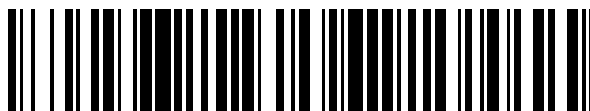


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 568**

51 Int. Cl.:

C10G 9/20 (2006.01)

C22C 38/40 (2006.01)

C22C 30/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03725176 .6**

96 Fecha de presentación: **08.05.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1525289**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.04.2005**

54 Título: **PROCEDIMIENTO Y TUBO CON ALETAS PARA LA DISOCIACIÓN TÉRMICA DE
HIDROCARBUROS.**

30 Prioridad:
25.07.2002 DE 10233961

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.02.2012

73 Titular/es:
**SCHMIDT + CLEMENS GMBH & CO. KG
EDELSTAHLWERK KAISERAU, LEPPESTRASSE
2
51789 LINDLAR, DE**

72 Inventor/es:
**WÖLPERT, Peter;
GANSER, Benno;
JAKOBI, Dietlinde y
KIRCHHEINER, Rolf**

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

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).

ES 2 374 568 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y tubo con aletas para la disociación térmica de hidrocarburos

La invención se refiere a un tubo con aletas para la disociación térmica de hidrocarburos en presencia de vapor, en el que la mezcla utilizada se conduce mediante tubos calentados exteriormente, con aletas interiores de forma helicoidal.

Para la pirólisis a alta temperatura de hidrocarburos (derivados del petróleo) se han acreditado hornos tubulares en los que se conduce una mezcla hidrocarburo / vapor de agua a temperaturas superiores a 750° C, por hileras de tubos (serpentes de craqueo) dispuestos aislados o formando meandros, de aleaciones refractarias de acero cromo níquel, con alta resistencia a la oxidación o a la formación de cascarilla, y con alta resistencia a la carburación. Los serpentines se componen de trozos rectos de tubo que discurren verticales y que están unidos unos con otros mediante codos tubulares de forma de U, o están dispuestos paralelos unos a otros; se calientan normalmente con ayuda de quemadores en la pared lateral y parcialmente también con ayuda de quemadores de solera, y poseen pues una llamada cara solar vuelta hacia los quemadores, así como una llamada cara de sombra desplazada 90° de aquella, es decir, que discurre en la dirección de las hileras de tubos. Aquí las temperaturas medias de la pared del tubo (TMT) están situadas en parte por encima de los 1000° C.

La vida útil de los tubos de craqueo depende mucho en lo esencial, de la resistencia a la fluencia y de la resistencia a la carburación, así como de la velocidad de coquización del material de los tubos. Determinantes para la velocidad de coquización, es decir, para el crecimiento de una capa de depósitos de carbono (coque pirolítico) en la pared interior del tubo, son junto al tipo de los hidrocarburos empleados, la temperatura del gas de disociación en la zona de la pared interior, y la llamada causticidad de craqueo, tras la cual se oculta la influencia de la presión del sistema y del tiempo de permanencia en el sistema de tubos, sobre la producción de etileno. La causticidad de disociación se ajusta mediante la temperatura media de salida de los gases de disociación (por ejemplo, 850°C). Cuanto mayor esté situada la temperatura del gas en la proximidad de la pared interior del tubo, sobre la temperatura de esta, con tanta mayor intensidad crece la capa del coque pirolítico, cuyo efecto aislante permite subir más la temperatura de la pared del tubo. A pesar de que las aleaciones de acero cromo níquel que se llegan a emplear como material del tubo, con 0,4% de carbono, más de 25% de cromo y más de 20% de níquel, por ejemplo, 35% de cromo, 45% de níquel, y en su caso 1% de niobio, poseen una alta resistencia a la carburación, el carbono se difunde en puntos defectuosos de la capa de óxido en la pared tubular, y conduce allí a una carburación elevada que puede llegar a contenidos de carbono del 1% al 3%, en profundidades de pared de 0,5 a 3 mm. Vinculada con esto está una considerable fragilidad del material del tubo, con el peligro de una formación de grietas en caso de carga térmica variable, en especial al arrancar y parar el horno.

Para desmantelar los depósitos de carbono (coquización) en la pared interior del tubo, es necesario interrumpir de vez en cuando el craqueo, y quemar el coque pirolítico con ayuda de una mezcla vapor / aire. Esto exige una interrupción funcional de hasta 38 horas, y merma pues notablemente la economía del procedimiento.

Por la solicitud británica de patente 969 796 y la publicación europea de patente 1 136 541 A1, se conoce también la utilización de tubos de craqueo con aletas interiores. Tales aletas interiores claro que producen una superficie interior mayor en gran porcentaje, por ejemplo, en un 10% y, por lo tanto, una mejor transmisión del calor: pero también están vinculados con el inconveniente de una notablemente elevada pérdida de presión, en comparación con un tubo liso, como consecuencia de la fricción en la superficie interior aumentada del tubo. La mayor pérdida de presión exige una mayor presión del sistema, con lo que se modifica forzosamente el tiempo de permanencia y se empeora el rendimiento. Además, se añade que los conocidos materiales del tubo, con altos contenidos en carbono y cromo, ya no se pueden perfilar más por deformación en frío, por ejemplo, por estirado en frío. Tienen el inconveniente de que su capacidad de deformación se reduce intensamente con la resistencia creciente al calor. Esto ha conducido a que las altas temperaturas de la pared del tubo, deseadas con vistas a la producción de etileno, de por ejemplo hasta 1050° C, exijan la utilización de tubos de fundición centrífuga. No obstante, puesto que los tubos de fundición centrífuga sólo se pueden fabricar con pared cilíndrica, se necesita un procedimiento muy especial de conformación, por ejemplo, un trabajo de erosión electrolítica, o un procedimiento de conformación por soldadura, para fabricar tubos con aletas interiores.

Finalmente, por la solicitud de patente de US, 5 950 718, se conoce también un espectro completo de ángulos de inclinación y también de distancias entre las aletas interiores, no obstante, sin que se tome en consideración la naturaleza de las aletas.

Ante este telón de fondo, la misión de la invención se basa en mejorar la economía de la disociación térmica de hidrocarburos en hornos tubulares con tubos calentados exteriormente, con aletas interiores de forma helicoidal.

La solución de la misión consiste en un tubo con aletas según la reivindicación 1.

En el tubo con aletas según la invención, una corriente rotatoria inicia vórtices que se desprenden en los flancos de las aletas, de manera que no se llega a una reducción local del vórtice, según el tipo de una corriente circular cerrada, en los valles de las aletas. A pesar de los recorridos evidentemente más largos de las partículas por las trayectorias helicoidales, el tiempo medio de permanencia es menor que en el tubo liso y, además, más homogéneo en la

sección transversal (véase figura 7). Esto se confirma por la mayor velocidad total en el tubo perfilado con torsión (perfil 3), respecto al tubo con aletas rectas (perfil 2). Esto está pues garantizado cuando las aletas discurren en un ángulo, de preferencia, de 25° a 32,5° respecto al eje del tubo.

