

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 765 028**

51 Int. Cl.:

B01J 19/00 (2006.01)
B01J 19/02 (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)
F28F 9/26 (2006.01)
F28F 21/08 (2006.01)
F28D 7/16 (2006.01)
C10G 9/20 (2006.01)
F28F 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.03.2012 PCT/CA2012/000252**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **01.11.2012 WO12145820**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2012 E 12777060 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2019 EP 2702120**

54 Título: **Serpentín de horno con protuberancias en la superficie externa**

30 Prioridad:

28.04.2011 CA 2738273

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.06.2020

73 Titular/es:

NOVA CHEMICALS (INTERNATIONAL) S.A.
(100.0%)
Avenue de la Gare 14
1700 Fribourg, CH

72 Inventor/es:

PETELA, GRAZYNA y
BENUM, LESLIE WILFRED

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 765 028 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

Serpentín de horno con protuberancias en la superficie externa

5 Campo técnico

La presente invención se refiere al campo del craqueo de parafinas a olefinas y más particularmente a protuberancias en la superficie externa de la porción vertical del(de los) serpentín(es) de proceso en la sección radiante de un horno de craqueo. Más particularmente, las protuberancias tienen una forma geométrica que tiene una superficie externa relativamente grande que contiene un volumen relativamente pequeño seleccionado de un tetraedro, una pirámide, un cono, una sección de una esfera que es una semiesfera o menos, y una sección de un elipsoide. Las protuberancias se pueden separar en un patrón regular, o su densidad por pulgada cuadrada puede diferir a lo largo del serpentín y puede depender de la exposición del serpentín a la intensidad de radiación local en un horno. El tamaño de una sola protuberancia debe ser tal que su base (una superficie de contacto con un serpentín) no debe exceder el 10 % de la sección transversal del serpentín, y su altura no debe exceder el 15 % del diámetro interior del serpentín.

Estas protuberancias aumentan la transferencia neta de calor radiante y convectivo de la llama, de los gases de combustión y de las paredes circundantes del horno, hacia la superficie externa del serpentín de proceso.

20 Técnica anterior

El campo de los diseños de intercambiadores de calor está repleto de aplicaciones de aletas para mejorar la transferencia de calor. Normalmente esto es transferencia de calor por mecanismo de convección forzada. La transferencia de calor por convección forzada tiene lugar entre una superficie sólida y un fluido en movimiento, que puede ser gas o líquido, y comprende los efectos combinados de conducción y de flujo de fluido. Este tipo de transferencia de calor ocurre en la mayoría de los sistemas de calentamiento convencionales, ya sean intercambiadores de calor de agua caliente o eléctricos e industriales.

En el proceso de craqueo de una parafina como el etano o la nafta, la alimentación fluye a través de un serpentín (tubería) del horno que se calienta hasta 1050 °C, dentro de la sección radiante de un horno de craqueo. A estas temperaturas, la alimentación sufre una serie de reacciones, que incluyen una descomposición de radicales libres (craqueo), la reforma de un nuevo producto insaturado y la coproducción de hidrógeno. Estas reacciones ocurren durante un período de tiempo muy corto que corresponde al tiempo de permanencia de la alimentación en un serpentín.

El interior de la sección radiante del horno está revestido con material refractario que absorbe/irradia calor, y se calienta normalmente mediante quemadores de gas. La transferencia de calor dentro del horno, entre la llama, los gases de combustión, el material refractario y los serpentines de proceso es principalmente por radiación, y también por convección forzada.

Hay una tendencia a mejorar la eficiencia de los hornos de craqueo, ya que esto reduce los costes del proceso y las emisiones de gases de efecto invernadero. Ha habido dos enfoques principales para mejorar la eficiencia; mejorar la transferencia de calor a los serpentines del horno, es decir, de la llama, de los gases de combustión y de las paredes de material refractario a la superficie externa de un serpentín de proceso, y mejorar la transferencia de calor dentro del serpentín, es decir, de las paredes del serpentín hacia la alimentación que fluye dentro del serpentín.

Uno de los métodos que representan el segundo enfoque es la adición de aletas interiores a las paredes internas del serpentín del horno, para promover el "arremolinamiento" o la mezcla de la alimentación dentro del serpentín. Esto mejora la transferencia de calor convectivo desde las paredes del serpentín a la alimentación a medida que aumenta la turbulencia del flujo de alimentación y también aumenta la superficie de transferencia de calor de la pared interna caliente del serpentín.

La patente de Estados Unidos 5.950.718 publicada el 14 de septiembre de 1999 por Sugitani et al., asignada a Kubota Corporation proporciona un ejemplo de este tipo de tecnología.

Los documentos "Three dimensional coupled simulation of furnaces and reactor tubes for the thermal cracking of hydrocarbons", de T. Detemmerman, G.F. Froment, (Universiteit Gent, Krijgslaan 281, b9000 Gent-Belgium, mars-avri, 1998); y "Three dimensional simulation of high internally finned cracking coils for olefins production severity" de Jjo de Saegher, T. Detemmerman, G.F. Froment, (Universiteit Gent1, Laboratorium voor Petrochemische Techniek, Krijgslaan 281, b-9000 Gent, Belgium,1998) proporcionan una simulación teórica de un proceso de craqueo en un serpentín que está internamente aletado con aletas helicoidales y longitudinales (o más bien lomas o bultos). Los resultados de la simulación se verifican mediante experimentos a escala de laboratorio, en los que el aire caliente fluye a través de dichos tubos internamente aleteados. Los documentos concluyen que el tubo con aletas helicoidales internas opera mejor que con aletas longitudinales internas y que los resultados para "un tubo con aletas helicoidales internas están en total acuerdo con las observaciones industriales". Sin embargo, no se proporcionan

datos experimentales para apoyar estas conclusiones. Tampoco se compara el rendimiento de un tubo desnudo, sin costillas ni aletas internas. Los autores coinciden en que una posible desventaja de tales serpentines con aletas internas es que pueden acumularse depósitos de carbono en las aletas, lo que aumenta la caída de presión a través del tubo.

