por los gases y humos evacuados.

El tubo forma parte de los tubos T(j), está provisto de un termopar 11 fijado por debajo de la fila de quemadores más baja. El termopar está alojado en una caja de protección térmica no representada en la figura, con el propósito de protegerlo del calor directo de los quemadores 3. Está enlazado con un sistema externo SCADA que permite la adquisición, el registro y el procesamiento de los datos en tiempo real (no representado en la figura).

La figura 2 presenta un horno para el reformado catalítico de hidrocarburos 21, de tipo “side fired”, que puede permitir la puesta en práctica del procedimiento según la invención. Comprende una cámara 22 de combustión provista de quemadores 23 dispuestos en el techo del horno y unidos a una alimentación 24 de combustible y una cámara 25 de convección destinada a la evacuación de los gases y humos generados por los quemadores 23.

Los quemadores 23 calientan unos tubos T(i) y T(j), representados por el tubo 26. Los tubos 26, llenos de catalizador, están dispuestos verticalmente en la cámara 22 de combustión. Cada tubo 26 se alimenta por su extremo superior 27 con una mezcla reaccionante 30, se halla unido por su extremo inferior 28 a un colector 29 que recoge los productos de la reacción de reformado catalítico.

Antes de alimentar al tubo 26, la mezcla reaccionante 30 circula por la cámara 25 de convección en la que es precalentada por los gases y humos evacuados.

El tubo forma parte de los tubos T(j), está provisto de un termopar 31, fijado en el tercio superior del tubo. El termopar está alojado en una caja de protección térmica no representada en la figura, con el propósito de protegerlo del calor directo de los quemadores 23. Está enlazado con un sistema externo SCADA que permite la adquisición, el registro y el procesamiento de los datos en tiempo real (no representado en la figura).

Los hornos representados en las figuras 1 y 2 funcionan del mismo modo para la puesta en práctica de la invención.

Los tubos T(j) se eligen libremente, aunque preferentemente son representativos de un perfil de temperatura en el horno, también se puede equipar con su propio termopar a cada tubo de catalizador.

Las temperaturas $\theta_t(j)$ medidas por cada termopar 11, 31 del que está provisto cada uno de los tubos T(j) son transmitidas al sistema de adquisición y de registro de datos SCADA. Éstas se convierten a valores de temperaturas máximas para cada tubo de catalizador. Las temperaturas máximas se obtienen a partir de correcciones aplicadas a las temperaturas medidas según la invención.

Así, los datos de temperaturas registrados, completados con las medidas pirométricas periódicas, proporcionan con arreglo al procedimiento de la invención el conjunto de los valores de temperatura $\theta_{\max}$ en función del tiempo para la totalidad de los tubos del horno. A partir de los datos de temperatura $\theta_{\max}$ así registrados, se calcula la vida útil restante de los tubos 6, 26. El cálculo de esta vida útil restante utiliza típicamente una relación del tipo relación de Larson Miller, ley conocida y comúnmente usada por el experto en la técnica para prever la vida útil de los tubos. Se presenta un ejemplo de estudio detallado de la rotura en temperatura y un ejemplo de cálculo de vida útil en función de la temperatura en el artículo “Journal of Corrosion Science and Engineering, Volumen 6 Paper H012”, que está disponible particularmente a partir de las siguientes direcciones:

<http://www2.umist.ac.uk/corrosion/JCSE/Volume6/Default.html> o <http://www.jcse.org/>

En el instante M, todo tubo dispone de una vida útil máxima restante V_M , propia del mismo, para una utilización a la temperatura normal de funcionamiento. Esta vida útil V_M es el resultado de la previsión de vida calculada con la ayuda de la relación de Larson Miller en dicho momento M.

En el siguiente cálculo, a saber, en el instante M+1, se va a determinar, de acuerdo con la invención, con la ayuda del parámetro de temperatura de Larson Miller, la vida útil máxima restante V_{M+1} , que tiene en cuenta condiciones efectivas de funcionamiento del tubo desde el cálculo anterior. Para ello, con la ayuda del parámetro de temperatura de Larson Miller y a partir de los valores de $\theta_{\max}$ en función del tiempo, en función de la duración durante la cual el tubo de catalizador ha permanecido a la temperatura $\theta_{\max}$, en función de las propiedades térmicas del tubo, se calcula, para el período de tiempo transcurrido desde el último cálculo a la temperatura $\theta_{\max}$ (dada por SCADA), la duración equivalente de utilización a la temperatura normal de funcionamiento. La vida útil restante estimada es reajustada entonces en función de esta duración equivalente de utilización. El cálculo se realiza para cada tubo de catalizador.