5 En el tubo con aletas según la invención, el aporte de calor forzosamente diferente a lo largo de la periferia del tubo, entre la cara solar y la cara de sombra, se nivela en la pared del tubo y en el interior del tubo, y con esto el calor se evacua con rapidez hacia el interior, a la zona central. Con ello está unida una reducción del peligro de un sobrecalentamiento local del gas de proceso en la pared del tubo, y de la generación de coque pirolítico, ocasionada de este modo. Además, es menor la carga térmica del material del tubo, como consecuencia de la nivelación de temperatura entre cara solar y cara de sombra, lo que conduce a un alargamiento de la vida útil. Finalmente, en el tubo con aletas según la invención se llega también a una homogeneización de la temperatura en toda la sección transversal del tubo, con la consecuencia de una mejor producción de olefinas. El fundamento de esto es que, sin la nivelación radial de temperatura según la invención, en el interior del tubo, se llegaría en la pared caliente del tubo, a un sobrecraqueo, y en el centro del tubo, a una recombinación de los productos de disociación.

10 Por lo demás, en el tubo liso, y reforzado en perfiles de aletas con perímetro interior aumentado mediante aletas, en más del 5%, por ejemplo el 10%, se forma una capa de corriente laminar, característica de corrientes turbulentas, con transmisión muy reducida del calor. Esta capa conduce a la formación reforzada de coque pirolítico, asimismo con mala conductividad térmica. Las dos capas exigen juntamente una mayor aportación de calor, o una mayor potencia de los quemadores. Esto aumenta la temperatura (TMT) de la pared del tubo y, por tanto, acorta la vida útil.

15 La invención evita esto haciendo que el perímetro interior del perfil sea como máximo el 5%, por ejemplo, el 4% o también el 3,5%, referido al perímetro del círculo circunscrito tangente a los valles de las aletas. Expresado de otro modo: el perímetro relativo del perfil asciende como máximo a 1,05 del perímetro del círculo circunscrito. Por consiguiente, la diferencia de superficies del tubo perfilado según la invención, es decir, su superficie interior desarrollada, referida a un tubo liso con el diámetro del círculo circunscrito, asciende como máximo a +5% ó a 1,05 veces la superficie del tubo liso.

20 El perfil del tubo según la invención, permite un menor peso específico (kg/m) del tubo, en comparación con un tubo con aletas, en el que el perímetro interior del perfil es al menos el 10% mayor que el perímetro del círculo circunscrito. Esto lo muestra una comparación de dos tubos con el mismo diámetro hidráulico y, por consiguiente, con igual pérdida de presión, así como con igual resultado termotécnico.

25 Otra ventaja del perímetro del perfil según la invención, referido al perímetro del círculo circunscrito (perímetro relativo del perfil), consiste en un calentamiento más rápido del gas empleado, para una temperatura reducida de la pared del tubo.

30 La corriente rotatoria producida según la invención, reduce la capa laminar muy notablemente; además está vinculada con un vector de velocidad dirigido hacia el centro del tubo, y que reduce el tiempo de permanencia de radicales de craqueo o productos de disociación en la pared caliente del tubo, así como su transformación química y catalítica en coque pirolítico. Adicionalmente, mediante la corriente rotatoria según la invención, se nivelan las diferencias de temperatura no irrelevantes en los tubos con perfil interior con aletas altas, entre los valles de las aletas y las aletas. Con ello se aumenta la distancia temporal entre dos descoquizaciones necesarias. Sin la corriente rotatoria según la invención, se produce entre las cimas de las aletas y el fondo de los valles de las aletas, una diferencia de temperatura no irrelevante. El tiempo de permanencia de los productos de disociación que tienden a la coquización, es más corto en el caso de tubos de craqueo provistos con aletas interiores de forma helicoidal; esto es función en el caso particular, de la naturaleza de las aletas.

El diagrama muestra:

Curva superior:	perfil 6:	paso de 16°
Curva central:	perfil 3:	paso de 30°
Curva inferior:	perfil 4:	3 aletas con paso de 30°

35 El trazado de las curvas muestra claramente que la mayor velocidad periférica del perfil 2 con aletas de 4,8 mm de altura, se agota dentro de los valles de las aletas, mientras la velocidad periférica del perfil según la invención con una altura de las aletas de sólo 2 mm penetra en el centro de la corriente. La velocidad periférica del perfil 4 con sólo 3 aletas, es por cierto casi tan alta, pero no provoca ninguna aceleración de forma helicoidal de la corriente central.

40 El perfil según la invención provoca según el trazado de las curvas en el diagrama de la figura 2, una aceleración de forma helicoidal en los valles de las aletas (ramal de la curva superior), que abarca la zona ancha de la sección transversal del tubo y, por tanto, provoca una homogeneización de la temperatura en el tubo. La menor velocidad periférica en las cimas de las aletas (ramal de la curva inferior) garantiza, además, que no se llegue a vórtices ni a corrientes de reflujo.

En la figura 3 están representados en sección transversal, tres tubos de prueba con sus datos, entre ellos también el perfil 3 según la invención. Los diagramas reproducen en cada caso, la marcha de la temperatura a lo largo del diámetro (radio) del tubo en la cara de sombra y en la cara solar. Una comparación de los diagramas muestra la menor diferencia de temperatura entre la pared y el centro del tubo, así como la menor temperatura del gas en la pared del tubo, en el caso del perfil 3 según la invención.

La corriente rotatoria producida según la invención, garantiza que la fluctuación de la temperatura en la pared interior, a lo largo de la periferia del tubo, es decir, entre la cara solar y la cara de sombra, está situada por debajo de 12° C, a pesar de que los serpentines de un horno tubular dispuestos normalmente en hileras paralelas, se calientan con ayuda de quemadores en la pared lateral, o se aplican con gases de combustión, únicamente en caras opuestas una a otra y, por tanto los tubos poseen una cara solar vuelta hacia los quemadores, y una cara de sombra desplazada 90° de aquella. La temperatura media de la pared del tubo, es decir, la diferencia de temperatura de la pared del tubo entre la cara solar y la cara de sombra, conduce a tensiones y, por tanto, determina la vida útil de los tubos. Así, de la reducción que se puede ver en el diagrama de la figura 4, de 11° de la temperatura media de la pared de un tubo según la invención con ocho aletas con un paso de 30°, con un diámetro interior del tubo de 38,8 mm y con un diámetro exterior del tubo de 50,8 mm, por tanto con una diferencia de la altura entre valles de las aletas y cimas de las aletas, de 2mm, en comparación con un tubo liso de igual diámetro, se deduce con referencia a una vida útil media de 5 años, para una temperatura de funcionamiento de 1050° C, una elevación calculada de la vida útil, hasta unos 8 años.