5 La adición de aletas a una superficie externa del serpentín también se enseña en la técnica anterior. La patente de Estados Unidos 5.590.711 publicada el 7 de enero de 1997 por Ishida et al., asignada a Kabushiki Kasha Kobe Seiko Sho, divulga tubos de intercambiador de calor que tienen una pluralidad de crestas y lomas externas en su superficie. Los tubos se usan en aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado, en las que un líquido (por ejemplo, agua) está en contacto directo con la superficie externa del tubo. La patente no sugiere que los tubos puedan usarse en una sección radiante de un horno de craqueo.

10 La patente de Estados Unidos 7.096.931 publicada el 29 de agosto de 2006 por Chang et al., asignada a ExxonMobil Research and Engineering Company, enseña un tubo de intercambiador de calor aleteado externamente en una reacción de suspensión (síntesis de Fischer Tropsch). En la reacción, una suspensión de CO e hidrógeno en un diluyente de hidrocarburo que contiene catalizador, fluye sobre tubos de intercambiador de calor que contienen agua de enfriamiento que fluye. El agua se calienta a vapor en el proceso, para eliminar el calor de la reacción.

15 Las dos patentes anteriores enseñan el intercambio de calor por convección forzada. Es decir, un fluido que fluye (agua o un hidrocarburo) está en contacto con la superficie externa de un tubo de calentamiento/enfriamiento que tiene acanaladuras o aletas en su superficie. Ninguna de las patentes sugiere protuberancias externas para mejorar la transferencia de calor radiativo al tubo.

20 La patente de Estados Unidos de NOVA Chemicals 7.128.139 publicada el 31 de octubre de 2006 enseña aletas anulares externas en el serpentín de un horno de craqueo para aumentar el intercambio de calor por convección al serpentín.

25 La solicitud de patente canadiense 2.735.533 titulada Furnace Coil Fins presentada el 29 de marzo de 2011, en nombre de NOVA Chemicals, divulga aletas longitudinales en los pasos de un tubo de horno. Esta no sugiere las protuberancias de la presente invención.

30 La patente de Estados Unidos 4.402.359 publicada el 6 de septiembre de 1983 por Carnavos et al., asignada a Noranda Mines Limited, divulga un dispositivo de transferencia de calor que tiene una superficie de pared aumentada que comprende una pared base de material conductor de calor que tiene una pluralidad de aletas piramidales, regularmente separadas y formadas como un patrón de diamante moleteado alrededor de la periferia exterior de la tubería. Sin embargo, las aletas son de un tamaño muy pequeño de 0,015-0,040 pulgadas, y su fin principal era mejorar la transferencia de calor convectivo de un líquido que fluye hacia una superficie sólida.

35 La patente de Estados Unidos 4.232.728 publicada el 11 de noviembre de 1980 por Fenner et al., asignada a Union Carbide, divulga un tubo metálico para un intercambiador de calor, con capacidades de transferencia de calor mejoradas que tiene una superficie interna provista de una capa de cuerpos metálicos irregulares distribuidos al azar o de partículas unidas a la superficie interna y separadas entre sí. La relación de la altura media aritmética de estos cuerpos o partículas con respecto al diámetro interior del tubo es de al menos 0,006.

40 La patente de Estados Unidos 7.386.980 publicada el 17 de junio de 2008 por Green et al., asignada a Power Systems Mfg LLC, divulga un revestimiento de combustión con una transferencia de calor mejorada, que tiene un patrón sustancialmente uniforme que comprende una pluralidad de acanaladuras intersecantes texturizadas en su superficie de enfriamiento. La textura también puede tener formas como, por ejemplo, troncos de pirámides, con alturas de 0,01 pulgadas. El documento US2006/0081364 divulga un horno para el craqueo térmico de etano.

45 Las enseñanzas de todas las referencias anteriores se alejan de la materia objeto de la presente invención ya que las modificaciones de la superficie son geoméricamente muy pequeñas, por lo que representan más bien acanaladuras o "textura" de material, y se diseñaron para aumentar la transferencia de calor convectivo entre fluidos, principalmente en intercambiadores de calor.

50 La presente invención busca proporcionar un método para aumentar la captura neta de calor radiante y convectivo por un serpentín de proceso en la sección de calentamiento radiante de un horno de craqueo.

60 **Divulgación de la invención**

La presente invención proporciona un horno para craquear térmicamente una alimentación seleccionada del grupo que consiste en alcanos C_{2-4} y nafta, que comprende en la sección radiante del horno uno o más serpentines de proceso que comprenden uno o más pasos, que tienen la superficie externa aumentada con protuberancias, teniendo cada una de dichas protuberancias:

65 i) una altura del 3 al 15 % del diámetro exterior del serpentín;

ii) una superficie de contacto con el serpentín cuya área es el 0,1 %-10 % del área de la sección transversal externa del serpentín;

iii) una forma geométrica que tiene una superficie externa relativamente grande que contiene un volumen relativamente pequeño seleccionado de un tetraedro, una pirámide, un cono, una sección de una esfera que es una semiesfera o menos, y una sección de un elipsoide.

En otra realización, la protuberancia tiene una altura del 3 % al 10 % del diámetro exterior del serpentín,

En otra realización, la forma de la protuberancia es un tetraedro (pirámide con una base triangular y 3 caras que son triángulos equiláteros).

En otra realización, la forma de la protuberancia es una pirámide cuadrada de Johnson (pirámide con una base cuadrada y lados que son triángulos equiláteros).

En otra realización, la forma de la protuberancia es una pirámide con 4 lados de triángulo isósceles.

En otra realización, la forma de la protuberancia es cualquier pirámide con lados de triángulos isósceles.

En otra realización, la forma de la protuberancia es una sección de una esfera.

En otra realización, la forma de la protuberancia es una sección de un elipsoide.

En otra realización, solo los pasos seleccionados del serpentín del horno en la sección radiante tienen protuberancias.

En otra realización, las bases de las protuberancias cubren toda la superficie del serpentín, sin dejar espacios entre ellas (a menos que una base de protuberancia tenga una forma, por ejemplo, esférica, que permita una cobertura completa de una superficie del serpentín).

En otra realización, las protuberancias están separadas en la superficie externa del serpentín en un patrón regular, con la misma densidad (número de protuberancias por pulgada cuadrada).

