

19. ES	11	NUMERO	10. Y
	21	297.144	
	22	FECHA DE PRESENTACION	
		11. JUN. 1986	



ESPAÑA

MODELO DE UTILIDAD

16 OCT. 1989

30. PRIORIDADES	32. FECHA	33. PAIS
31. NUMERO 744.076	12.6.85	US

47. FECHA DE PUBLICIDAD	81. CLASIFICACION INTERNACIONAL ⁴ F28F 1/42
-------------------------	---

54. TITULO DE LA INVENCION
"PERFECCIONAMIENTOS INTRODUCIDOS EN UN TUBO DE TRANSMISION DE CALOR"

71. SOLICITANTE (S)
WOLVERINE TUBE, INC.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
2100 Market St., N.E., Decatur, Alabama 35601, EE.UU.

72. INVENTOR (ES)
James Lee Cunnigham y Bonnie Jack Campbell

73. TITULAR (ES)

74. REPRESENTANTE
D. ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ (MOD.- 10703)

ANTECEDENTES DEL INVENTO

El invento se refiere a tubos de transmisión de calor, formados mecánicamente, para uso en diversas aplicaciones, incluyendo ebullición y condensación. En aplicaciones de refrigeración con enfriador sumergido, el exterior del tubo está sumergido en un refrigerante que ha de ser hecho hervir, mientras que por su interior se transporta líquido, usualmente agua, que se enfría a medida que cede su calor al tubo y al refrigerante. En aplicaciones de condensación, la transmisión de calor se realiza en dirección opuesta, con respecto a las aplicaciones de ebullición. Tanto en la ebullición como en la condensación, es deseable que el coeficiente global de transmisión de calor sea máximo. Asimismo, siempre que se mejore la eficacia de una superficie de tubo hasta el punto de que la otra superficie proporcione la mayor parte de la resistencia térmica, sería deseable, naturalmente, intentar mejorar la otra superficie mencionada. La razón para ello es que una mejora de la reducción de la resistencia térmica de cualquier lado, alcanza su máximo beneficio global cuando las resistencias térmicas interna y externa se encuentran en equilibrio. Se ha trabajado mucho para mejorar el rendimiento de los tubos de transmisión de calor, y particularmente de los tubos hervidores, ya que es más fácil realizar mejoras en la superficie exterior que en la interior.

Tipicamente, se han realizado modificaciones en la superficie exterior del tubo para producir múltiples cavidades, aberturas, o recintos que funcionen mecánicamente para permitir que se formen pequeñas burbujas de vapor. Las

cavidades así producidas forman puntos de nucleación en los que tienden a formarse las burbujas de vapor, que comienzan a aumentar de tamaño antes de separarse de la superficie y permitir que más líquido ocupe el espacio que han dejado vacante y comience, de nuevo, a formarse otra burbuja. Algunos ejemplos de patentes de la técnica anterior que se refieren a puntos de nucleación producidos mecánicamente, incluyen la patente norteamericana de Zattel, nº 3768290, la patente norteamericana de Webb, nº 3696861, la patente norteamericana de Campbell y colab. nº 4040479, la patente norteamericana de Fujikake, nº 4216826, y la patente norteamericana de Mathur y colab., nº 4438807. En cada una de estas patentes, la superficie exterior es aleteada en algún punto del proceso de fabricación. En la patente de Campbell y colab., el tubo es moleteado antes de dotarlo de aletas, con el fin de producir hendiduras durante el aleteado que sean mucho más anchas que la anchura de las gargantas de moleteado originales y que se extienden a través de la anchura de las puntas de las aletas después del aleteado. En las restantes patentes, las aletas son laminadas o aplastadas después de formarlas, con el fin de producir estrechos espacios que se superpongan a las cavidades o canales de mayor tamaño definidos por las raíces de las aletas y los lados de pares adyacentes de aletas. La patente de Fujikake proporciona una superficie exterior especialmente eficaz, que se obtiene aleteando un tubo liso, realizando por presión una pluralidad de gargantas transversales en las puntas de las aletas, en la dirección del eje geométrico del tubo, y presionando luego las puntas de las aletas hacia abajo para producir una pluralidad

de partes de cabeza engrosadas, anchas y generalmente rec
tangulares, que están separadas unas de otras entre las
aletas por un estrecho espacio que se superpone a un ca-
nal relativamente ancho en el área de la raíz de las ale-
tas.

La técnica anterior ha considerado también el
hecho de que no basta con mejorar simplemente el rendi-
miento de transmisión calorífica de un tubo en su lado de
ebullición. Por ejemplo, Withers y colab., en la patente
norteamericana nº 3847212, que está cedida a un cesiona-
rio común y que se incorpora a esta memoria por referen-
cia, describen un tubo aleteado con una superficie inte-
rior sumamente mejorada. La mejora comprende el empleo de
nervaduras interiores de arranques múltiples que tienen
una relación entre anchura del nervio y paso que está com
prendida, de preferencia, en el margen de 0,10-0,20. Así,
existe una región plana longitudinal entre nervios inte-
riores que es sustancialmente más larga, en dirección
axial, que la anchura del nervio. Los inventores de dicha
patente establecen que se mejora el rendimiento de trans-
misión calorífica reduciendo la anchura del nervio con re
lación al paso. Presumiblemente, sería de esperar que el
rendimiento descendiese cuando los nervios se situasen de
masiado cerca uno de otro, ya que el fluido tendería a circu
lar por encima de las puntas y no entraría en contacto
con las superficies planas comprendidas entre los nervios.
Esta condición existiría en vista de que los nervios es-
tán situados en general transversalmente respecto al eje
geométrico del tubo. Específicamente, se describe un ángu-
lo de 39º desde una línea perpendicular al eje geométrico