La distribución de temperaturas entre cara solar y cara de sombra para los tres perfiles de la figura 3, se deduce del diagrama de la figura 5. Hay que destacar aquí el inferior nivel de la curva de temperatura para el perfil 3 en comparación con el tubo liso (perfil 0), y la anchura notablemente menor de la oscilación de la curva del perfil 3, en comparación con la curva del perfil 1.

Una distribución de temperaturas especialmente favorable se ajusta cuando las isoterms de la pared interior del tubo, discurren hacia el centro de la corriente, en forma helicoidal.

Se produce una distribución más uniforme de la temperatura en la sección transversal, en especial cuando la velocidad periférica se establece dentro de 2 a 3 m, y después permanece constante a todo lo largo del tubo.

Con vistas a una alta producción de olefinas, el procedimiento según la invención, en el caso de longitud relativamente más corta del tubo, se debería de poner en funcionamiento de manera que el factor de homogeneidad de la temperatura en la sección transversal, y el factor de homogeneidad de la temperatura referido al diámetro hidráulico, en la relación al factor de homogeneidad de un tubo liso ($H_{G\emptyset}$), sea superior a 1. A este respecto los factores de homogeneidad están definidos como sigue:

$$H_{G\emptyset} [-] H_{p\emptyset} = \Delta T_0 \cdot d_x / \Delta T_x \cdot d_0$$

El diagrama de flujo producido según la invención, de corriente central y corriente rotatoria, se puede conseguir con un tubo con aletas, en el que el ángulo de los flancos de cada una de las aletas que pasan a lo largo de un tramo tubular, es decir, el ángulo externo entre los flancos de las aletas y el radio del tubo, sea de 16° a 25°, de preferencia de 19° a 21°. Un ángulo semejante de los flancos, garantiza en unión con un paso de las aletas de 20° a 40°, por ejemplo, de 22,5° a 32,5°, que en los valles de las aletas no se produzca una corriente turbulenta más o menos cerrada en sí misma que vuelva a los valles de las aletas, detrás de los flancos de las aletas, y que conduzca en los valles de las aletas, a generar "twisters" no deseados, es decir, trenzados de vórtices. Los vórtices generados en los valles de las aletas, más bien se desprenden de los flancos de las aletas, y son absorbidos por la corriente rotatoria. La energía de rotación inducida por las aletas, acelera las partículas gaseosas, y conduce a una mayor velocidad total. Esto conduce a una disminución y homogeneización de la temperatura de la pared del tubo, y a una homogeneización de la temperatura y del tiempo de permanencia en la sección transversal del tubo.

La naturaleza del tubo con aletas según la invención, se deduce de la representación de un segmento de tubo en la figura 6, y de los parámetros característicos correspondientes.

- Diámetro hidráulico D_h en mm, $RI \leq D_h / 2$
- Ángulo de flancos β
- Altura de la aleta H
- Radio del círculo circunscrito $R_a = RI + H$, y $Da = 2 \times R_a$
- Ángulo en el centro α
- Radio de curvatura $R = R_a (\sin \alpha / 2 \sin \beta + \sin \alpha)$
- Perímetro del círculo circunscrito $2 \pi R_a$
- Ángulo en el triángulo escaleno $\gamma = 180 - (\alpha + \beta)$
- Radio interior $RI = 2R (\sin \gamma / \sin \alpha) - R$
- Perímetro del perfil $U_p = 2 \times \text{número de aletas} \times nR/180 (2 \beta + \alpha)$
- Superficie de la aleta F_R
- Superficie del círculo circunscrito $F_a = \pi Da^2/4$
- Superficie del círculo interior $F_i = \pi \cdot DI$

- Superficie del perfil dentro del círculo circunscrito $F_P = F_R \cdot \text{número de aletas}$
- Perímetro del perfil $U_p = \text{máximo } 1,05 \cdot 2 \pi R_a$

Las aletas y los valles de las aletas que se encuentran entre las aletas, están configuradas en sección transversal, con simetría de espejo, y forman una línea ondulada con radios iguales de curvatura. El ángulo de flancos se produce entonces entre las tangentes de los dos radios respectivos de curvatura en el punto de contacto, y el radio del tubo. En este caso las aletas son relativamente planas; la altura de la aleta y el ángulo de flancos se armonizan uno con otro, de manera que el diámetro hidráulico del perfil, de la relación 4 x sección transversal libre / perímetro del perfil, sea igual o mayor que el círculo interior del perfil. Por consiguiente el diámetro hidráulico está situado en el tercio interior de la altura del perfil. Con ello aumentan la altura de las aletas y el número de las aletas, con el diámetro creciente, de manera que la corriente rotatoria permanece en la dirección e intensidad necesaria para la acción del perfil.

Entre las aletas o en los valles de las aletas, se produce una mayor velocidad de circulación (figura 2) que conduce a un efecto de autolimpieza, por tanto, a menores depósitos de coque pirolítico.

Los ensayos han demostrado que —con independencia del diámetro interior de los tubos— son suficientes en total de 8 a 12 aletas, para conseguir el diagrama de flujo según la invención.

En el tubo con aletas según la invención, la relación Q_R / Q_0 del cociente de los coeficientes de transmisión del calor, al cociente $\Delta P_R / \Delta P_0$ de las pérdidas de presión en el ensayo con agua, utilizando y observando las leyes de semejanza, y utilizando los números de Reynold determinados para una mezcla de nafta / vapor de agua, es de preferencia de 1,4 a 1,5, significando R un tubo con aletas y 0, un tubo liso.

La superioridad del tubo con aletas según la invención (perfil 3) en comparación con un tubo liso (perfil 0), así como con un tubo con aletas paralelas al eje (perfil 1) en las que la distancia radial entre los valles de las aletas y las cimas de las aletas, asciende a 4,8 mm, la ilustran los datos de la tabla siguiente. Todos los tubos con aletas tenían 8 aletas, así como el mismo círculo circunscrito.

PERFIL	0	1	3
Temperatura del fluido para 9950 mm en el centro $T_m[^\circ\text{C}]$	843,6	848,1	843,0
Temperatura del fluido para 9950 mm en el borde $T_r[^\circ\text{C}]$	888,9	894	874,8
Apertura de temperatura para 9950 mm $\Delta T = T_r - T_m[^\circ\text{C}]$	45,3	45,9	31,8
Factor de homogeneidad respecto al tubo liso $H_t = \Delta T_q / \Delta t_x$	1	0,9869281	1,4245283
Diámetro hidráulico d_h [mm]	0,0380	0,0258	0,0344
Factor de homogeneidad del \varnothing hidráulico, respecto al tubo liso $H_{t\varnothing}: H_{t\varnothing} = \Delta T_0 \cdot d_x / \Delta T_x \cdot d_0$	1	0,8477193	1,3420558
Categoría H:	2	2	1

Aquí se define el diámetro hidráulico como sigue:

$$D_{\text{hydr}} = 4 \times (\text{sección transversal libre}) / \text{perímetro interior};$$

corresponde de preferencia al diámetro interior de un tubo liso comparable, y produce un factor de homogeneidad de 1,425.