Nota: si unos tubos han funcionado a una temperatura inferior a la temperatura normal de funcionamiento, aumenta su vida útil restante estimada; si unos tubos han funcionado a una temperatura superior a la temperatura normal de funcionamiento, disminuye su vida útil restante estimada;

El cálculo de la vida útil restante estimada aporta así al explotador de la instalación unos elementos complementarios esenciales con el fin de prever o no la sustitución de la totalidad o parte de los tubos con motivo de una parada de mantenimiento programada.

ES 2 347 833 T3

La invención se ha descrito en relación con ejemplos particulares de realización, aunque es bastante evidente que ésta no está limitada en modo alguno a los mismos y que comprende todos los equivalentes técnicos de los medios descritos así como sus combinaciones si éstas entran en el ámbito de la invención.

De la puesta en práctica del seguimiento de temperaturas según la invención se derivan otras ventajas, especialmente con motivo de fases transitorias tales como un nuevo arranque, un cambio de la composición de la mezcla reaccionante o cualquier otra causa. Esta herramienta permite a los operarios del horno reaccionar inmediatamente en caso de sobrecalentamiento en el horno; se pueden tomar medidas inmediatas para remediar el sobrecalentamiento, siendo así mínimo el impacto negativo sobre la vida útil de los tubos.

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento de mantenimiento de un horno para el reformado catalítico con vapor de una mezcla reaccionante de hidrocarburos, comprendiendo el horno tubos llenos de catalizador, hallándose una primera parte de los tubos T(j) provistos de un termopar fijado a la pared de dicho tubo en un punto $Y_t(j)$, estando desprovistos del mismo los otros tubos T(i), comprendiendo el procedimiento al menos las siguientes etapas:

10 1) medir periódicamente, para cada tubo, una temperatura θ_p de pared del tubo con la ayuda de un medio de medida de temperatura a distancia;

15 2) medir y registrar de forma continua para cada uno de los tubos T(j) una segunda temperatura $\theta_t(j)$ de pared del tubo con la ayuda del termopar fijado en la parte inferior de dichos tubos y unido a un sistema de adquisición de datos apto para almacenar datos durante un tiempo al menos igual a la vida útil del horno, establecer una curva $\theta_t(j)$ en función del tiempo;

3) para cada tubo T(j) y para cada medida $\theta_p(j)$, calcular $\Delta\theta(j) = \theta_p(j) - \theta_t(j)$;

20 4) para cada tubo T(i), establecer una curva virtual $\theta_t(i)_{\text{virtual}}$ en función del tiempo tal que:

- pasa por unos puntos $\theta_t(i)_{\text{virtual}}$ de ordenada $\theta_p(i) - \Delta\theta(j)$ para los que $\Delta\theta(j)$ es el valor calculado durante la etapa 3) para un tubo T(j) vecino elegido, y

25 - resulta de la traslación de la curva $\theta_t(j)$ para dicho tubo T(j) vecino que pasa por esos puntos;

5) por otro lado, para al menos un tubo, determinar el punto más caliente del tubo y estimar la diferencia de temperatura $\Delta\theta_{\text{max}}$ entre la temperatura θ_{max} en dicho punto más caliente y la temperatura θ_t medida en el mismo instante en las condiciones de la etapa 2;

30 6) para cada tubo T(i), establecer una curva $\theta_{\text{max}}(i)$ en función del tiempo a partir de la curva virtual $\theta_t(i)_{\text{virtual}}$ establecida en la etapa 4 y de la $\Delta\theta_{\text{max}}$ de la etapa 5) y, para cada tubo T(j), establecer la curva $\theta_{\text{max}}(j)$ a partir de la curva establecida en la etapa 2 y de la $\Delta\theta_{\text{max}}$ estimada, al objeto de establecer un historial de temperatura de cada tubo T(i);

35 7) deducir de ello, en tiempo real y con la ayuda de un procedimiento de cálculo apropiado, una vida útil restante para cada tubo T(i), a partir de la curva $\theta_{\text{max}}(i)$ y para cada tubo T(j), a partir de la curva $\theta_{\text{max}}(j)$;

8) comparar la vida útil restante para cada uno de los tubos con el tiempo que resta antes de las próximas paradas programadas del horno; y

40 9) sustituir los tubos que lo necesiten con motivo de cada parada programada.