En otra realización, las protuberancias están separadas en la superficie externa del serpentín en un patrón regular, pero su densidad por pulgada cuadrada puede diferir a lo largo del serpentín y puede depender de la exposición del serpentín a una intensidad de radiación local en un horno.

En otra realización, las protuberancias se moldean por colada o se mecanizan preferentemente como partes integrales del serpentín (por lo que comprenden la misma composición de material que el serpentín).

En otra realización, el serpentín radiante del horno comprende de aproximadamente un 55 a un 65 % en peso de Ni; de aproximadamente un 20 a un 10 % en peso de Cr; de aproximadamente un 20 a un 10 % en peso de Co; y de aproximadamente un 5 a un 9 % en peso de Fe y el resto de uno o más de los elementos traza.

En otra realización, en la que los elementos traza en el serpentín anterior comprenden de un 0,2 hasta un 3 % en peso de Mn; de un 0,3 a un 2 % en peso de Si; menos del 5 % en peso de titanio, niobio y todos los demás metales traza; y carbono en una cantidad inferior al 0,75 % en peso, sumando en total la suma de los componentes el 100 % en peso.

En otra realización, el serpentín radiante del horno comprende de un 40 a un 65 % en peso de Co; de un 15 a un 20 % en peso de Cr; de un 20 a un 13 % en peso de Ni; menos del 4 % en peso de Fe y el resto de uno o más elementos traza y hasta el 20 % en peso de W, sumando en total la suma de los componentes el 100 % en peso.

En una realización adicional, los elementos traza en el serpentín anterior comprenden de un 0,2 hasta un 3 % en peso de Mn; de un 0,3 a un 2 % en peso de Si; menos del 5 % en peso de titanio, niobio y todos los demás metales traza; y carbono en una cantidad inferior al 0,75 % en peso.

En otra realización, el serpentín radiante del horno comprende de un 20 a un 38 % en peso de cromo y de un 25 a un 48 % en peso de Ni.

En otra realización, el serpentín radiante anterior comprende además de un 0,2 a un 3 % en peso de Mn, de un 0,3 a un 2 % en peso de Si; menos del 5 % en peso de titanio, niobio y todos los demás metales traza; y carbono en una cantidad inferior al 0,75 % en peso y el resto sustancialmente de hierro.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un dibujo esquemático de un horno de craqueo.

La figura 2 es un dibujo esquemático de una parte de un serpentín de proceso.

La figura 3 es un gráfico que muestra el aumento de la superficie externa del tubo con protuberancias, según la geometría, las dimensiones y la densidad de la cobertura de la superficie del tubo de la protuberancia.

5 La figura 4 es un gráfico de la distribución de temperatura calculada de los gases de combustión y de la alimentación, a lo largo de los serpentines desnudos sin aletas en una sección de horno radiante, en función de los resultados de simulación por ordenador obtenidos usando el modelo de horno descrito en el ejemplo 1.

La figura 5 es el perfil de temperatura real de la superficie externa de los serpentines desnudos sin aletas, medido en la sección radiante del horno de craqueo, que se hizo operar con parámetros similares a los usados en la simulación del ejemplo 1.

10 La figura 6 muestra un serpentín con la superficie externa aumentada con protuberancias en forma de pirámides equiláteras (tetraedros), con el lado "a=7 mm".

La figura 7 es el gráfico que compara las distribuciones de temperatura calculadas de los gases de combustión (y de la alimentación) a lo largo de: i) los serpentines de proceso desnudos sin aletas, como ya se mostró en la figura 4, y ii) los serpentines con la superficie externa cubierta con las protuberancias anteriores en forma de pirámides equiláteras, (a = 7 mm).

Mejor modo para realizar la invención

20 En la fabricación de etileno, una alimentación normalmente seleccionada del grupo que consiste en alcanos C₂₋₄, y nafta se alimenta a uno o más serpentines de horno que pasan a través de un horno de craqueo. El horno, que se muestra esquemáticamente en la figura 1, incluye dos partes principales: la sección de convección (1) en la que la alimentación (2) se precalienta inicialmente y la sección radiante (3) en la que tiene lugar el proceso de craqueo real. La sección radiante del horno comprende la entrada (4), ubicada aguas abajo de la sección de convección que representa aproximadamente la mitad de la sección radiante del horno y a veces se denomina caja "fría", y la salida (5) denominada caja "caliente". La alimentación fluye a través del serpentín de proceso (6) que incluye un tubo largo (7), suspendido dentro de las secciones radiantes de entrada (4) y salida (5) del horno. Para aumentar la longitud del serpentín y, por lo tanto, para permitir el tiempo de permanencia adecuado de la alimentación dentro de ambas partes radiantes del horno, el serpentín comprende múltiples tubos rectos verticales (7), denominados "pasos", interconectados con codos (8) en forma de U, como se muestra en la figura 2. A medida que la alimentación fluye a través del serpentín pasa a la sección del horno radiante de entrada (4), (caja "fría"), se calienta aproximadamente a la temperatura a la que comienzan las reacciones de craqueo. A continuación, la alimentación sale de la sección radiante de entrada y fluye a través de los pasos de los serpentines de proceso en la sección radiante de salida (5) (caja "caliente") del horno. En esta sección, la alimentación se calienta aún más, la reacción de craqueo progresa, hasta que los productos finales (8) se extraen de la salida del serpentín. En ambas partes de la sección radiante del horno, la alimentación se calienta mediante llamas y mediante gases de combustión generados por los quemadores (9) que están montados en las paredes del horno y en el fondo del horno. La transferencia de calor de los gases de combustión y de las llamas al serpentín de procesamiento (6) se produce predominantemente por radiación y también, en menor medida, por el mecanismo de convección forzada. Las llamas y los gases de combustión calientan no solo los serpentines sino también las paredes del horno. Las paredes que están revestidas con un material refractario que absorbe/irradia calor, irradian calor en el serpentín, contribuyendo así también al proceso de calentamiento de la alimentación (2) que fluye.

45 Si la eficiencia de la transferencia de calor al serpentín de proceso en una sección radiante del horno se maximiza o simplemente aumenta, el consumo de combustible por parte de los quemadores puede reducirse y, en consecuencia, también se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. La mayor eficiencia de la transferencia de calor en la sección radiante también proporciona otra posibilidad, de modo que el consumo de combustible se puede mantener sin cambios, pero se puede aumentar la capacidad del horno, es decir, se pueden craquear mayores caudales de alimentación en el serpentín.