El tubo con aletas según la invención produce en el ensayo con agua, una transmisión (Q_R) del calor superior en un factor 2,56, en comparación con el tubo liso, para una pérdida (ΔP_R) de presión elevada solamente en un factor 1,76.

En la figura 7, a un tubo de pared interior lisa (tubo liso) se confrontan tres tubos de distinto perfil, entre los cuales un tubo según la invención con 8 aletas con un paso de 30° cada una. Para cada sección transversal se indican, el diámetro hidráulico, la velocidad axial, el tiempo de permanencia y la pérdida de presión.

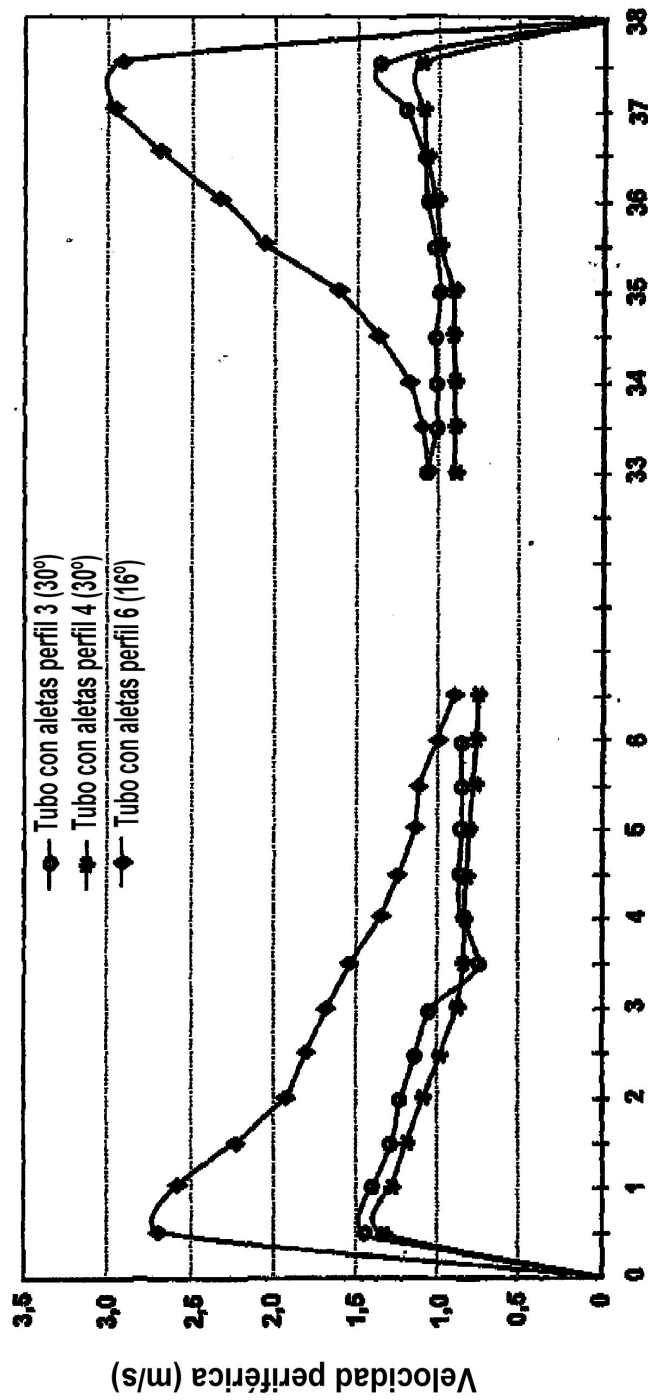
Datos de partida fueron las cantidades de paso de un tubo liso que se encuentre en funcionamiento, con 38 mm de diámetro interior que es idéntico al diámetro hidráulico. Estos datos fueron convertidos según las leyes de semejanza (números iguales de Reynold) y se tomaron como fundamento para los ensayos con agua caliente (véase relación del cociente de la transmisión de calor y de la pérdida de presión para ensayos con agua, así como el factor de homogeneidad en el cálculo con gases).

Los diferentes perfiles de velocidad se deducen de las mismas cantidades de paso, para diferentes diámetros hidráulicos (relación recíproca).

- 5 La comparación de las velocidades en los perfiles 2 y 3 iguales en su sección transversal, aclara la mejor velocidad, aceleración y tiempo de permanencia en los tubos según la invención (perfil 3). Para el mismo diámetro hidráulico, la componente de la velocidad en dirección periférica, ocasionada por la rotación de las aletas, provoca un desprendimiento de la corriente, de la pared del tubo, y una velocidad creciente en forma helicoidal en toda la sección transversal.
- 10 Gracias a la corriente orientada en forma helicoidal, el calor de la pared del tubo se absorbe en la corriente y, por tanto, se distribuye más uniformemente que en una corriente turbulenta normal no orientada (tubo liso, perfiles 1 y 2). Lo mismo es válido para el tiempo de permanencia de las partículas. La corriente orientada en forma helicoidal distribuye las partículas más uniformemente en la sección transversal, mientras que la aceleración en los flancos de los perfiles, reduce el tiempo medio de permanencia. La superior pérdida de presión del perfil 3, resulta de la velocidad periférica. En el perfil 1, la causa reside en el fuerte estrechamiento de la corriente, y en la pérdida por fricción en la gran superficie interior del perfil.
- 15 Los tubos con aletas según la invención se pueden fabricar, en cada caso según el material, por ejemplo, a partir de un tubo de fundición centrifugada, haciendo que los extremos de un tubo con aletas paralelas al eje, se tuerzan uno respecto a otro, o que el perfil interior se produzca por conformación previa de un tubo de fundición centrifugada, por ejemplo, por forja en caliente, estirado en caliente o deformación en frío sobre una herramienta de perfiles, por ejemplo, un mandril volante con un perfil exterior correspondiente al perfil interior del tubo.
- 20 Se conocen máquinas cortadoras para el perfilado interior de tubos, en distintas variantes, por ejemplo, por la solicitud alemana de patente 195 23 280. Estas máquinas son también apropiadas para la fabricación de un tubo con aletas según la invención.
- 25 En la conformación en caliente, la temperatura de conformación se debería de ajustar de manera que en la zona de la superficie interior se llegue a una destrucción parcial del grano de la microestructura y, por lo tanto, posteriormente, a una recristalización bajo la influencia de la temperatura de trabajo. La consecuencia de esto es una microestructura de grano fino, que conduce a una difusión rápida de cromo, silicio y/o aluminio a través de la matriz austenítica, hacia la superficie interior del tubo, y allí, a la creación rápida de una capa protectora de óxido.
- La superficie interior del tubo según la invención, debería de tener la menor rugosidad posible; por lo tanto puede estar alisada, por ejemplo, pulida mecánicamente o igualada electrolíticamente.
- 30 Como materiales para el tubo son apropiados para el empleo en instalaciones de etileno, aleaciones de hierro o de níquel con 0,1% a 0,5% de carbono, 20 a 35% de cromo, 20 a 70% de níquel, hasta 3% de silicio, hasta 1% de nio-bio, hasta 5% de wolframio, así como adiciones de hafnio, titanio, tierras raras o circonio, de hasta 0,5% de cada una, y hasta 6% de aluminio.