del tubo. Evidentemente, el ángulo correspondiente medido con relación al eje geométrico del tubo sería de 512. Aunque el diseño de Withers y colab. equilibra los rendimientos de las superficies interior y exterior de manera relativamente uniforme, su superficie exterior de ebullición no era tan eficaz como los desarrollos más recientes, tales como la superficie descrita por Fujikake. Otros tubos con nervaduras internas se describen en las siguientes patentes norteamericanas: nº 3217799, de Rodgers; nº 3457990 de Theophilos; nº 3750709 de French; nº 3768291 de Rieger; nº 4044797 de Fujie y colab. y nº 4118944 de Lord y colab.

RESUMEN DEL INVENTO

Entre los objetos del presente invento se cuenta proporcionar un tubo mejorado de transmisión de calor que incluye mejoras superficiales tanto en su superficie interior como en su superficie exterior.

Otro objeto es proporcionar un tubo mejorado que pueda producirse en una única operación en una máquina de aletear usual.

Otro objeto reside en mejorar la circulación de líquido dentro del tubo con el fin de optimizar la resistencia pelicular a una caída de presión dada al tiempo que se incrementa también el área interior con el fin de sumentar aún más el rendimiento de transmisión calorífica.

Todavía otro objeto es proporcionar un tubo de ebullición nucleada para aplicaciones de refrigeración con enfriador sumergido en las que la superficie del tubo contendrá cavidades menores y mayores que el tamaño óptimo, mínimo, de poros para ebullición nucleada de un fluido par

ticular bajo un conjunto particular de condiciones de funcionamiento.

Estos y otros objetos y ventajas se consiguen gracias al tubo mejorado y al procedimiento del presente invento, en los que la superficie interior ha sido mejorada proporcionando un gran número de nervaduras relativamente próximas que están dispuestas en un ángulo suficientemente grande con relación al eje geométrico del tubo de manera que produzcan un flujo vertical turbulento que tenderá, al menos en una medida sustancial, a seguir las gargantas relativamente estrechas definidas entre los nervios. Sin embargo, el ángulo no debe ser tan grande que el flujo tienda a deslizar sobre los nervios. La superficie exterior del tubo, de preferencia, ha sido también mejorada. En una realización preferida para ebullición nucleada, se prefiere utilizar aproximadamente treinta arranques de nervios para un tubo de 19,05 mm en comparación con, aproximadamente, 6-10 arranques de nervios para ciertas realizaciones comerciales del tubo de acuerdo con la técnica anterior descrito por Withers y colab. en la patente norteamericana nº 3847212. La realización preferida incluye también una mejora exterior que comprende múltiples cavidades, recintos y/u otros tipos de aberturas, situados en posición en la superestructura del tubo, generalmente en la superficie exterior del mismo o bajo ella. Estas aberturas funcionan como pequeños sistemas de circulación que bombean refrigerantes líquidos en un "bucle", permitiendo el contacto del líquido con un punto de nucleación de trabajo, de inicio de nucleación o de nucleación potencial. Aberturas del tipo descrito han sido señaladas por Fujikake y son realiza-

das, preferiblemente, mediante las operaciones de aleteado helicoidal del tubo, formación de gargantas o muescas generalmente longitudinales en las puntas de las aletas y posterior deformación de la superficie exterior para producir

5 bloques generalmente rectangulares, aplanados, que están muy próximos entre sí en la superficie del tubo pero que poseen canales relativamente anchos, subyacentes, en las áreas de las raíces de las aletas. Sin embargo, formando

10 dichas aberturas de modo no uniforme con el fin de incluir cavidades que sean mayores y menores que un tamaño óptimo de poro, se ha encontrado que se puede proporcionar una mejora sustancial del comportamiento general del tubo, y puede permitirse el antes mencionado contacto del líquido sin

15 cuando los tubos estén agrupados en una configuración de haz dentro de un fluido en ebullición con una composición de vapor-líquido de amplios márgenes. Esto es importante, ya que se reconoce que las curvas de ebullición son típicamente congruentes para operaciones de tubo único o de

20 múltiples tubos (haz) para tubos de ebullición nucleada que tienen superficies porosas uniformes y que dependen de la obtención de un cierto tamaño uniforme de poro adecuado para un refrigerante dado. Así, no existe mejora alguna en la curva de ebullición cuando se pasa de una configuración de un solo tubo a una configuración de haz de tubos, para

25 tales tubos de superficies uniformes, como se observa comúnmente con tubos que tienen superficies exteriores usuales lisas o aleteadas. Esta situación es tolerable cuando la superficie porosa exterior del tubo es muy eficaz tal como ocurriría realmente con la superficie sinterizada descrita por Milton en la patente norteamericana nº 3384154 o