50 De acuerdo con la presente invención, la superficie externa del serpentín, al menos en una porción de uno o más pasos (7) en la sección radiante del horno de craqueo, se aumenta con protuberancias relativamente pequeñas.

Las protuberancias pueden estar espaciadas de manera uniforme o de manera desigual a lo largo del paso. La proximidad de las protuberancias entre sí puede cambiar a lo largo de la longitud del paso o las protuberancias pueden estar espaciadas de manera uniforme pero solo en porciones del tubo, o ambos. Las protuberancias pueden estar más concentradas en el extremo superior del paso en la sección radiante del horno.

60 Las protuberancias pueden cubrir del 10 % al 100 % (y todos los intervalos intermedios) de la superficie externa del paso (7) del serpentín. En algunas realizaciones de la invención, las protuberancias pueden cubrir del 40 al 100 %, normalmente del 50 % al 100 %, generalmente del 70 % al 100 % de la superficie externa del paso del serpentín radiante. Si las protuberancias no cubren todo el paso del serpentín, pero cubren menos del 100 % del paso, pueden ubicarse en la parte inferior, media o superior del paso (7).

65 Una base de protuberancia está en contacto con la superficie externa del serpentín. Una base de una protuberancia tiene un área no mayor que el 0,1 %-10 % del área de la sección transversal del serpentín.

La protuberancia tiene una forma geométrica, con una superficie externa relativamente grande que contiene un volumen relativamente pequeño, seleccionada entre tetraedros, pirámides, cubos, conos, una sección a través de una esfera (por ejemplo, semiesférica o menos), una sección a través de un elipsoide. Algunas formas útiles para una protuberancia incluyen:

- 5 un tetraedro (pirámide con una base triangular y 3 caras que son triángulos equiláteros);
- una pirámide cuadrada de Johnson (pirámide con una base cuadrada y lados que son triángulos equiláteros);
- una pirámide con 4 lados del triángulo isósceles;
- una pirámide con lados de triángulos isósceles (por ejemplo, si t es una pirámide de cuatro caras, la base puede
- 10 no ser un cuadrado, podría ser un rectángulo o un paralelogramo);
- una sección de una esfera (por ejemplo, una semiesfera o menos);
- una sección de un elipsoide (por ejemplo, una sección a través de la forma o del volumen formado cuando una elipse se gira a través de su eje mayor o menor); y
- 15 una sección de una parábola (por ejemplo, la sección a través de la forma o del volumen formado cuando una parábola se gira alrededor de su eje mayor, una semiesfera (o menos) deformada), como por ejemplo diferentes tipos de alas delta.

La selección de la forma de la protuberancia se basa en gran medida en la facilidad de fabricación del paso o tubo. Un método para formar protuberancias en el paso es el moldeo por colada en un molde que tenga la forma de la protuberancia en la pared del molde. Esto es efectivo para formas relativamente simples. Las protuberancias también pueden producirse mecanizando la superficie externa de un tubo de colada, tal como mediante el uso de un dispositivo de moleteado, por ejemplo, un rodillo moleteado.

Las formas anteriores son sólidos cerrados.

- 25 El tamaño de la protuberancia debe seleccionarse cuidadosamente. Cuanto más pequeño es el tamaño, mayor es la relación superficie/volumen de una protuberancia, pero puede ser más difícil moldear por colada o mecanizar dicha textura. Además, en el caso de protuberancias excesivamente pequeñas, el beneficio de su presencia puede reducirse gradualmente con el tiempo debido al asentamiento de diferentes impurezas en la superficie del serpentín.
- 30 Sin embargo, las protuberancias no necesitan ser idealmente simétricas. Por ejemplo, una base elíptica podría deformarse a una forma de gota, y si es así, preferentemente la "cola" puede apuntar hacia abajo cuando el paso se coloca en el horno.

- 35 Una protuberancia tiene una altura (L_z) por encima de la superficie del serpentín radiante del 3 % al 15 % del diámetro exterior del serpentín, y todos los intervalos intermedios, preferentemente del 3 % al 10 % del diámetro exterior del serpentín.

- 40 En una realización, la concentración de las protuberancias es uniforme y cubre completamente la superficie externa del serpentín. Sin embargo, la concentración también puede seleccionarse en función del flujo de radiación en la ubicación del paso (7) del serpentín (por ejemplo, algunas ubicaciones pueden tener un flujo más alto que otras esquinas).

- 45 Al diseñar las protuberancias se debe tener cuidado para que adsorban más energía radiante de la que pueden irradiar. Esto puede replantearse ya que la transferencia de calor a través de la base de la protuberancia hacia el serpentín debe exceder el transferido a la superficie equivalente en un serpentín desnudo sin aletas en las mismas condiciones operativas. Si las concentraciones de las protuberancias se vuelven excesivas y si su geometría no se selecciona adecuadamente, pueden comenzar a reducir la transferencia de calor, debido a los efectos térmicos de una resistencia conductiva excesiva, lo que anula el fin de la invención. Las protuberancias adecuadamente diseñadas y fabricadas aumentarán el calor radiativo y convectivo neto transferido a un serpentín a partir de los gases de combustión circundantes que fluyen, de la llama y del material refractario del horno. Su impacto positivo en la transferencia de calor radiativo no solo se debe a que se puede absorber más calor a través de la superficie externa del serpentín aumentada, por lo que se aumenta el área de contacto entre los gases de combustión y el serpentín, sino también porque se reduce la pérdida relativa de calor a través de la superficie radiante del serpentín, ya que la superficie del serpentín ya no es lisa. En consecuencia, como una protuberancia irradia energía a su
- 50 entorno, parte de esta energía es entregada a y capturada por otras protuberancias, por lo que se redirige de vuelta a la superficie del serpentín. Las protuberancias también aumentarán la transferencia de calor convectivo a un serpentín, debido al aumento de la superficie externa del serpentín que está en contacto con los gases de combustión que fluyen, pero también al aumentar la turbulencia a lo largo de la superficie del serpentín y al reducir el espesor de una capa límite.