REIVINDICACIONES

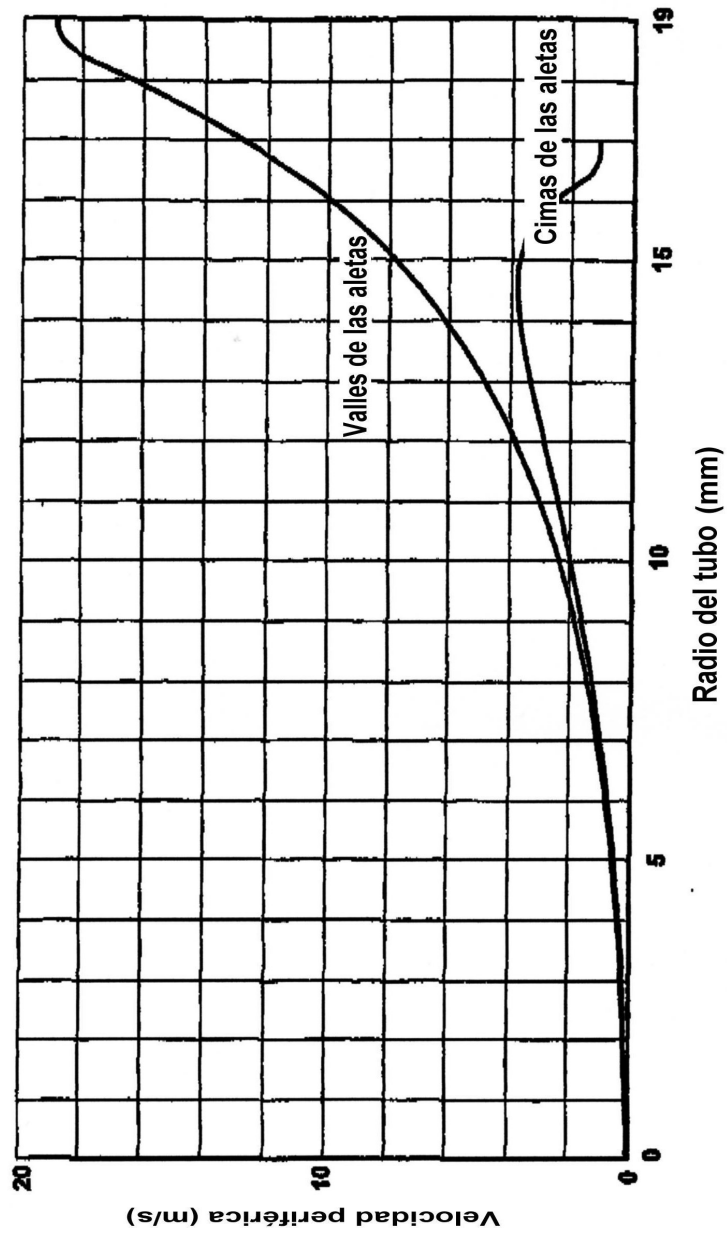
- 5 1. Tubo con aletas para el craqueo térmico de hidrocarburos en presencia de vapor, caracterizado por aletas interiores inclinadas con un ángulo de 20° a 40° con respecto al eje del tubo, que discurren en forma helicoidal al radio (R_i) del círculo que toca las cimas de las aletas, y valles de las aletas y cimas de las aletas contiguas unas a otras con simetría de espejo, en forma de una línea ondulada, con el mismo radio de curvatura, en los que el ángulo (β) de flancos de la respectiva tangente en el punto de contacto de los dos radios (R) de curvatura con respecto a la perpendicular al radio (R_i) del círculo que toca las cimas de las aletas en el punto culminante de cada uno de los valles de las aletas o de las cimas de las aletas, es de 18° a 25° ,
2. Tubo con aletas según la reivindicación 1, caracterizado porque el ángulo de inclinación es de $22,5^\circ$ a $32,5^\circ$.
- 10 3. Tubo con aletas según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque el perímetro interior del perfil es mayor en un máximo del 5%, referido al perímetro del círculo circunscrito que toca los valles de las aletas.
4. Tubo con aletas según alguna de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el ángulo (β) de flancos de las aletas, es de 19° a 21° .
5. Tubo con aletas según alguna de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por en total seis a doce aletas.
- 15 6. Tubo con aletas según alguna de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el diámetro hidráulico del tubo con aletas es al menos igual al diámetro (R_i) del círculo interior.
7. Tubo con aletas según alguna de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la relación Q_R / Q_0 del cociente de los coeficientes de transmisión del calor, al cociente $\Delta P_R / \Delta P_0$ de las pérdidas de presión en el ensayo con agua, es de 1,4 a 1,5, significando R un tubo con aletas y 0, un tubo liso.
- 20 8. Tubo con aletas según alguna de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque el radio (R) de curvatura de la sección transversal de la aleta, es de 3,5 a 20 mm.
9. Tubo con aletas según alguna de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por una altura (H) de las aletas de 1,25 a 3 mm.
10. Tubo con aletas según alguna de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque la sección transversal libre dentro del perímetro (U_p) del perfil, es de un 85 a un 95% de la superficie del círculo (F_a) circunscrito.
- 25 11. Tubo con aletas según alguna de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque la superficie (F_p) del perfil es del 40 al 50% de la superficie anular entre el círculo circunscrito y el círculo interior.
12. Tubo con aletas según alguna de las reivindicaciones 1 a 11, de fundición centrifugada de una aleación de níquel con 0,1% a 0,5% de carbono, 20 a 35% de cromo, 20 a 70% de níquel, hasta 3% de silicio, hasta 1% de niobio, hasta 5% de wolframio, así como adiciones de hafnio, titanio, tierras raras o circonio, de hasta 0,5% de cada una, y hasta 6% de aluminio.
- 30 13. Tubo con aletas según la reivindicación 12, en el que la aleación contiene aislada o simultáneamente, al menos 0,02% de silicio, 0,1% de niobio, 0,3% de wolframio y 1,5% de aluminio.