30

con la superficie esponjosa, porosa, descrita por Janowski y colab. en la patente norteamericana nº 4129181. No obstante, los tipos antes mencionados de superficies porosas son de producción muy costosa. Así, sería deseable poder producir una superficie mecánicamente que, aunque no tan eficaz como las superficies de Milton o de Janowski y colab. en el caso de la ebullición con tubo único, pudiera mejorarse al menos sustancialmente en una operación con haz de tubos. La superficie de Fujikake antes mencionada, formada por medios mecánicos, es muy uniforme y parece incapaz de proporcionar un comportamiento mejorado al pasar de un funcionamiento con tubo único a un funcionamiento con haz de tubo. Fujikake pretende reconocer esto, ya que propone la adición de "aletas montañosas" para impedir el deterioro del comportamiento cuando se utiliza el tubo en un líquido rico en burbujas (por ejemplo, cuando los tubos están agrupados en haces). Esta solución puede afectar adversamente a las economías de construcción del haz ya que la adición de las "aletas montañosas" aumentaría el diámetro exterior de cada tubo e, para un diámetro exterior particular, daría como resultado un diámetro interior menor que si no fuesen necesarias las aletas adicionales.

Al proporcionar cavidades con tamaños mayores y menores que el óptimo, por ejemplo laminando las aletas sobre un tubo con múltiples arranques de aletas con una serie de útiles de laminación cuyos diámetros sean progresivamente mayores, que están dispuestos en los árboles de aleteado, se asegura que se proporcionarán suficientes puntos de ebullición de manera que se obtendrá una curva de ebullición mejorada al nivel de funcionamiento con un solo

tubo. Además, la estructura permite aprovechar el beneficioso efecto de las fuertes corrientes de convección de que se dispone en un haz de hervidor, de manera que la curva de ebullición para el haz resulta mejorada adicional
5 mente con respecto a la curva para un solo tubo. La estructura impide, aparentemente, la inundación de los puntos de ebullición activos y el aglutinamiento de vapor, que se piensa son las causas de un comportamiento degradado del haz de tubos con relación al comportamiento de un solo tu-
10 bo. La variación del tamaño de los poros proporciona también una tolerancia para la operación de fabricación, al tiempo que permite que el tubo sea empleado satisfactoriamente con una diversidad de fluidos de ebullición.

Como se ha señalado previamente, un buen diseño
15 del tubo depende de mejoras realizadas tanto en la superficie interior como en la superficie exterior. Este objeto se ha conseguido en el tubo del presente invento en el que se ha encontrado que, con un diámetro nominal exterior de 19,05 mm, se proporciona una mejora del 35% en la resisten
20 cia pelicular en el lado del tubo en comparación con un tubo comercialmente disponible con el mismo diámetro exterior, fabricado de acuerdo con las enseñanzas de Withers y colab. según la patente norteamericana nº 3847212. La resistencia para la tolerancia al ensuciamiento del nuevo tu
25 bo se ha visto beneficiada por el área interior incrementada del nuevo tubo, en comparación con el tubo comercialmente disponible antes mencionado y se ha mostrado que supone una mejora de hasta el 28%. La resistencia a la película en ebullición fue mejorada en el 82% con respecto a la del tu
30, bo comercialmente disponible antes mencionado.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

La fig. 1 es una vista en sección transversal axial, con arranque parcial, ampliada, de un tubo que incorpora el invento;

5 la fig. 2 es una vista mirando una sección transversal axial con arranque parcial del tubo en una transición extrema para ilustrar las operaciones sucesivas del procedimiento realizadas en el tubo (aleteado, ranurado y laminación o compresión de la superficie);

10 la fig. 3 es una vista en sección transversal axial con arranque parcial, ampliada, del tubo de la fig. 1, que ilustra una técnica para formar una superficie exterior no uniforme y que incluye, en línea de trazos, un par de rodillos de compresión de la superficie que están situados realmente, como se muestra en la fig. 4, en otros árboles que están espaciados en posiciones de 120° y 240° en torno a la circunferencia del tubo respecto de la posición ilustrada con línea continua;

20 la fig. 5 es una vista en sección transversal axial similar a la de la fig. 3 pero que ilustra una modificación en la que se utilizan rodillos cónicos para producir magnitudes variables de separación entre aletas diferentes;

25 las figs. 6a y 6b son vistas en sección transversal axial que ilustran una construcción adicional y preferida en la que se logra la formación de espacios variables entre aletas configurando éstas de manera que tengan anchuras diferentes, por ejemplo utilizando distanciadores no uniformes entre discos de aleteado de espesor uniforme;

30 las figs. 7a y 7b son vistas en sección transversal axial que ilustran todavía otra modificación en la que

se logra la formación de espacios variables entre aletas formando éstas con alturas variables;

la fig. 8 es una microfotografía con 20 aumentos de la superficie exterior del tubo;

5 la fig. 9 es una gráfica que compara características de transmisión de calor en función de características de caída de presión para cuatro tipos diferentes de tubos interiormente nervados; y

10 la fig. 10 es una gráfica que compara el coeficiente de transmisión térmica de película exterior h_b con el flujo calorífico, Q/A_o