- 60 Las protuberancias pueden comprender hasta un 10 % a un 35 % del peso del paso (7) del serpentín. Una de las cuestiones limitantes a considerar es la deformación por fluencia del paso (7) del serpentín dado el peso adicional de las protuberancias. Esto también puede afectar a la ubicación y concentración de las protuberancias. Puede reducir la deformación por fluencia si hay más protuberancias en la superficie superior del paso. Preferentemente, las protuberancias son una parte integral del paso del serpentín y se pueden formar moldeando por colada o mecanizando un tubo de colada. Como resultado, preferentemente, el material de protuberancia tiene la misma
- 65

composición que el material del paso (7) del serpentín radiante. Obviamente, el coste será una consideración en la selección de la forma de la protuberancia y de su método de producción.

5 El paso del serpentín puede ser un tubo de acero inoxidable que puede seleccionarse del grupo que consiste en acero inoxidable forjado, acero inoxidable austenítico y acero inoxidable HP, HT, HU, HW y HX, acero resistente al calor y aleaciones a base de níquel. El paso del serpentín puede ser un acero de baja aleación de alta resistencia (HSLA); acero estructural de alta resistencia o acero de ultra alta resistencia. Los expertos en la materia conocen la clasificación y composición de tales aceros.

10 En una realización, el acero inoxidable, preferentemente acero inoxidable resistente al calor, comprende normalmente de un 13 a un 50, preferentemente de un 20 a un 50, lo más preferentemente de un 20 a un 38 % en peso de cromo. El acero inoxidable puede comprender además de un 20 a un 50, preferentemente de un 25 a un 50, lo más preferentemente de un 25 a un 48, deseablemente de aproximadamente un 30 a un 45 % en peso de Ni. El resto del acero inoxidable puede ser sustancialmente de hierro.

15 La presente invención también se puede usar con aleaciones de alta temperatura austeníticas extremas (HTA) a base de níquel y/o cobalto. Normalmente, las aleaciones comprenden una gran cantidad de níquel o cobalto. Normalmente, las aleaciones a base de níquel de alta temperatura comprenden de aproximadamente un 50 a un 70, preferentemente de aproximadamente un 55 a un 65 % en peso de Ni; de aproximadamente un 20 a un 10 % en peso de Cr; de aproximadamente un 20 a un 10 % en peso de Co; y de aproximadamente un 5 a un 9 % en peso de Fe y el resto de uno o más de los elementos traza que se indican a continuación para llevar la composición hasta el 100 % en peso. Normalmente, las aleaciones a base de cobalto de alta temperatura comprenden del 40 al 65 % en peso de Co; del 15 al 20 % en peso de Cr; del 20 al 13 % en peso de Ni; menos del 4 % en peso de Fe y el resto de uno o más elementos traza como se establece a continuación y hasta el 20 % en peso de W. Sumando en total la suma de los componentes el 100 % en peso.

20 En algunas realizaciones de la invención, el acero puede comprender además una serie de elementos traza que incluyen al menos el 0,2 % en peso, hasta el 3 % en peso normalmente el 1,0 % en peso, hasta el 2,5 % en peso, preferentemente no más del 2 % en peso de manganeso; del 0,3 al 2, preferentemente del 0,8 al 1,6, normalmente menos del 1,9 % en peso de Si; menos del 3, normalmente menos del 2 % en peso de titanio, niobio (normalmente menos del 2,0, preferentemente menos del 1,5 % en peso de niobio) y todos los demás metales traza; y carbono en una cantidad inferior al 2,0 % en peso. Los elementos traza, están presentes en cantidades para que la composición del acero totalice en un 100 % en peso.

35 La presente invención se ilustrará ahora mediante los siguientes ejemplos no limitantes.

Ejemplo 1

Validación del modelo de la sección radiante del horno de craqueo

40 Se desarrolló un modelo informático de la sección radiante del craqueador de etano de NOVA Chemicals en Joffre. El modelo se escribió usando el TK Solver (versión 4) de Universal Technical System Inc. El modelo se ejecutó para simular el proceso en el horno de craqueo en el que los serpentines en la sección radiante del horno no tenían aletas. El modelo predijo la temperatura de los gases de combustión, que fluyen a lo largo de los serpentines del proceso y transfieren calor a la superficie externa del serpentín en la sección radiante del horno, mientras calientan la alimentación en el serpentín a los niveles de temperatura deseados. Los resultados se muestran en la figura 4. Los datos de entrada usados para la simulación anterior, como la geometría y las dimensiones específicas del horno y de los serpentines, el caudal de alimentación, la composición del gas combustible y el caudal hacia los quemadores, las composiciones de la alimentación y del producto y las temperaturas en la entrada y en la salida de la sección radiante del horno, etc., fueron los datos operativos reales medidos en un horno de craqueo en Joffre. Las temperaturas calculadas del gas de combustión se compararon con las temperaturas medidas de la superficie externa del serpentín, que se muestran en la figura 5. Hubo un buen acuerdo cualitativo entre las temperaturas calculadas del gas de combustión y las temperaturas medidas de la superficie del serpentín, por lo que el modelo representa válidamente la operación de la sección radiante del horno.

Ejemplo 2

Comparación del consumo de combustible y de la eficiencia de un horno equipado con:

- 60 a) los serpentines de proceso radiantes desnudos (sin protuberancias);
b) el serpentín radiante que tiene la superficie externa cubierta con protuberancias en forma de pirámides equiláteras, como se muestra en la figura 6;

65 Para tener la base para la comparación entre la eficiencia y el rendimiento de los serpentines de proceso radiantes que representan las dos geometrías anteriores, se hicieron los siguientes supuestos para el fin de las simulaciones:

- 5 • Se consideraron dos tamaños de protuberancias: pirámides equiláteras con una dimensión lateral de (i) $a=7$ mm y (ii) $a=11$ mm, que se distribuyeron uniformemente a lo largo de toda la longitud de los serpentines y cubrieron ~100 % de la superficie externa del serpentín y ~65 % de la superficie externa del serpentín, respectivamente (el % de la cobertura superficial del serpentín depende de la forma y del tamaño de una protuberancia, y se muestra en la figura 3).
- 10 • La masa total de protuberancias se mantuvo igual al 30 % del peso de un serpentín desnudo. Este enfoque se tomó porque un factor limitante significativo en el diseño de serpentines con superficies aumentadas es la masa adicional de los aumentos. El aumento de sus dimensiones y de su masa puede mejorar la eficiencia del serpentín, pero también aumentará la tendencia del serpentín a la deformación por fluencia.
- 15 • Las dimensiones de los serpentines radiantes desnudos (diámetro, espesor de pared, longitud) fueron idénticas en las simulaciones de los dos casos anteriores (es decir, serpentines desnudos sin aletas y serpentines con protuberancias), y eran iguales a las dimensiones reales de los serpentines sin aletas, instalados actualmente en los hornos de craqueo de Joffre.