Distancia en la sección recta del tubo (mm)

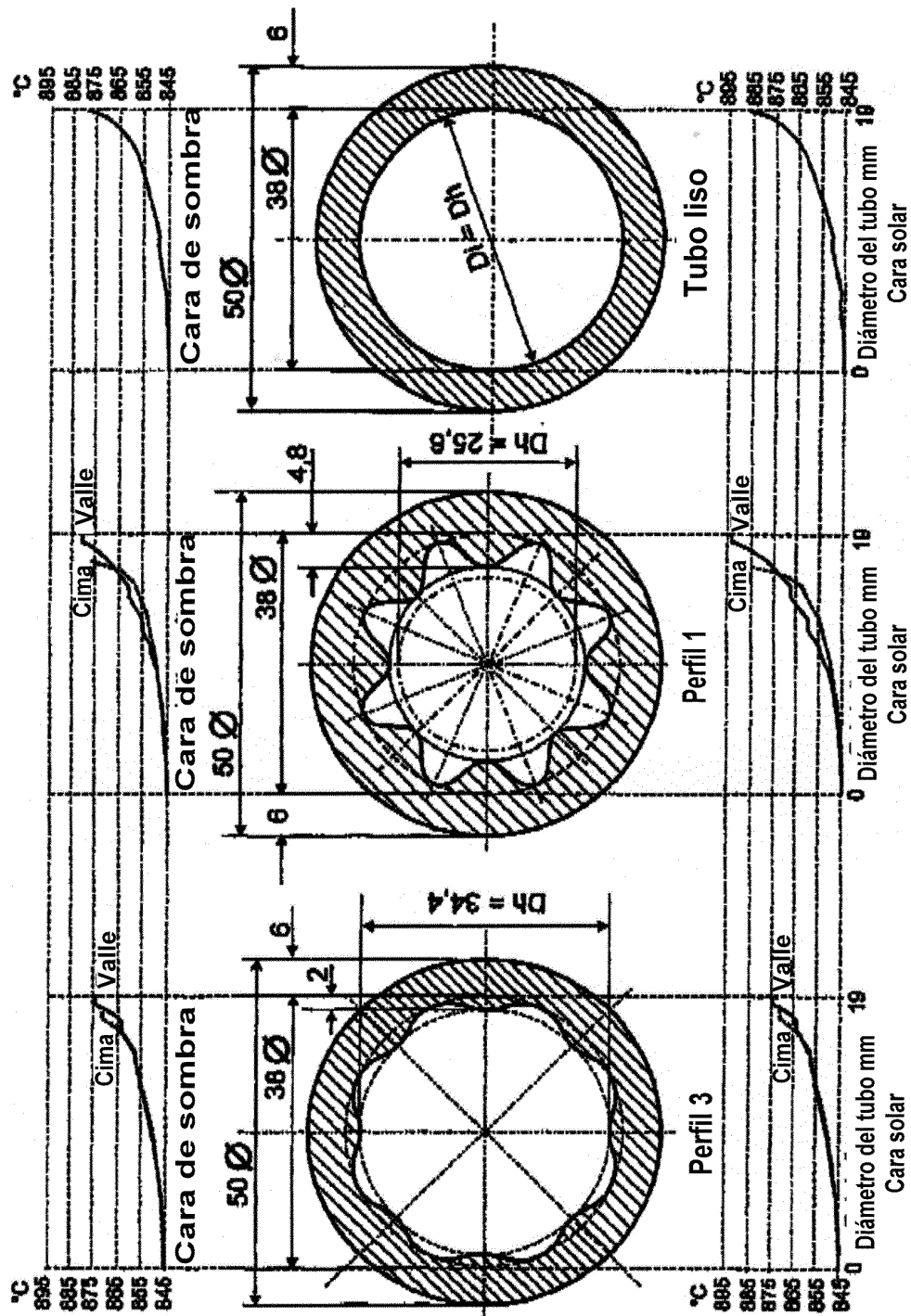
Velocidades periféricas en perfiles
con diferente inclinación respecto al eje del tubo

Fig. 1



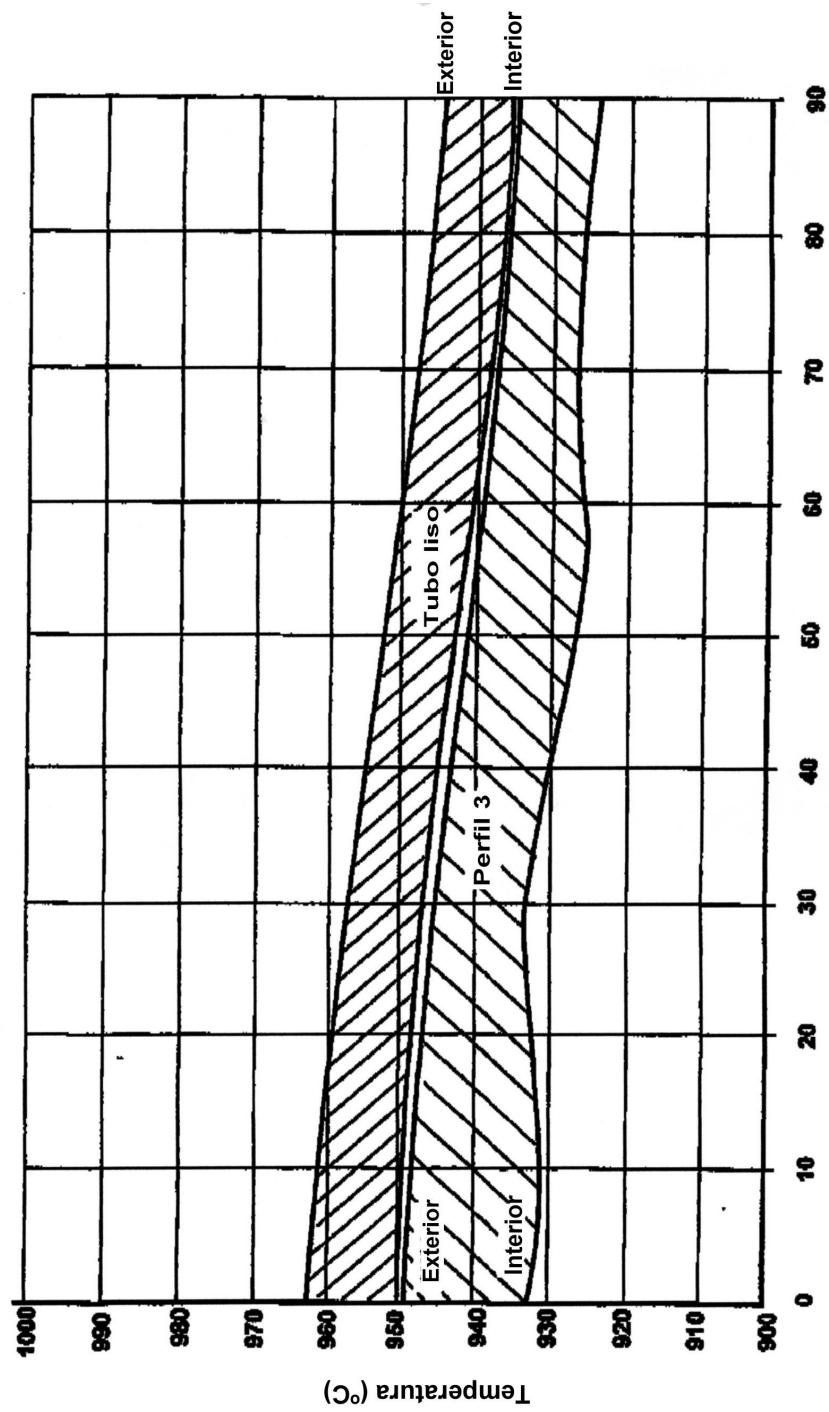
Distribución de las velocidades periféricas
en el perfil 3 con 30° de paso a lo largo del
diámetro (radio) del tubo perfilado