DESCRIPCION DETALLADA DE LA REALIZACION PREFERIDA

15 Con referencia a la fig. 1, en ella se muestra, en sección transversal axial, una parte fragmentaria agrandada del tubo mejorado 10 de acuerdo con el presente invento. El tubo 10 comprende una superficie exterior deformada, indicada en general en 12, y una superficie interior nervada, indicada en general en 14. La superficie interior 20 14 comprende una pluralidad de nervios, tales como 16, 16', 16'', aunque cada nervio, tal como el nervio 16' ha sido arrancado para mayor claridad. El tubo particular ilustrado tiene treinta arranques de nervios y un diámetro exterior de 19,08 mm. Los nervios están formados de preferencia de manera que tengan un perfil que esté de acuerdo 25 con las enseñanzas de Withers y colab. en su patente nº 3847212 y tienen su paso p, su anchura de nervio b y su altura de nervio e medidos como se indica por las flechas de acotación. El ángulo de ataque de la hélice θ está medido 30 desde el eje geométrico del tubo. Si bien la patente norte

americana nº 3847212 enseña el empleo de un número relativamente pequeño de arranques de nervios, por ejemplo 5, dispuestos con un paso relativamente grande, por ejemplo 8,45 mm, y con un ángulo relativamente grande con respecto al eje geométrico, tal como 51° , el tubo particular ilustrado en la fig. 1 tiene treinta arranques, un paso de 2,36 mm y un ángulo de hélice de nervio de $33,5^\circ$. El nuevo diseño mejora grandemente el coeficiente de transmisión térmica interior ya que proporciona un área incrementada y permite también que el fluido situado dentro del tubo se desplace en vértice cuando recorre éste. Con los ángulos de nervio preferidos, el flujo vortical tiende a mantener al fluido en buen contacto de transmisión de calor con la superficie interior del tubo, pero evita una turbulencia excesiva que proporcionaría un incremento indeseable de la caída de presión.

La superficie 12 exterior del tubo está formada, preferiblemente, en su mayor parte, por las técnicas de aleteado, ranurado y compresión descritas por Fujikake en la patente norteamericana nº 4216826, cuyo objeto se incorpora a esta memoria por referencia. No obstante, variando la forma en que se comprime la superficie 12 del tubo después de aletearla y ranurarla, se cree que se mejora considerablemente el comportamiento de la superficie exterior, especialmente cuando los tubos están dispuestos en una configuración de haz usual. Aunque la superficie 12 del tubo parece, en la vista en sección axial de la fig. 1, estar formada de aletas con puntas comprimidas, la superficie 12 es, realmente, una superestructura exterior que contiene una primera pluralidad de canales 20 adyacentes, en gene-

5 ral circunferenciales y relativamente profundos, y una segunda pluralidad de canales 22 relativamente someros, mostrados del mejor modo en la fig. 8, que interconectan pares adyacentes de canales 20 y están posicionados transversalmente respecto a los canales 20. El tubo 10 está fabricado, preferiblemente, en una máquina usual de aleteado, de tres árboles. Los árboles están montados en incrementos de 120° alrededor del tubo, y cada uno está montado, de preferencia, formando un ángulo de 2-1/2° con el eje geométrico del tubo. Cada árbol, como se ilustra esquemáticamente en la fig. 2, puede incluir una pluralidad de discos de aleteado, tales como los discos 26, 27, 28, un disco de ranurar 30 y uno o más discos de compresión 34, 35. Hay previstos distanciadores 36, 38 para permitir que los discos ranuradores y de compresión se alineen apropiadamente con las líneas centrales de las aletas 40 producidas por los discos de aleteado 26-28. De preferencia, tres aletas están en contacto, a la vez, con el disco de ranurar 30 y cada uno de los discos de compresión 34, 35.

20 A fin de conseguir un comportamiento mejorado durante la ebullición de la superficie exterior 12 del tubo en una configuración de haz, se ha encontrado deseable realizar la superficie de manera que no sea totalmente uniforme, con el fin de que en la superficie del tubo se prevean aberturas de tamaños comprendidos en un cierto margen. Este margen incluiría aberturas de mayor y de menor tamaño que el tamaño de poro que mejor soporte una ebullición nucleada de un refrigerante particular en un conjunto particular de condiciones de trabajo. En las figs. 3 a 7 se
30 ilustran diversas formas en las que puede proporcionarse

una superficie no uniforme.

La fig. 3 representa, en forma esquemática, una técnica para producir aberturas de anchura a, b, c variable entre puntas 40 de aletas adyacentes, laminando hacia abajo puntas adyacentes en grado variable. Esto se consigue formando los discos de laminación final 35, 35' y 35'' con diámetros ligeramente diferentes, como se muestra esquemáticamente en la fig. 4. Utilizando tres arranques de aletas en la superficie exterior, cada punta 40 de aleta sólo entrará en contacto con uno de los tres discos 35, 35', 35''. La variación de diámetro entre los discos de laminación 35, 35', 35'' es, realmente, muy pequeña, pero en los dibujos se ha exagerado para mayor claridad. Asimismo, los discos 35' y 35'' se representan en línea de trazos en la fig. 3 para indicar su separación axial respecto del disco 35. En realidad, están separados alrededor de la circunferencia del tubo en ángulos de 120°, como se muestra en la fig. 4.

La fig. 5 es una modificación de la disposición de la fig. 3, en la que los discos 135, 135' y 135'' tienen superficies cónicas de distinto diámetro, que producen espacios d, e, f de anchura variable.

La fig. 6b es una modificación preferida de la disposición de la fig. 3, que ilustra que pueden obtenerse espacios g, h, i de anchura variable con discos de laminación de igual diámetro en los tres árboles, formando las aletas 140, 140', 140'' de distinta anchura, como se ve del mejor modo en la fig. 6a.