15 Los resultados de las simulaciones obtenidas se muestran en la figura 7, e indican que la adición de protuberancias mejora la transferencia de calor en comparación con el caso en que los serpentines de proceso son tubos desnudos sin aletas. Los serpentines con superficie externa aumentada absorben más calor de los gases de combustión y, como resultado, la temperatura de los gases de combustión a lo largo de la trayectoria del serpentín disminuye a niveles más bajos, en comparación con la temperatura de los gases que transfieren calor a los serpentines desnudos. Este efecto de “enfriamiento” más eficiente de los gases de combustión por los serpentines con protuberancias está representado en la figura 7 por la diferencia Δt en las temperaturas del gas de combustión en los dos casos comparados.

25 Cuando el tamaño de las protuberancias se aumentó de 7 mm a 11 mm, mientras su masa permaneció sin cambios, las protuberancias más grandes cubrieron solo alrededor del 65 % de la superficie del serpentín. Como consecuencia, la eficiencia del rendimiento del serpentín no mejoró, sino que se volvió incluso ligeramente más baja.

30 Debido a una absorción de calor más efectiva por los serpentines con superficie externa aumentada, la temperatura de la superficie externa del serpentín también aumentó, y en los últimos segmentos del serpentín se volvió inaceptablemente alta. Por lo tanto, la velocidad de alimentación a través de un serpentín tenía que aumentarse, para utilizar el exceso de calor transferido al serpentín y para ayudar a “enfriar” la superficie del serpentín al nivel de temperatura aceptable. Para procesar/craquear el caudal de alimentación aumentado requerido para mantener el límite de temperatura requerido del serpentín, el suministro de gas combustible debe aumentarse también por encima del nivel que se consumió en el horno que opera con serpentines desnudos. Por lo tanto, la aplicación de los serpentines con superficie externa aumentada dio lugar a un aumento de la capacidad del horno; a un aumento del consumo de combustible y a un aumento de la eficiencia general de la sección radiante del horno.

35 Los resultados de la simulación que cuantifican los efectos anteriores se exponen en la Tabla 1.

TABLA 1

Efecto del aumento de la superficie externa de los serpentines de proceso radiantes en un horno de craqueo sobre el consumo de combustible, la capacidad y la eficiencia de la sección radiante del horno

Parámetros operativos	Serpentines DESNUDOS en la sección radiante del horno (Referencia)	Serpentines con PROTUBERANCIAS (en forma de pirámides equiláteras, con una dimensión lateral "a")	
		a=7 mm	a=11 mm
Relación masa del serpentín/masa de las protuberancias, %	0	30	30
Suministro de combustible a los quemadores del horno, kg/s	0,504	0,603	0,600
Suministro de alimentación al serpentín del horno, kg/s	0,898	1,142	1,130
Eficiencia de la sección radiante del horno, %	54,4	58,0	57,7



Aplicabilidad industrial

- 5 Los tubos de horno para el craqueo de materias primas de parafina como el etano que tienen en su superficie protuberancias de acuerdo con la presente invención tienen propiedades de calentamiento mejoradas, tanto radiantes como térmicas, mejorando la economía del proceso.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un horno para craquear térmicamente una alimentación seleccionada del grupo que consiste en alcanos C_{2-4} y nafta, que comprende en la sección radiante del horno uno o más serpentines de proceso, que comprenden uno o más pasos, que tienen la superficie externa aumentada con protuberancias, teniendo cada una de dichas protuberancias:
- 10 i) una altura del 3 al 15 % del diámetro exterior del serpentín;
 ii) una superficie de contacto con el serpentín, cuya área es del 0,1 %-10 % del área de la sección transversal externa del serpentín;
 iii) una forma geométrica, que tiene una superficie externa relativamente grande, que contiene un volumen relativamente pequeño seleccionado de un tetraedro, una pirámide, un cono, una sección de una esfera que es una semiesfera o menos, y una sección de un elipsoide.
- 15 2. El horno de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las protuberancias tienen una altura del 3 % al 10 % del diámetro exterior del serpentín.
- 20 3. El horno de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el serpentín radiante del horno comprende de aproximadamente un 55 a un 65 % en peso de Ni; de aproximadamente un 20 a un 10 % en peso de Cr; de aproximadamente un 20 a un 10 % en peso de Co; y de aproximadamente un 5 a un 9 % en peso de Fe, y el resto de uno o más de los elementos traza.
- 25 4. El horno de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el serpentín radiante del horno comprende, además, de un 0,2 hasta un 3 % en peso de Mn; de un 0,3 a un 2 % en peso de Si; menos del 5 % en peso de titanio, niobio y todos los demás metales traza; y carbono en una cantidad inferior al 0,75 % en peso, sumando la suma de los componentes en total el 100 % en peso.
- 30 5. El horno de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el serpentín radiante del horno comprende de un 40 a un 65 % en peso de Co; de un 15 a un 20 % en peso de Cr; de un 20 a un 13 % en peso de Ni; menos del 4 % en peso de Fe y el resto de uno o más elementos traza y hasta el 20 % en peso de W, sumando la suma de los componentes en total el 100 % en peso.
- 35 6. El horno de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el serpentín radiante del horno comprende, además, de un 0,2 hasta un 3 % en peso de Mn; de un 0,3 a un 2 % en peso de Si; menos del 5 % en peso de titanio, niobio y todos los demás metales traza; y carbono en una cantidad inferior al 0,75 % en peso.
- 40 7. El horno de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el serpentín radiante del horno comprende de un 20 a un 38 % en peso de cromo y de un 25 a un 48 % en peso de Ni.
- 45 8. El horno de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el serpentín radiante del horno comprende, además, de un 0,2 a un 3 % en peso de Mn, de un 0,3 a un 2 % en peso de Si; menos del 5 % en peso de titanio, niobio y todos los demás metales traza; y carbono en una cantidad inferior al 0,75 % en peso y el resto sustancialmente de hierro.
9. El horno de acuerdo con la reivindicación 2, en el que las protuberancias son pirámides.
- 50 10. El horno de acuerdo con la reivindicación 9, en el que las protuberancias son:
 (a) pirámides con una base triangular, en donde preferentemente las protuberancias son tetraedros; o
 (b) pirámides con una base rectangular, preferentemente con una base cuadrada, en donde las protuberancias son más preferentemente las pirámides de Johnsons.
- 55 11. El horno de acuerdo con la reivindicación 2, en el que las protuberancias:
 (a) tienen una base circular; o
 (b) tienen una base elíptica; o
 (c) tienen una base, que tiene forma de gota.
- 60 12. El horno de acuerdo con la reivindicación 2, en el que las bases de las protuberancias cubren toda la superficie del serpentín radiante.
- 65 13. El horno de acuerdo con la reivindicación 2, en el que las bases de las protuberancias están separadas entre sí en la superficie externa del serpentín del horno.
14. El horno de acuerdo con la reivindicación 2, en el que las protuberancias están separadas entre sí, siguiendo un patrón de distribución sustancialmente uniforme, alrededor de la superficie externa del serpentín del horno.