Fig. 2



Formas del perfil con perfil de temperatura en el fluido (nafta) para 9950 mm registradas a lo largo de un diámetro en el tubo (Cima = Cima del perfil, Valle = Valle del perfil)

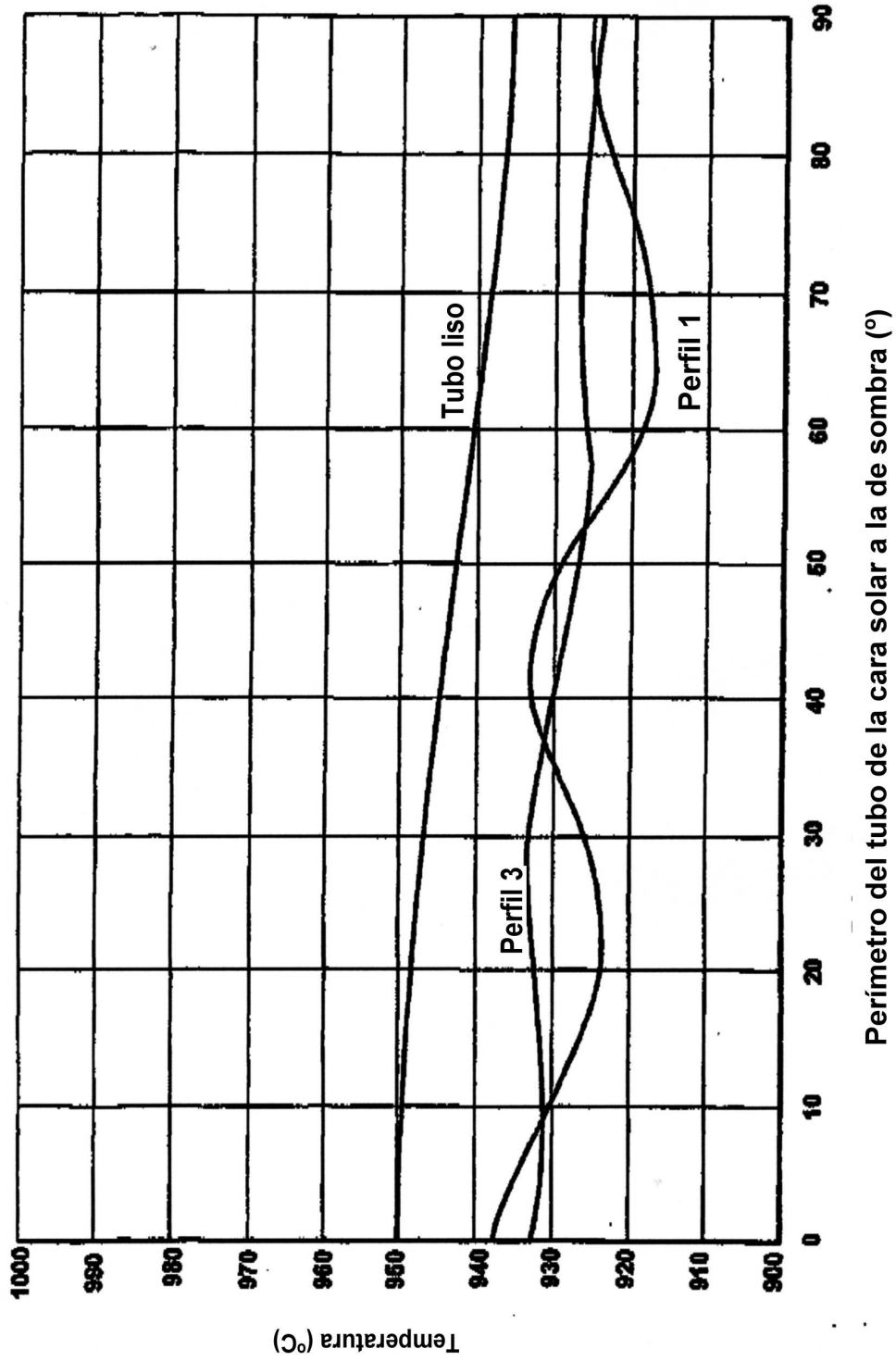
Fig. 3



Perímetro del tubo de la cara solar a la de sombra (°)