La fig. 7b es todavía otra modificación que ilustra que pueden obtenerse espacios j, k, l de anchura variable

ble con discos de laminación de igual diámetro en los tres árboles, formando las aletas 240, 240', 240'' de anchura constante, pero variando su altura, como se ve de la mejor manera en la fig. 7a.

5 A fin de permitir una comparación del tubo mejorado del presente invento con diversos tubos conocidos, se dan las Tablas I y II para describir diversos parámetros y resultados de comportamiento de los tubos, respectivamente.

10

15

20

25

30

TABLA I

Características dimensionales y de comportamiento
de tubos de cobre experimentales con nervado
interno de múltiples arranques y aletas
exteriores modificadas o erectas

5

10

15

20

25

30

<u>DESIGNACION DEL TUBO</u>	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>
Tipo del exterior				
aletas por cada 2,5 cms	26	40	40	40
postura de las aletas	Erectas	Erect.	Erect.	Deform.
Altura de las aletas (mm)	1,34	0,83	1,54	0,61
Area exterior real, A_0 (m^2/m)	0,2	0,17	0,27	Descono.
d_i = Diámetro interior (mm)	20,8	15,95	14,55	16,05
e = Altura de nervios (mm)	0,45	0,38	0,61	0,55
p = Paso de los nervios (mm)	8,45	4,24	2,41	2,36
N_{rs} = Número de arranques de nervios	6	10	10	30
l = Desfase (mm)	50,8	42,41	24,10	70,86
θ = Angulo de ataque del nervio respecto del eje geométrico ($^\circ$)	51,1	48,4	60,1	33,5
b = Anchura del nervio a lo largo del eje (mm)	1,62	1,75	1,70	1,72
b/p	0,2	0,413	0,706	0,731
C_i = Coeficiente de transmisión de calor en el interior	0,052	0,052	0,071	0,060
Constante (a partir de los resultados de los ensayos)				
f = Factor de rozamiento a $N_{re} = 35000$	0,0468	0,0476	0,0741	0,0479

En la Tabla I, el tubo designado como I es un tubo del tipo descrito en la patente n.º 3847212, de Withers y colab. Como el tubo I tenía un diámetro exterior nominal de 25,4 mm, mientras que el trabajo de desarrollo posterior se realizó con tubos de 19,05 mm de diámetro exterior, se probó también un tubo II, de comportamiento equivalente al tubo I, pero con un diámetro exterior de 19,05 mm. Por ejemplo, cada uno de los tubos I y II tenían un valor de $C_i=0,052$. El tubo III se diseñó para proporcionar un incremento significativo del área exterior A_o , aumentando la altura de las aletas. No obstante, como se incrementó la altura de las aletas mientras se mantenía constante el diámetro exterior, el diámetro interior se redujo sustancialmente respecto al del tubo II. Un fuerte nervado hace que el coeficiente de transmisión térmica interior C_i constante del tubo III sea mucho más alto que el C_i del tubo IV del presente invento. Sin embargo, el C_i superior se obtiene a cambio de un incremento considerable del factor de fricción f . Además, puede verse, a partir de la Tabla I que el tubo IV tiene una superficie nervada interiormente que difiere considerablemente de los tubos I-III en por lo menos un aspecto. Por ejemplo, para el tubo particular descrito, el paso de los nervios, p , es igual a 2,36 mm, la altura de los nervios, e , es de 0,55, siendo la relación entre anchura de la base y paso, b/p , igual a 0,731, y siendo el ángulo de ataque de la hélice del nervio, θ , medido respecto al eje, de $33,5^\circ$. De preferencia, p debe ser inferior a 3,15 mm, e debe ser de, al menos, 0,38 mm, b/p debe ser mayor que 0,45 y menor que 0,90, y θ debe estar comprendido entre aproximadamente 29° y 42° , respecto del eje geomé

trico del tubo. Incluso es más preferible que p sea inferior a, aproximadamente, 2,38 mm y el ángulo θ entre aproximadamente 33° y 39°. Hemos encontrado que es aún más preferible que p sea menor que 2,17 mm. Un resumen de los resultados de diseño para los tubos II, III y IV, se muestra en la Tabla II.

TABLA II

Resumen de resultados de diseño para un evaporador de haz de tubos sumergidos de 300 Tm. para refrigerante R-11 que utiliza varios tubos con un diámetro exterior de 19,05 mm para formar un haz circular con una disposición triangular, con una separación de 3,17 mm entre tubos

Condiciones del agua: Temperatura interna = 12,22°C; externa = 6,6°C Caída de presión = 0,63 kgs/cm²; Factor de ensuciamiento, FF=0,00024, basado en el área interior real.