45 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el medio de medida de temperatura a distancia es un pirómetro.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado** porque se mide la temperatura con la ayuda del medio de medida de temperatura a distancia al menos una vez al mes para el conjunto de los tubos.

50 4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado** porque se mide la temperatura con la ayuda del medio de medida de temperatura a distancia con mayor frecuencia para los tubos más calientes, preferentemente a diario.

55 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque se efectúan al menos dos medidas de temperatura con la ayuda del medio de medida de temperatura a distancia en diferentes puntos en la longitud de un tubo y porque la medida θ_p es el mayor de los valores medidos.

60 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque siendo el horno de reformado del tipo side fired, para cada tubo T(j), el termopar se fija en un punto del tubo situado en una ordenada $Y_t(j)$, elegida en el tercio inferior del tubo respecto al sentido de circulación de la mezcla reaccionante.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque siendo el horno de reformado del tipo top fired, para cada tubo T(j), el termopar se fija en un punto del tubo situado en una ordenada $Y_t(j)$, elegida en el tercio superior del tubo respecto al sentido de circulación de la mezcla reaccionante.

65 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque la adquisición y el registro de las medidas de temperatura para la vida útil del horno de reformado se efectúan por mediación de un sistema de tipo SCADA.

ES 2 347 833 T3

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque la conversión de la relación $\theta_{\max}$ (i) en función del tiempo en vida útil restante para cada uno de los tubos se realiza utilizando la relación de Larson Miller.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

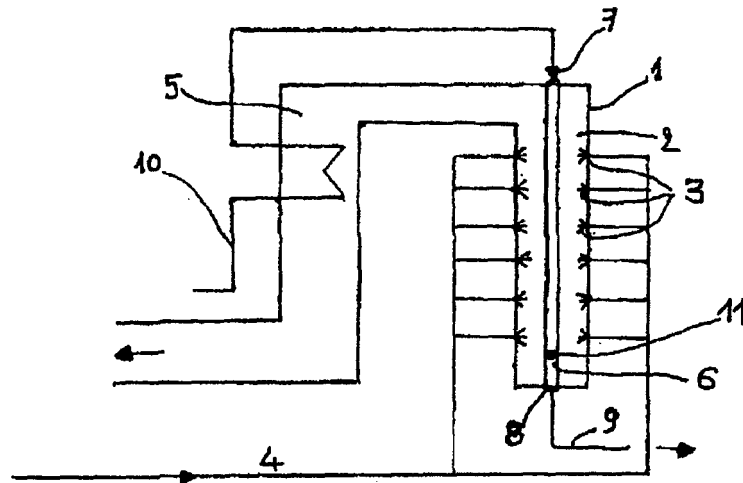


Fig 1

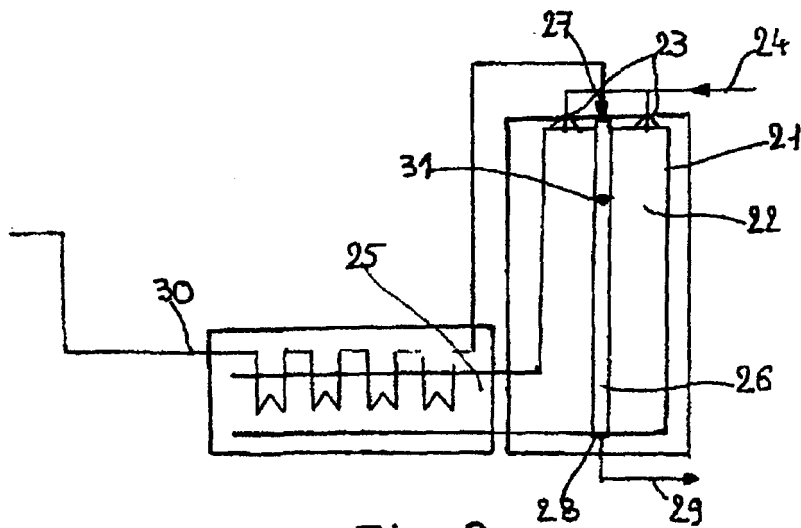


Fig 2