15. El horno de acuerdo con la reivindicación 12, en el que solo esa porción de los pasos del serpentín del horno en la sección radiante tiene protuberancias.

Figura 1

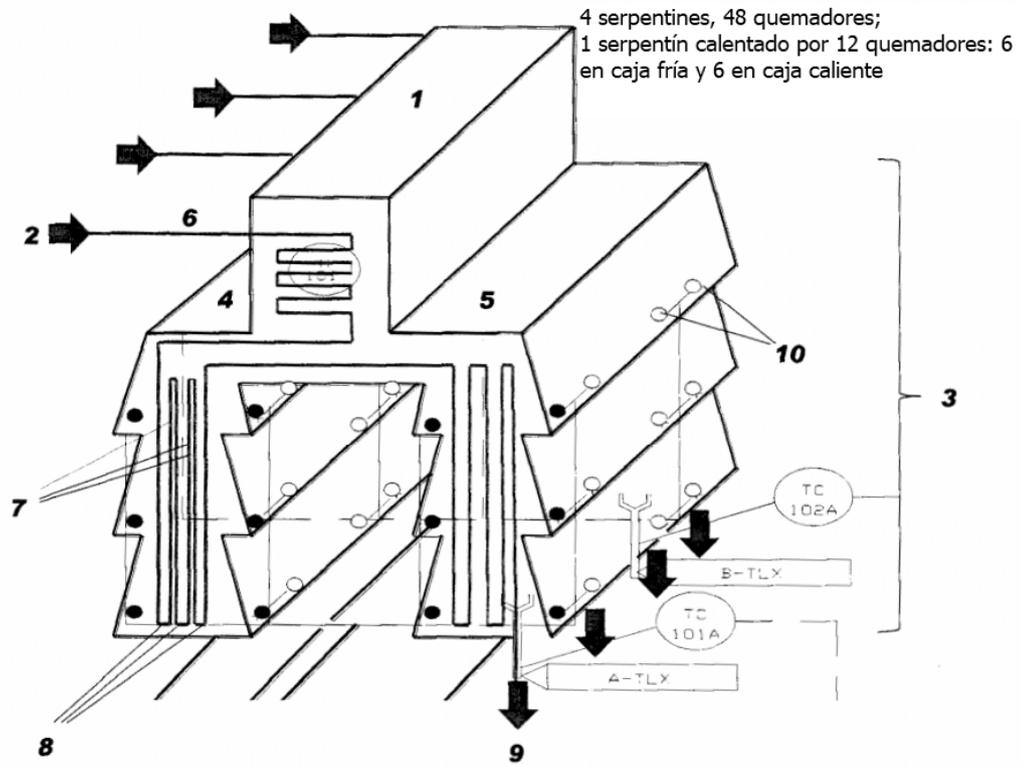


Figura 2