<u>DESIGNACION DEL TUBO</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>
Temperatura del refrigerante, °C	4,44	4,44	4,44
Número de pasos laterales para agua	3	2	2
Velocidad del agua dentro del tubo (cms/seg)	1,6	1,7	2,28
Coefficiente de transmisión de calor total, U _o	418	637	1148
Tubos requeridos			
Número de tubos	414	312	194
Longitud de los tubos (metros)	4	3,48	3,18
Longitud total (metros)	1160,5	1083,9	617,1
Metros por Tm	5,55	3,6	2,07
Diámetro del haz, (metros)	4,8	3,88	3,07

La Tabla II compara el comportamiento global proyectado de los tubos II, III y IV cuando están dispuestos en un haz en un aparato de refrigeración particular, que proporciona 300 Tm de refrigeración. Se empleó un riguroso diseño com-
5 puterizado basado en datos experimentales. El proceso tuvo en cuenta las características de comportamiento derivadas de diversos tipos de ensayos. Como puede verse por la Ta-
bla, el tubo IV proporciona un comportamiento global muy superior, en comparación con el tubo II o el tubo III. Por
10 ejemplo, utilizando el tubo IV, la cantidad de tubo necesaria para producir una tonelada de refrigeración es, justamente, de 2,07 m, en comparación con los 5,55 m del tubo II y los 3,6 m del tubo III. Esto representa economías del 63% y del 43% en la cantidad de tubo necesaria, en compara-
15 ción con los tubos II y III, respectivamente. Además de reducir la longitud, y por tanto el coste de los tubos requeridos, el empleo del tubo IV reduce también el tamaño del haz de tubos desde los diámetros de 48,26 cms o 38,86 cms requeridos para los tubos II y III, hasta los 30,73 cms.
20 Esto hace que el aparato sea más compacto y, también, da como resultado sustanciales economías adicionales de material y de la mano de obra requeridos para fabricar los grandes recipientes y soportes necesarios para alojar un haz de tubos de mayor diámetro.

25 Los gráficos de las figs. 9 y 10 se facilitan para comparar aún más los tubos particulares descritos en las Tablas I y II. La fig. 9 es una gráfica similar a la de la fig. 12 de la antes mencionada patente de Withers y colab. nº 3847212, e ilustra la relación existente entre
30 la transmisión de calor y la caída de presión en términos

del coeficiente de transmisión de calor interior constante C_i , y el factor de fricción f , donde C_i es proporcional al coeficiente de transmisión de calor interior y se deriva de la bien conocida ecuación de Sieder-Tate. Es bien sabido que la caída de presión es directamente proporcional al factor de fricción cuando se comparan tubos de diámetro dado en el mismo número de Reynolds. En la patente norteamericana nº 3847212 antes citada, el tubo que constituye el objeto de la misma, y que es el tubo I en la Tabla I, tenía múltiples arranques y nervios internos, con mesetas intermedias. En la fig. 12 de la mencionada patente, se mostraba el tubo descrito, para un número de Reynolds de 35000, con un coeficiente mejorado de transmisión de calor para una caída de presión dada, en comparación con un tubo de un solo arranque de la técnica anterior, con un nervio cuyo perfil de pared interna es curvilíneo. En la gráfica de la fig. 9, los tubos fabricados de acuerdo con las enseñanzas de la citada patente norteamericana nº 3847212, se indican sobre la línea curva 82. El tubo de la técnica anterior antes mencionado, con un solo arranque, nervado, se ilustra mediante la línea 84. Puede verse fácilmente que el tubo III de la Tabla I, caracterizado por disponer de 10 arranques de nervios, una altura de aletas de 1,55 mm, un ángulo de hélice de 60,1º, una relación b/p de 0,706 y una altura de nervios de 0,61 mm, tiene un C_i mucho mayor que los tubos de arranques múltiples y de arranque único indicados por las líneas 82 y 84. Sin embargo, el C_i superior del tubo III se consigue, al menos parcialmente, a cambio de un valor muy incrementado del factor de fricción f y, por tanto, de una caída de presión incre

mentada. La gráfica muestra también el trazo de un punto de datos para el tubo IV mejorado de acuerdo con el presente invento, e ilustra claramente que puede alcanzarse una mejora muy sustancial de C_i sin aumento sustancial de la caída de presión, en comparación con los puntos de datos trazados para el tubo II o para el tubo III. Como se ha descrito previamente, el tubo II se fabricó de acuerdo con las enseñanzas de la patente 3847212, pero con un diámetro interior de 19,05 mm, 10 arranques de nervios, una altura de aletas de 0,83 mm, un ángulo de hélice del nervio de 48,4°, un paso de 4,24 mm, y una relación b/p de 0,413. La citada patente definía el ángulo θ de nervio medido perpendicularmente al eje geométrico del tubo, pero en la presente memoria, el ángulo de hélice del nervio se define medido con relación al eje geométrico, ya que ésta parece ser una nomenclatura más usual.

Basándose en los resultados de los ensayos, se han realizado proyectos para los requisitos que han de reunir los tubos al diseñar un vaporador de haz de tubos sumergido, de 300 Tm. Los proyectos han de tener en cuenta, no sólo las características de comportamiento en el lado del agua (interior) sino también las características de comportamiento en el lado de la ebullición (exterior). Cuando se realizó, el tubo III proporcionó un grado sustancial de mejora con relación al tubo II, parte de la cual (aproximadamente un 11%) se debió a las características internas mejoradas. Sin embargo, proyectos similares mostraron una mejora mucho mayor en el comportamiento global del tubo para el caso del tubo IV en comparación con el tubo II, aún cuando su C_i era sustancialmente menor que el del

tubo III. Por ejemplo, su comportamiento global fue un 74% mejor que para el tubo III y un 168% mejor que para el tubo II.