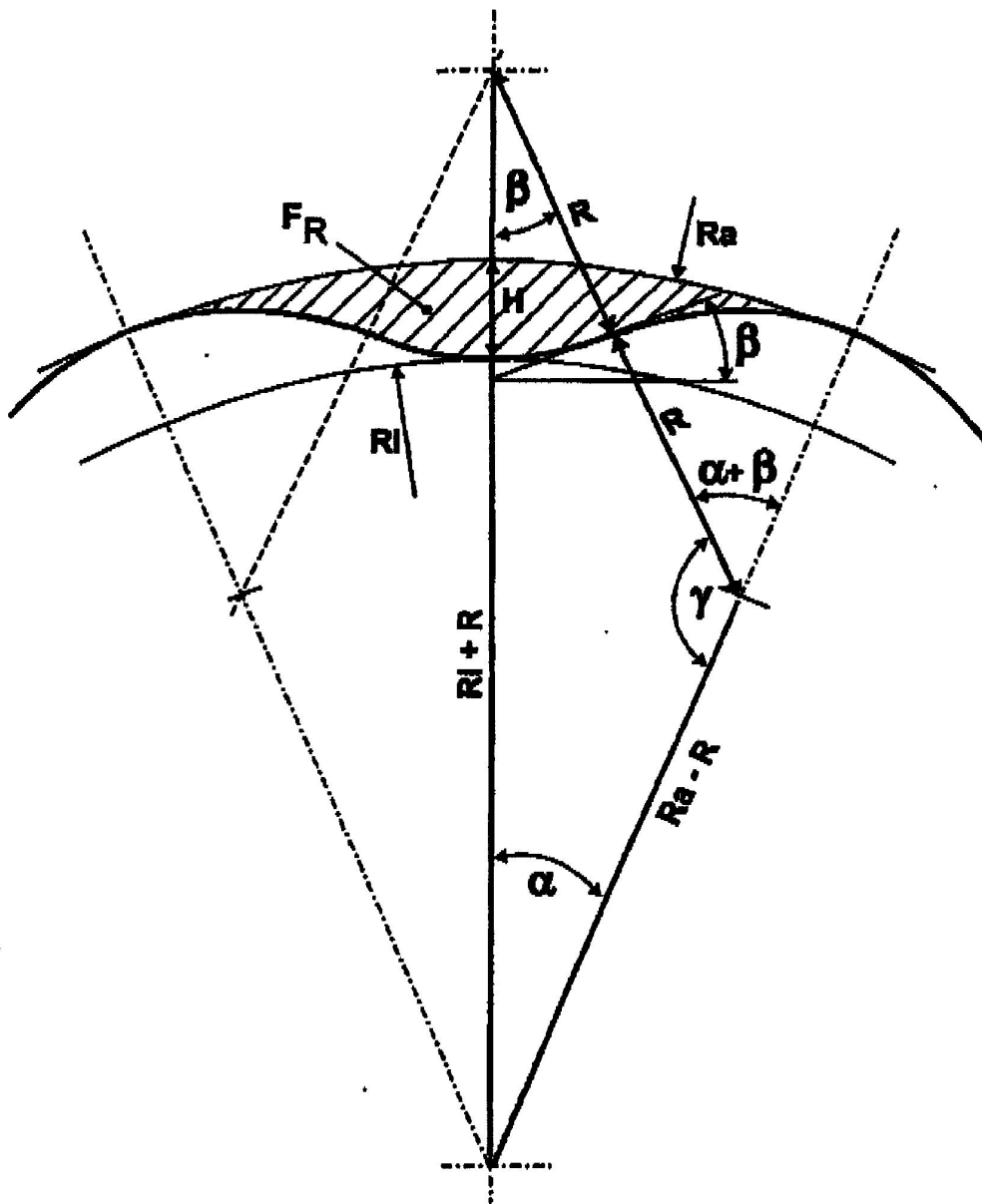
Comparación de las temperaturas de la pared del tubo

Fig. 4



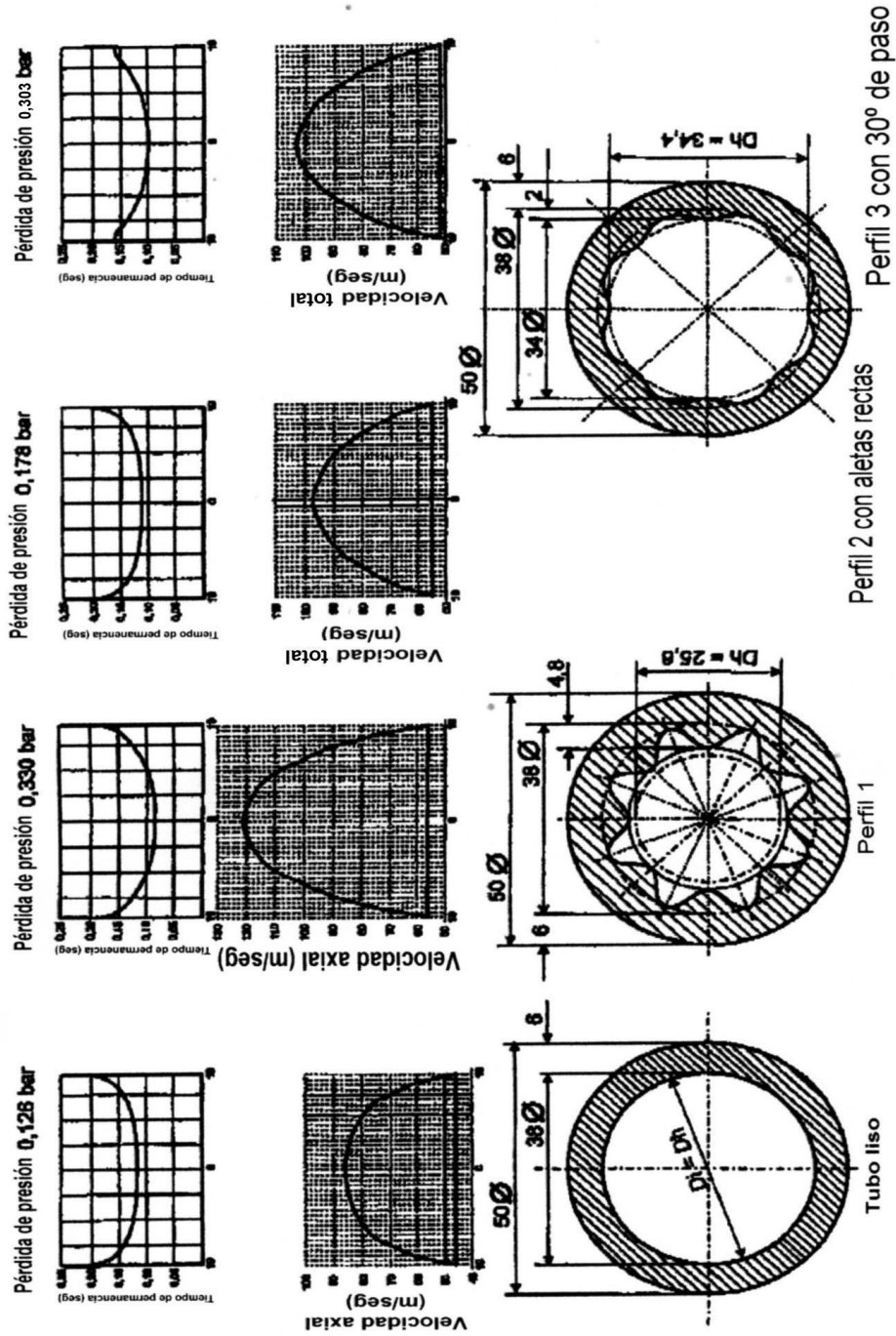
Distribución de temperatura en la pared interior
del tubo para 9950 mm

Fig. 5



Representación de un segmento del perfil
para la definición matemática del
ángulo (β) de flancos y radios (R) del perfil

Fig. 6



Comparación de las velocidades de flujo, de los tiempos de permanencia y de las pérdidas de presión para iguales caudales máximos, después de 9950 mm de longitud calentada de tubo
Fig. 7