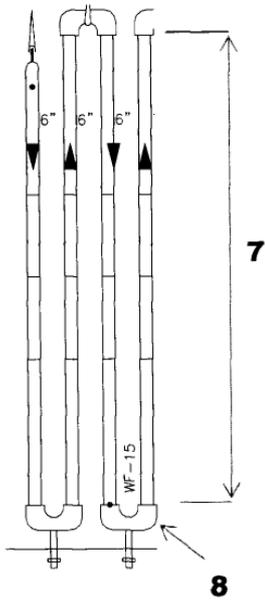


Figura 3

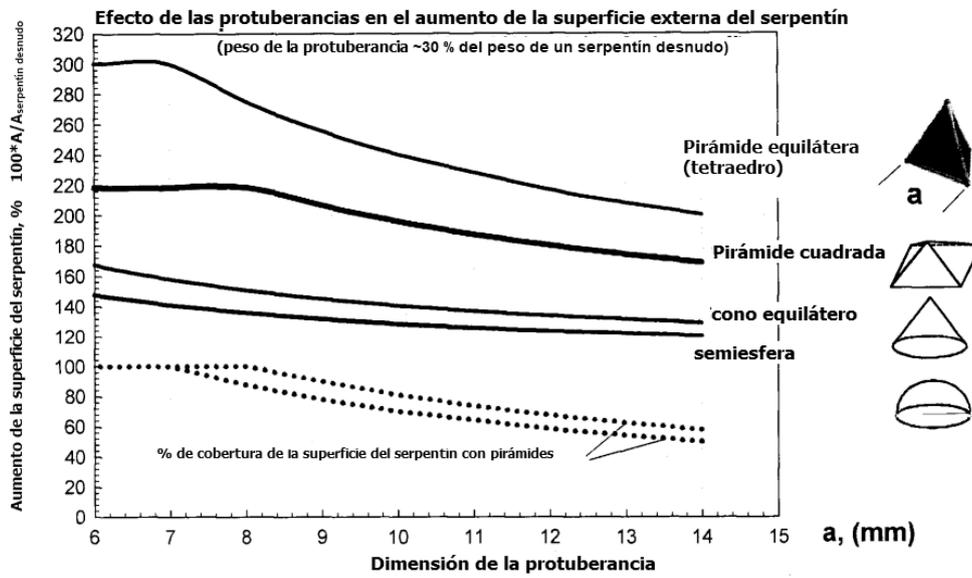


Figura 4

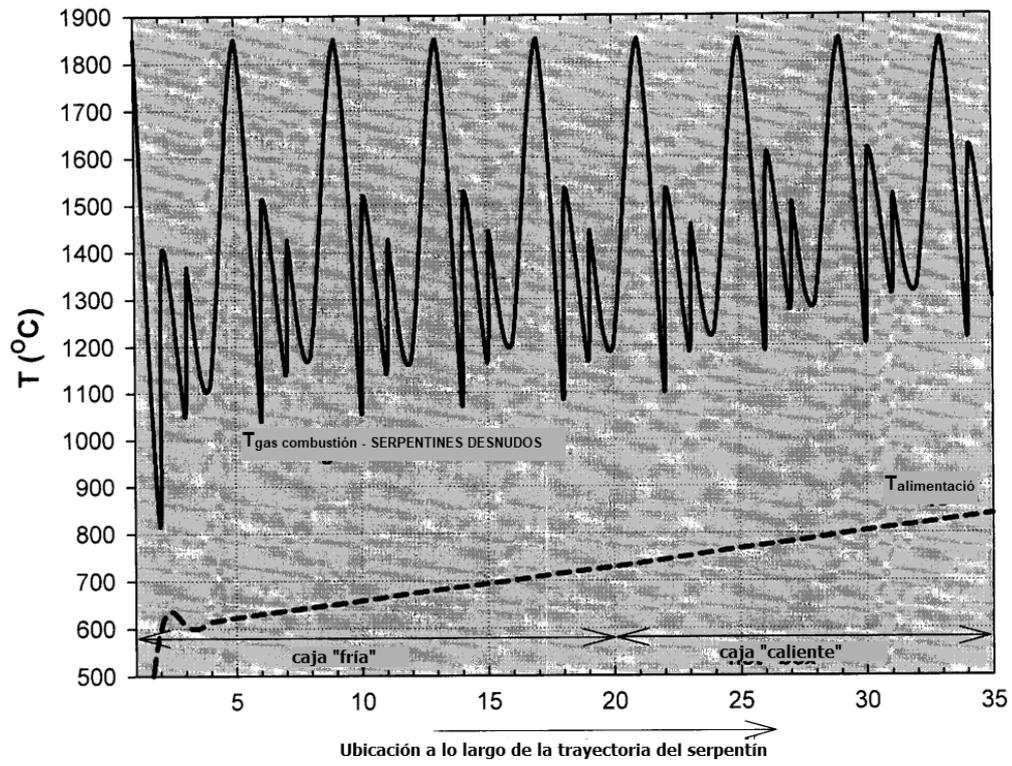


Figura 5

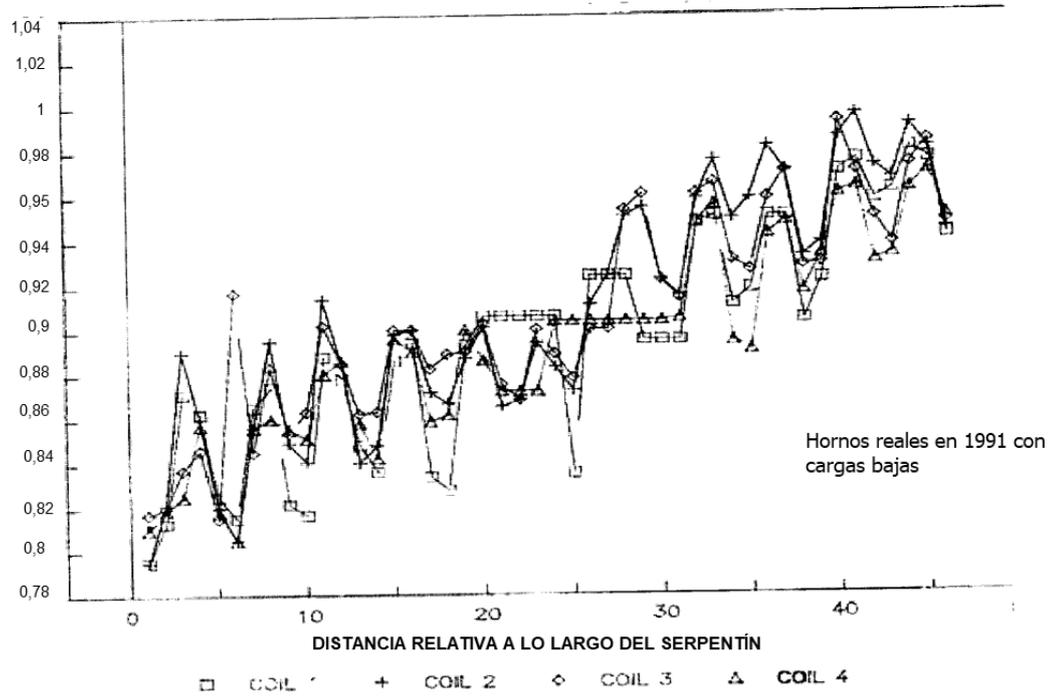


Figura 6

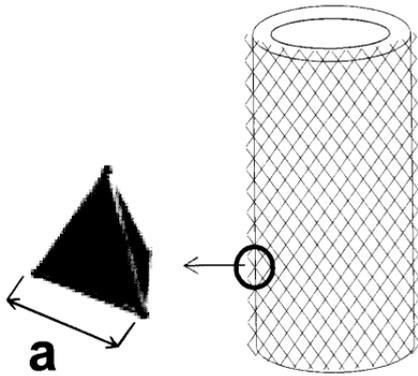


Figura 7