Si bien la fig. 9 se refiere a las propiedades de transmisión de calor en el interior de diversos tubos, la fig. 10 está relacionada con las propiedades de transmisión de calor al exterior, y su gráfica representa el trazo de un coeficiente de transmisión de calor en película, exterior, h_b , al flujo térmico Q/A_{ox} . Estos términos proceden de la ecuación de transmisión de calor usual, $Q = H_b(A_o) \Delta t$, donde Q es el flujo térmico en Kcal/hora; A_o es el área exterior y Δt es la diferencia de temperaturas en grados C entre la temperatura de la masa líquida exterior y la temperatura de la superficie de la pared exterior. Para mayor sencillez, la superficie exterior A_{ox} es el valor nominal determinado multiplicando el diámetro exterior nominal por n y por la longitud del tubo. Puede verse fácilmente que el tubo III muestra un comportamiento en ebullición mejorado con respecto al de tubo II y que, igualmente, el tubo IV indica un comportamiento sustancialmente mejorado con respecto al del tubo II. El tubo I se omitió porque era un tubo de mayor diámetro. El tubo II, como se mencionó previamente, es equivalente al tubo I, pero tiene el mismo diámetro exterior que los tubos III y IV. La gráfica se refiere a una situación de hervidor de tubo único. Sin embargo, se ha encontrado que, como puede verse a partir de los resultados de comportamiento para el tubo IV, como se indica en la Tabla II, el comportamiento en una situación de ebullición en haz se ve significativamente mejorado.

Aunque solamente se han descrito con detalle tubos para ebullición nucleada, el invento también posee un valor significativo en aplicaciones de condensación. Para tales aplicaciones, la operación final de laminación hacia abajo o de aplanamiento de las puntas de las aletas se omitiría.

10

15

20

25

30

REIVINDICACIONES

Los puntos que como característica de novedad se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Modelo de Utilidad en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

1ª.- Perfeccionamientos introducidos en un tubo de transmisión de calor, metálico, que tiene una superestructura enteriza, exterior, que incluye una primera pluralidad de canales adyacentes, generalmente circunferenciales, formados en dicha superestructura y una segunda pluralidad de canales formados en dicha superestructura, que interconectan pares adyacentes de dichos canales generalmente circunferenciales y que están posicionados transversalmente respecto a dicha primera pluralidad de canales generalmente circunferenciales; cuyos perfeccionamientos residen en que la superficie interior del tubo se caracteriza por una pluralidad de nervios helicoidales que tienen un paso inferior a 0,15 mm, una altura de nervio de al menos, 0,38 mm, una relación entre anchura de la base del nervio y paso, medida a lo largo del eje geométrico del tubo, mayor que 0,45 y menor que 0,90, y un ángulo de ataque de hélice que está comprendido entre aproximadamente 29º y 42º, medido respecto al eje geométrico del tubo, estando separados dicha primera pluralidad de canales generalmente circunferenciales con un paso inferior al 50% del paso de dichos nervios helicoidales.

2ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 1ª, según los cuales la pluralidad de nervios tiene un paso inferior a, aproximadamente, 2,54 mm, y un ángulo

lo de ataque de la hélice comprendido entre aproximadamente 33° y 39°, medidos respecto al eje geométrico del tubo.

3ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 1ª, según los cuales la pluralidad de nervios tienen un paso inferior a, aproximadamente, 2,38 mm, y un ángulo de ataque de la hélice comprendido entre aproximadamente 33° y 39°, medidos respecto al eje geométrico del tubo.

4ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 1ª, según los cuales la superficie exterior del tubo tiene la apariencia general de un enrejado de bloque generalmente rectangulares, aplanados, que están separados entre sí por todos los lados por estrechas aberturas que tienen una dimensión considerablemente menor que la anchura de los canales primeros y segundos que se encuentran bajo ellas.

5ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 4ª, según los cuales las aberturas estrechas que se encuentran superpuestas a los canales generalmente circunferenciales, tienen dimensiones diferentes entre bloques aplanados adyacentes.

6ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 5ª, según los cuales dichas dimensiones diferentes de dichas aberturas estrechas subren un margen que es mayor y menor que el tamaño mínimo óptimo de poros para la ebullición nucleada de un fluido particular bajo una serie particular de condiciones de funcionamiento.

7ª.- "PERFECCIONAMIENTOS INTRODUCIDOS EN UN TUBO DE TRANSMISION DE CALOR".

Tal y como se ha descrito en la Memoria que ante-

cede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

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

5

Madrid,

06/03/1969

Alberto de Elizaburu
P.A. For Poder,

10

15

20

25

30



112

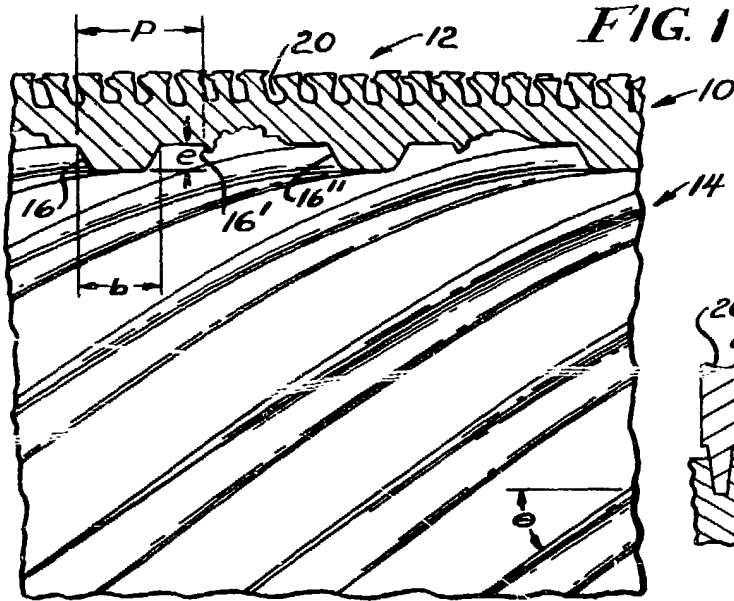


FIG. 1

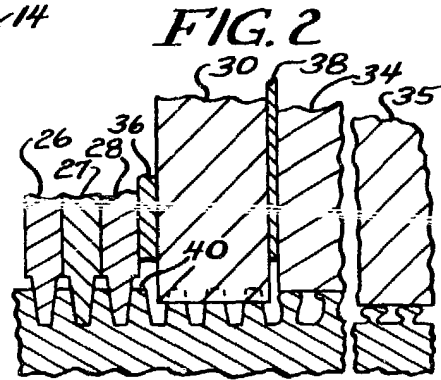


FIG. 2

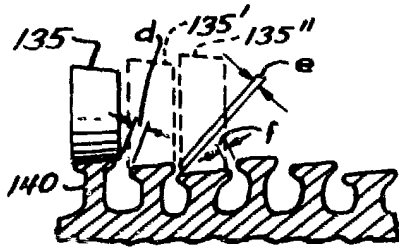


FIG. 5

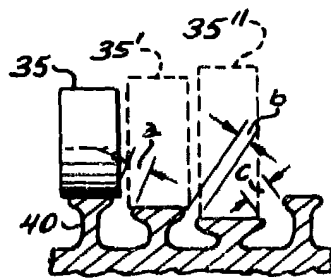


FIG. 3

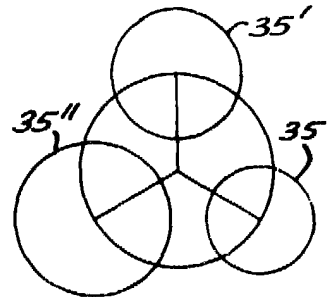


FIG. 4

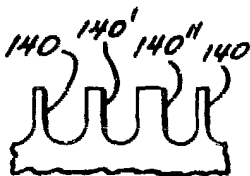


FIG. 6a

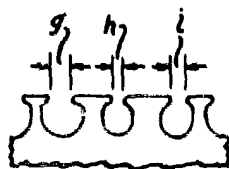


FIG. 6b

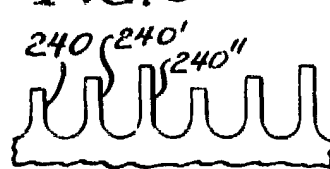


FIG. 7a

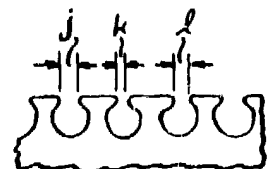


FIG. 7b

FIG. 10

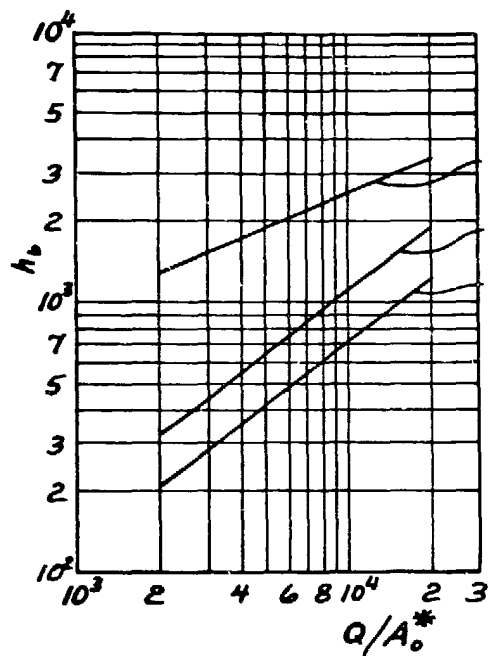


FIG. 9

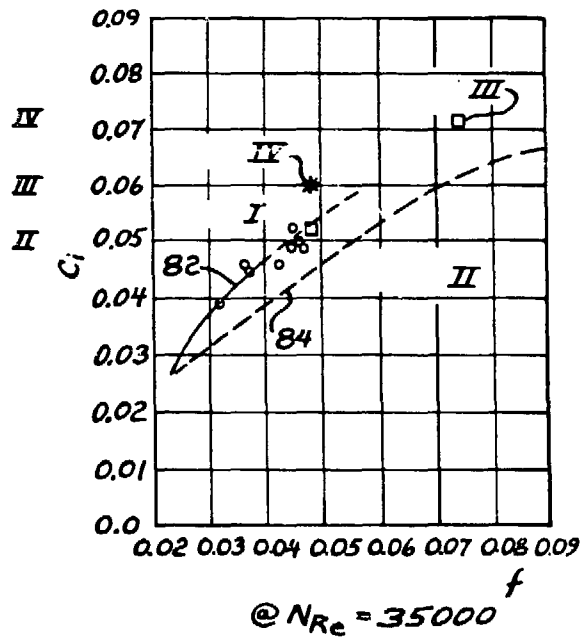


FIG. 8

Handwritten signature